Grundlagen der Niederspannungs-Schalttechnik

SIRIUS · SENTRON · SIVACON

Answers for industry.

SIEMENS

Grundlagen der Niederspannungs-Schalttechnik

Siemens AG ©
2008

Liebe Ingenieure, Techniker und Siemens-Kunden,

die Niederspannungs-Schalttechnik ist eine Disziplin innerhalb der Elektrotechnik mit zwei Gesichtern: Zum einen bedient sie die einfache Schalttechnik für zuverlässige, robuste und “zeitlose” Systemlösungen, zum anderen steigert sie sukzessive die Funktionsintegration durch den verstärkten Einsatz elektronischer Bauteile. Dadurch bietet sich die Niederspannungs-Schalttechnik für eine Vielzahl industrieller Lösungen an und spielt zudem ihre Stärken in Industrie- und Zweckbauten aus.

Das für Sie neu konzipierte Werk

“Grundlagen der Niederspannungs-Schalttechnik”

gibt Ihnen einen hervorragenden Überblick über Komponenten, Systeme und Lösungen bis 1.000 V Netzspannung. Es zeigt Ihnen die Innovationskraft dieses Branchensegments und vermittelt außerdem wertvolles Expertenwissen für das Verständnis der grundlegenden Zusammenhänge innnerhalb der Niederspannungs-Schalttechnik.

Die Kapitelstruktur macht deutlich, dass die Innovationsgeschwindigkeit höher geworden ist und sich Systemlösungen heute stärker als früher in ein großes Gesamtes einfügen müssen. Aufgrund der hohen Funktionsvielfalt lässt sich deshalb an manchen Stellen nur prinzipiell erläutern, wofür sich bestimmte Produkte am besten eignen.
Wie multifunktional viele Niederspannungs-Schaltgeräte sind, lässt sich allein schon daran ablesen, dass immer mehr von ihnen softwarebasiert arbeiten und somit einen erheblichen Mehrwert bieten. Die anwendungs-spezifische Parametrierung - häufig auch als “customizing” bezeichnet - vereinfacht und beschleunigt nicht nur die Integration in Elektroplanungen, sondern sie schafft auch die Basis für Modifikationen, Anpassungen und Optimierungen im laufenden Betrieb. Das genaue Vorgehen und die Möglichkeiten solcher softwarebasierten Geräte finden Praktiker dann detailliert im Internet beschrieben.

Begriffe wie Totally Integrated Automation (TIA) und Totally Integrated Power (TIP) drücken Trends aus, denen die Niederspannungs-Schalttechnik entspricht - und diese aktiv gestaltet.
Zum einen fügen sich die modernen, busbasierten Niederspannungs-Schaltgeräte harmonisch in die Automatisierungslandschaft ein, zum anderen liefern sie die Voraussetzungen für eine vollkommene Integration in Anlagen zur Energieverteilung. Auch hier erweist sich die Niederspannungs-Schalttechnik als vielseitige Technik, die es gelernt hat, mit Innovationen die gestellten Anforderungen zu erfüllen.

Verwenden Sie die "Grundlagen der Niederspannungs-Schalttechnik", als Standard-Werk für die eigene Wissenerweiterung, aber auch als persönlichen Ideen-Pool. Denn es enthält eine Reihe von Kapiteln, die speziell auf die Anforderungen in der Praxis bzw. Lösungen aus der Praxis eingehen; es liefert zudem viele Hinweise darauf, wie Schaltungen optimiert werden können.

Wie sehr die praktischen Aspekte beim Aufbau des Werks im Vordergrund standen erkennen Sie auch daran, dass Hinweise und Tipps ihr Augenmerk auf besonders interessante Textpassagen lenken.

Um den modernen Charakter dieses Grundlagenwerks zu vollenden, finden Sie alle Kapitel im Internet/Intranet zum Download unter:

www.siemens.de/lowvoltage/grundlagen

http://intranet.siemens.de/lowvoltage/grundlagen

Das Online-Medium ermöglicht das rasche Finden wichtiger Informationen - und zwar von jedem Punkt der Erde aus. Es bietet zudem die Möglichkeit der schnellen Aktualisierung der Inhalte, was den Nutzwert des praxisorientierten Grundlagenwerks zusätzlich erhöht.

Ich wünsche Ihnen viel Erfolg und wertvolle Ideen mit dieser neuen Ausgabe "Grundlagen der Niederspannungs-Schalttechnik".

Ihr

Paulo Ricardo Stark

Niederspannungsnetze .....**1** – 1-9
- Netzformen
- Netzsysteme nach Art der Erdverbindung – TN-C, TN-C/S, TN-S, IT, TT
- Dimensionierung von Energieverteilungen
- Stromkreisarten

Netzdaten und Betriebsarten .....**2** – 1-22
- Netzdaten
- Kurzschlussstrom
- Kurzschlussarten
- Beitrag von angeschlossenen Motoren zum Kurzschlussstrom
- Wirkungen des Kurzschlussstroms
- Diagramme zur Widerstands- und Kurzschlussstrombestimmung
- Einfluss der Transformatoren und Leitungen auf den Kurzschlussstrom
- Betriebsarten

Internationale Netzspannungen und Frequenzen in Niederspannungsnetzen .....**3** – 1-6
- Westeuropa
- Osteuropa
- Nahost
- Fernost
- Nordamerika
- Mittelamerika
- Südamerika
- Afrika
- Ozeanien

Netzschutz .....**4** – 1-47
- Grundlagen
- Schutzeinrichtungen
- Niederspannungs-Schutzgerätekombination
- Selektivitätskriterien
- Anfertigen von Strom-Zeit-Diagrammen (Staffeldiagrammen)
- Niederspannungsseitige Zeitstaffelung
- Schutzgeräte für Niederspannungsnetze
  - Leistungsschalter mit Schutzfunktionen
  - Schaltkombinationen
  - Schaltkombinationen mit Sicherungen
  - Schutz- und Wirkungsbereiche der Geräte
  - Auswahl der Sicherungen
  - Auswahl der Schutzgeräte
  - Leitungsschutzschalter
  - Blitzschutz/Erdungsanlagen

Störungen und Schutzeinrichtungen **5**

EMV im Endstromkreis ..... **5A** – 1-6
- Definition der ersten und zweiten Umgebung
- Verlegung von Leitungen und Schirmung

Fehlerstrom Schutzeinrichtungen ..... **5B** – 1-10
- Präventivmaßnahmen für Brandschutz

Netz-Schutz- und -Sicherungssysteme ..... **5C** – 1-58
- Grundlagen
- Aufbau und Wirkungsweise von Überspannungsschutzgeräten
- Schutzstufenkonzept
- Netzsysteme
- Tipps zur Installation
- Fehlerstromschutzeinrichtungen
  - Schutz durch Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen
  - Fehlerstromschutzeinrichtungen
  - Installations- und Anwendungstipps
- Grundlagen von Sicherungssystemen
  - Funktion, Technische Daten und Kennlinien
  - Sicherungsanwendungen
  - Besondere Anwendungen und Umgebungsbedingungen

Niederspannungs-Schaltanlagen ..... **6** – 1-12
- Übersicht
- Checkliste für die innere Unterteilung der Felder
- Niederspannungs-Schutz- und -Schaltgeräte
- Anforderungen an die Schutzgeräte in den drei Stromkreisarten
  - Geräteeinsatz im Einspeisestromkreis
  - Geräteeinsatz in Einspeisestromkreisen (Kupplung)
  - Geräteeinsatz im Verteilerstromkreis
  - Geräteeinsatz im Endstromkreis

Schienenverteiler-Systeme ..... **7** – 1-26
- Vergleich von Schienenverteilern und Kabelinstallationen
- 25 bis 40 A für die Versorgung von Leuchten und Kleinstverbrauchern
- 40 bis 160 A für Werkstätten mit Abgängen bis 63 A
- 160 bis 1.250 A zur Versorgung von mittelgroßen Verbrauchern in Gebäuden und industriellen Anwendungen
- 1.100 bis 5.000 A als ventiliertes System zum Energietransport in Anwendungen mit hohem Energiebedarf

– 800 bis 5.000 A vorwiegend zum lageunabhängigen Energietransport und speziellen Leiterkonfigurationen wie doppelter N oder isolierter PE
– 630 bis 6.300 A zum Energietransport bei extremen Umgebungsbedingungen (IP68)
– Planungstipps und Besonderheiten
– Ermittlung des Spannungsfalls
  - Dimensionierung und Auswahl
  - Spannungsfalldiagramme
  - Überlast- und Kurzschlussschutz
  - Schleifenimpedanz
– Schutzarten für Schienenverteiler
  - Einsatz in feuergefährdeten Betriebsstätten
  - Berührungsschutz nach DIN EN 50274
  - Schutzarten elektrischer Betriebsmittel (DIN EN 60529)
  - Verteilungssysteme (Netzformen) nach IEC 60364-1
  - Übersicht Verteilungssysteme
– Brandschottung
  - Ausführungen
– Magnetische Felder
  - Ergebnisse der Magnetfeldprüfung

Grundlagen der Schaltplanerstellung ..... **8** – 1-73
– Schaltplanarten
– Schalten mit Schützen
– Schütze mit Ausschaltverzögerer bei flatterhafter Kommandogabe
– Verlängerte Hilfsschaltglieder bei Schützen (vornehmlich bei Gleichstrombetätigung)
– Direktes Schalten von Drehstrom-Asynchronmotoren
  - Beispielschaltungen
– Anlassen von Drehstrom-Asynchronmotoren mit Stern-Dreieck-Schaltungen
  - Beispielschaltungen
– Schaltungen zum Motorschutz
  - Beispielschaltungen
– Stromlaufpläne für unterschiedlichen Anwendungsbereiche
  - Stromlaufpläne für Ein-, Aus-, Wendeschaltungen
  - Stromlaufpläne für eine Schaltung mit Bandwächter
  - Stromlaufpläne für einen Drehstrom-Asynchronmotor mit Druckwächter in Schützsteuerung
  - Stromlaufpläne für Positionsschalter mit Leuchtmelder
  - Schaltungen mit schaltbaren Wandler-Reihenklemmen
  - Schutzschalterklemmen für Hilfsstromkreise

- Initiator-Aktor-Klemmen
- Schaltungen mit Fehlerstrom-(Differenzstrom-)Schutzeinrichtungen
- Koppelglieder
- Schaltungen mit Zeitrelais
- Ersatzstromversorgungsanlagen

Auswahlkriterien für Niederspannungs-Schaltgeräte in Hauptstromkreisen ..... **9** – 1-51

– Bemessungsspannung und Netzfrequenz
– Bemessungs-Kurzschlussfestigkeit und Bemessungsschaltvermögen
– Bemessungsströme
– Schaltaufgaben und -bedingungen
– Schalten von Anlagenkomponenten
– Schalthäufigkeit und Lebensdauer
– Auswahl nach Gebrauchskategorien
– Schutz bei Überstrom und Übertemperatur
– Schutzgeräte
– Schutz von Anlagenkomponenten

Auswahlkriterien für Niederspannungs-Schaltgeräte in Hilfsstromkreisen ..... **10** – 1-18

– Beispiele für Spannungsfall
– Einsatz von Hilfsschützen in Sicherheitsstromkreisen
– Auswahlkriterien für Kleintransformatoren in Niederspannungsnetzen
– Ausführungsarten von Transformatoren

Strombelastbarkeit und Schutz ..... **11** – 1-30

– Strombelastbarkeit und Schutz von Kabeln, Leitungen und Stromschienen bei Überstrom
- Zuordnung von Schutzeinrichtungen
- Strombelastbarkeit
- Belastung isolierter Leitungen bei Umgebungstemperaturen von 30 °C bis 70 °C und Zuordnung von Leitungsschutzsicherungen nach US-amerikanischen und kanadischen Bestimmungen
- Bemessungsströme von Drehstrom-Asynchronmotoren
- Drehstrom-Verteilungstransformatoren

Überwachen, Steuern, Schalten ..... **12** – 1-26

– Relais und ihre unterschiedlichen Überwachungsfunktionen
– Motormanagement Simocode
– Softwareunterstützung
– Simocode pro mit Safety
– Simocode pro mit Sivacon
– Sirius Relais zum Überwachen, Steuern und Schalten

Motorstart für die Praxis ..... **13** – 1-16
- Grundlagen
- Schützen von Elektromotoren
- Schalten von Elektromotoren
- Starten von Elektromotoren

Energiemanagement ..... **14** – 1-10
- Drei Phasen zur Implementierung eines umfassenden Energiemanagements
- Energiemanagement Simatic PCS7 powerrate
- Datenerfassung und -auswertung

Systeme zur Energieverteilung ..... **14A** – 1-15
- Ecofast
  - Angebot, Planung und Projektierung
  - Inbetriebnahme
  - Verfügbarkeit
  - Aufbau und Vorteile von Ecofast
  - Topologie
- Motorstarter ET200
  - Energieverbindungen und Busanbindungen
- Aufbauvarianten des Energiebus
- Aufbaurichtlinien am Profibus DP

Selektivität und Backup-Schutz ..... **15** – 1-19
- Selektivität und Backup-Schutz in Niederspannungsnetzen
  - Selektivität in Strahlennetzen
  - Leistungsschalter mit nachgeordneter Sicherung
  - Selektivität und Unterspannungsschutz
- Selektivität in Maschennetzen
  - Leistungstransformatoren im Maschennetz
  - Schutz von Kondensatoren
  - Backup-Schutz

Kommunikation in Industrie und Zweckbau ..... **16** – 1-15
- Gefahrenmanagement
- Betriebsführung
- Merkmale der technischen Kommunikation
- Topologie
- ISO/OSI Schichtenmodell
- Zugriffsverfahren
- Kommunikationspyramide
- Bussysteme
- KNX (Konnex)

Softwaretools .....**17** – 1-18
- Software für die Energieverteilung
  - Simatic PCS 7 powerrate
  - Simatic WinCC powerrate
  - Simatic PCS 7 Library PAC3200
  - Switch ES Power
- Software für die Automatisierung: Sirius ES
  - Sirius Soft Starter ES
  - Sirius Motor Starter ES
  - Sirius Simocode ES
  - Sirius Modular Safety System ES
  - Ecofast ES

Funktionale Sicherheit von Maschinen und Anlagen.....**18** – 1-25
- Einleitung
- Grundlegende Sicherheitsanforderungen in der Fertigungsindustrie
- Grundlegende Normen beim Entwurf von Steuerungsfunktionen
- Schritt für Schritt: Entwurf und Realisierung von sicherheitsbezogenen Steuerungen
- Sicherheitsplan nach EN 62061 – Leitfaden bei der Realisierung einer sicheren Maschine
- Schritt 1: Strategie zur Risikominderung nach EN ISO 121001, Abschnitt 1
- Schritt 2: Risikobewertung
- Schritt 3: Aufbau der Sicherheitsfunktion und Bestimmung der Sicherheitsintegrität
- Methodik nach EN 62061
- Methodik nach EN ISO 13849-1
- Schritt 4: Validierung auf Basis des Safety Plans
- Sicherheit aus einer Hand
  - Geräte zum Erfassen
  - Geräte zum Auswerten
  - Geräte zum Reagieren
  - Begriffe zur funktionalen Sicherheit

Sicherheitstechnik in der Praxis.....**18A** – 1-7
- Schneller Überblick zum neuen Bewertungsgrundsatz der Sicherheit – Performance Level

Explosionsschutz / ATEX-Zertifizierung.....**19** – 1-56
- Produkte und Systeme für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen
  - Physikalische Grundlagen und Kenngrößen

- Rechtliche Grundlagen und Normen
- Sicherheitstechnische Kennzahlen – brennbare Stäube
- Errichten und Betreiben elektrischer Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen
- Eigensicherheit
- Ex-Schutz in Nordamerika: Vergleich Zonen/Divisionen
- Zulassungs- und Prüfstellen
- Explosionsschutz – auf den Punkt gebracht!
- Produktspektrum für den Ex-Bereich

– Produktspektrum Industrie-Automatisierungssysteme
- Simatic ET 200
- Simatic Panels
- Kommunikationsprodukte
- Produktspektrum Niederspannungs-Schalttechnik
- Produktspektrum Sensorik
- Produktspektrum Motoren und Getriebemotoren
- Explosionsschutz – auf den Punkt gebracht!

– ATEX-Produkte der Niederspannungs-Schalttechnik auf einen Blick
– Literaturverzeichnis zum Explosionsschutz

Wissenswertes rund um UL .....**20** – 1-24
– UL-Zertifizierung
– Inspektion und Abnahme vor Ort
– Besonderheiten des UL-Markts
– Stromkreis und Schaltelemente einer Schaltanlage
– Beispiele für Motorstarterkombinationen
– Vorteile von umfassendem UL-Know-how
– Umfassendes Angebot für Schalt- und Steuerschränke
– UL-Produkte der Niederspannungs-Schalttechnik auf einen Blick

Tipps aus der Praxis für die Praxis / Funktionsbeispiele.....**21**

Zwangsgeführte Kontaktelemente und Spiegelkontakte.....**21A** – 1-7
– Zwangsgeführte Kontaktelemente von Hilfsschützen und Spiegelkontakte von Leistungsschützen
– Zwangsgeführte Kontaktelemente nach EN 60947-5-1, Anhang L
– Spiegelkontakte nach EN 60947-4-1, Anhang F
– Berufsgenossenschaften / SUVA
– Typische Anwendungsbereiche
– Funktionsbeispiele / Literaturverzeichnis

Stern-Dreieck-Schalten von Drehstrommotoren ..... **21B** – 1-5
- Beschreibung der Funktionalität für Rechtslauf
- Änderung der Drehrichtung von Rechts- auf Linkslauf

Verbraucherabzweige in sicherungsloser Bauweise ..... **21C** – 1-6
- Stern-Dreieck-Anlauf
- Sanftanlauf mit Sanftstartern

Verbraucherabzweige als Sanftstarter ..... **21D** – 1-4

Schaltgeräte in Kombination mit Frequenzumrichtern ..... **21E** – 1-5
- Schütze
- Leistungsschalter
- Thermische Überlastrelais

Einfluss langer Steuerleitungen auf Schütze ..... **21F** – 1-4
- Einfluss langer Steuerleitungen auf das Schaltverhalten von Schützen
- Einschalten
- Ausschalten

Automatische Drehrichtungskorrektur ..... **21G** – 1-3
- Automatische Drehrichtungskorrektur durch intelligente Netzüberwachung

Überspannungsbedämpfung von Schützen ..... **21H** – 1-5
- Entstehung von Überspannungen
- Beschaltung mit RC-Gliedern
- Beschaltung mit Dioden
- Beschaltung mit einer Freilaufdiode
- Beschaltung mit einer Diodenkombination Diode/Zenerdiode
- Beschaltung mit Varistoren

Lampenschalten mit Schützen ..... **21I** – 1-13
- Schalten von Temperaturstrahlern
- Schalten von Gasentladungslampen
- Schalten von Leuchtstofflampen
- Schalten von Kompaktleuchtstofflampen
- Schalten von Hochdruck-Entladungslampen
- Schalten von Natriumdampf-Hochdrucklampen
- Schalten von Quecksilberdampf-Hochdrucklampen
- Schalten von Halogen-Metalldampflampen
- Schalten von Mischlichtlampen

Temperaturverhalten im Schaltschrank .....**21J** – 1-8
- Temperaturverhalten von Niederspannungs-Schaltgeräten im Schaltschrank
  - Zulässige Oberflächentemperaturen von Niederspannungsschaltgeräten im Schaltschrank
  - Zulässige Temperaturen an berührbaren Teilen
  - Zulässige Temperaturen an den Anschlüssen
  - Betrachtung von Temperaturmessungen im Schaltschrank
  - Maßnahmen gegen Übertemperaturen an Geräten

Lastüberwachung von ohmschen Verbrauchern (Heizkreisen) in Drehstromschaltung .....**21K** – 1-9
- Allgemeines
- Möglichkeiten zur Lastüberwachung
- Überwachung der Last mit Simocode
- Parametrierung mit der Software Simocode ES
- Geräteliste für Aufbauten mit Halbleiterschützen / -relais

Branchenapplikationen / Praxisbeispiele .....**22** – 1-29
- Sanftstarter 3RW
  - Lüfter im Düsseldorfer Flughafen
  - Bugstrahlruder mit Drehmomentregelung
  - Pumpe für eine Kunstschneeanlage
  - Pumpe im Klärwerk
  - Oberflächenbelüfter in einer Biokläranlage
  - Kompressor für eine biologische Kläranlage
  - Siebschnecken-Zentrifuge
  - Rohrmantelpumpe in einem Klärwerk
  - Universal-Querstromzerspaner
  - Hydraulikpumpen auf Tankschiffen
  - Pumpen für eine hydraulische Stufenpresse
  - Kontaktband-Schleifmaschine
  - Großpressen in der Automobilindustrie
  - Ersatz für eine Turbokupplung in einer Pulvermühle

Mastertree für Systeme und Lösungen im Internet .....**23** – 1-120
- Industrielle Schalttechnik
  - AS-Interface / Master
  - AS-Interface / Slaves
  - Schaltgeräte mit integrierter AS-i Anschaltung
  - AS-Interface / Befehls- und Meldegeräte
  - ASIsafe
  - Sirius / Simatic Systembaukasten
  - Cage Clamp Anschluss

- Schaltgeräte
- Schutzgeräte
- Motor-, Sanftstarter und Verbraucherabzweige
- Komplette Verbraucherabzweige
- Überwachungs- und Steuergeräte
- Erfassungsgeräte
- Befehls- und Meldegeräte
- Transformatoren und Stromversorgungen

– Niederspannungs-Energieverteilung
- Sivacon / Sentron Programm
- Multifunktionsmessgerät
- Leistungsschalter
- Lasttrenner
- Typgeprüfte Niederspannungs-Schaltanlagen
- Schienenverteiler-Systeme

– Auf einen Blick: Leistungsspektrum Sirius - Sentron - Sivacon
- Schalten
- Schützen
- Starten
- Überwachen und Steuern
- Erfassen
- Befehlen und Melden
- Versorgen
- Parametrieren / Projektieren / Software
- ASIsafe
- AS-Interface / Master / Übergänge
- AS-Interface / Slaves
- AS-Interface / Zubehör
- Verteilen / Starten
- Schalten und Schützen
- Power Management
- Softwaretools
- Service / Support

Elektrische Grundformeln / Kenngrößen / Einheiten .....**24** – 1-22
– Elektrische Kenngrößen – Formelzeichen – Indizes
– Grundformeln der Elektrotechnik
– Formelzeichen und SI-Einheiten – Internationales Einheitensystem (SI)
– Umrechnung internationaler, britischer und amerikanischer Einheiten
– Temperatureinflüsse und Wärmeleitung

Anschlussbezeichnungen / Schaltzeichen .....**25** – 1-26
- Anschlussbezeichnungen
- Schaltzeichen nach DIN, IEC, ANSI und BS
- Kennzeichnung von Betriebsmitteln, Leitern und allgemeinen Funktionen

Fachbegriffe / Abkürzungen.....**26** – 1-97
- Fachbegriffe, kurz erläutert
- Weitere Begriffe und Abkürzungen

Stichwortverzeichnis .....**27** – 1-38

Hinweis zur Gewährleistung und Haftung

Für die in diesem Dokument enthaltenen Informationen übernehmen wir keine Gewähr.
Unsere Haftung, gleich aus welchem Rechtsgrund, für durch die Verwendung der in diesem Dokument beschriebenen Beispiele, Hinweise, Projektierungs- und Leistungsdaten usw. verursachte Schäden ist ausgeschlossen, soweit nicht z. B. nach dem Produkthaftungsgesetz in Fällen des Vorsatzes, der groben Fahrlässigkeit, wegen der Verletzung des Lebens, des Körpers oder der Gesundheit, wegen einer Übernahme der Garantie für die Beschaffenheit einer Sache, wegen des arglistigen Verschweigens eines Mangels oder wegen Verletzung wesentlicher Vertragspflichten zwingend gehaftet wird.
Der Schadensersatz wegen Verletzung wesentlicher Vertragspflichten ist jedoch auf den vertragstypischen, vorhersehbaren Schaden begrenzt, soweit nicht Vorsatz oder grobe Fahrlässigkeit vorliegt oder wegen der Verletzung des Lebens, des Körpers oder der Gesundheit zwingend gehaftet wird.
Eine Änderung der Beweislast zu Ihrem Nachteil ist hiermit nicht verbunden.

Außerdem wird empfohlen, den jeweils gültigen Stand der Normen sowie Publikationen heranzuziehen.
©Siemens AG, 2008
Weitergabe sowie Vervielfältigung, Verbreitung und/oder Bearbeitung dieses Dokumentes, Verwertung und Mitteilung seines Inhaltes sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadenersatz. Alle Rechte für den Fall der Patenterteilung, Gebrauchsmuster- oder Geschmacksmustereintragung vorbehalten.

Alle Angaben wurden sorgfältig recherchiert und geprüft. Eine Haftung kann dennoch nicht übernommen werden.

Hintergrund, Zielsetzung und Nutzung des Werks

"Grundlagen der Niederspannungs-Schalttechnik"

Aufbau
Das Werk "Grundlagen der Niederspannungs-Schalttechnik" dient zur grundsätzlichen Vermittlung von technischen Grundlagen aus dem Bereich der Niederspannungs-Schalttechnik. Es besteht inhaltlich aus theoretischen Sachverhalten, aber auch aus praktischen Erkenntnissen, die letztendlich die Komplexität dieser Technik in einfache Worte fassen soll.

Durch den ständigen Wandel und die unaufhaltsame Innovationskraft unserer Zeit und Technik – natürlich auch des Unternehmens Siemens – kann "Grundlagen der Niederspannungs-Schalttechnik" lediglich eine Momentaufnahme darstellen und die Basis für das grundsätzliche Verständnis der Elektrotechnik bilden.
Außerdem lässt sich in einem vernünftigen Rahmen, der für alle Leser noch überschaubar bleibt, lediglich grundlegendes bzw. punktuell fokussiertes Wissen vermitteln.

Weil mittlerweile jeder Techniker mit dem Internet heute sehr vertraut ist, findet er ergänzend zu den grundlegenden Darstellungen in "Grundlagen der Niederspannungs-Schalttechnik" Detailinformationen zu speziellen Themenschwerpunkten, Geräten und Lösungen zusätzlich im Online-Auftritt von Siemens. Die dort einfach zu aktualisierenden Informationen stellen stets den neuesten Stand der Technik dar.

Ein solches, mehrstufiges Konzept repräsentiert die moderne Form der Wissensvermittlung: übersichtlich und einfach aufgebaut erhält der Leser über "Grundlagen der Niederspannungs-Schalttechnik" wertvolle Hinweise aus der Elektrotechnik. Als Ergänzung findet er spezifizierte Beschreibungen im Internet mit einem erheblich stärkeren Detaillierungsgrad, der in einem einzigen Werk überhaupt nicht möglich wäre.

Ziel
Die "Grundlagen der Niederspannungs-Schalttechnik" sollen Elektrotechnikern, Elektrikern und Technikern aus allen Branchen und Bereichen das Verständnis vermitteln, wie einfach und überschaubar die Niederspannungs-Schalttechnik ist.
Weiterhin hat dieses Werk zum Ziel, nicht nur den Experten im Beruf, sondern gerade auch den noch nicht von der Begeisterung dieser Technik erfassten Menschen eine wichtige Brücke zu bauen, nämlich Schülern, Praktikanten, Lehrlingen, Studenten und Vielen mehr.
Immer mit dem Blick auf das Leistungsspektrum von Siemens, das mit seiner Durchgängigkeit besonders umfassend, transparent und stets praxisbezogen ist.

Vision
Wie vieles andere lebt auch das Grundlagenwerk "Grundlagen der Niederspannungs-Schalttechnik" von der Veränderung, Optimierung, Erweiterung. Tagtäglich arbeiten tausende von Siemens-Kollegen an der Verbesserung der Niederspannungs-Schalttechnik, an unseren Lösungen, und erfahren vieles über die Wünsche unserer Kunden. Deshalb ist es wichtig, dass diese Erkenntnisse in die "Grundlagen der Niederspannungs-Schalttechnik" einfließen.

Wer also Anregungen, Ergänzungen oder Änderungsvorschläge zu "Grundlagen der Niederspannungs-Schalttechnik" hat, sollte diese detailliert und entsprechend des bestehenden Aufbaus “zu Papier bringen” und dem Verantwortlichen (gert.zauscher@siemens.com) zur Verfügung stellen.

Unterstützen Sie mit Ihrem Engagement Ihre Kollegen aus den Regionen, aus dem Vertrieb und den Marketing-Abteilungen. Denn unser gemeinsames Ziel lautet, der beste Partner unserer Kunden zu sein, um damit den wirtschaftlichen Erfolg von Siemens dauerhaft zu sichern.

Vielen Dank für Ihre kollegiale Mitarbeit!

Hans-Gert Zauscher
I IA CD MM 2

Johann Bäuml
I IA CD MM Ltg.

Sie finden sämtliche Kapitel einzeln sowie als Komplettwerk

Grundlagen der Niederspannungs-Schalttechnik

zum Download auch im Internet

auf dem Service & Supportportal

unter

http://www.siemens.de/lowvoltage/grundlagen

Niederspannungsnetze

Netzformen

Einfaches Strahlennetz (Stichleitungsnetz)
Die Energieversorgung sämtlicher Verbraucher erfolgt zentral, ausgehend von einer Einspeisequelle. Für jede Verbindungsleitung gibt es eine eindeutig definierbare Energieflussrichtung.

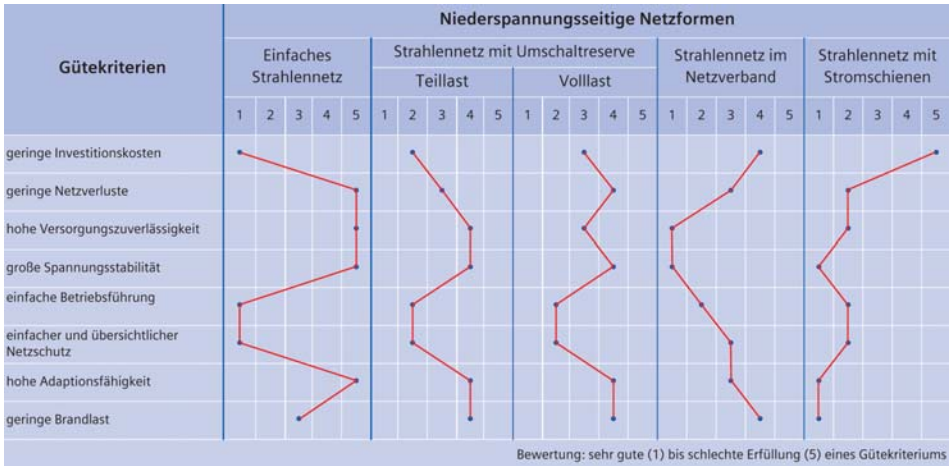
Strahlennetz mit Umschaltreserve – Teillast:
Die Energieversorgung sämtlicher Verbraucher erfolgt zentral, ausgehend von zwei bis n Einspeisequellen. Diese sind so bemessen, dass jede für sich in der Lage ist, die direkt an ihrer Hauptverteilung angeschlossenen Verbraucher zu versorgen (Inselbetrieb mit offenen Kuppelverbindungen). Bei Ausfall einer Einspeisequelle können die verbleibenden Einspeisequellen zusätzlich noch einen Teil der Verbraucher der anderen Einspeisequelle mitversorgen. Die übrigen Verbraucher müssen in diesem Fall abgeschaltet werden (Lastabwurf).

Strahlennetz mit Umschaltreserve – Volllast:
Die Energieversorgung sämtlicher Verbraucher erfolgt zentral, ausgehend von zwei bis n Einspeisequellen (Inselbetrieb mit offenen Kuppelverbindungen). Diese sind so bemessen, dass bei Ausfall einer Einspeisequelle die verbleibenden Einspeisequellen in der Lage sind, zusätzlich noch alle Verbraucher der anderen Einspeisequelle mitzuversorgen. Kein Verbraucher muss abgeschaltet werden. In diesem Fall spricht man von der Auslegung der Einspeisequellen nach dem (n-1)-Prinzip.
Ab einer Anzahl von drei parallelen Einspeisequellen wäre auch die Anwendung anderer Prinzipien denkbar, z. B. des (n-2)-Prinzips. In diesem Fall werden die Einspeisequellen so bemessen, dass zwei von drei Transformatoren ausfallen können, ohne dass dies die Weiterversorung aller angeschlossenen Verbraucher beeinträchtigt.

Strahlennetz im Netzverband
Einzelne Strahlennetze, in denen die Versorgung der angeschlossenen Verbraucher zentral von einer Einspeisequelle aus erfolgt, sind zusätzlich über Kuppelverbindungen mit anderen Strahlennetzen elektrisch verbunden. Sämtliche Kuppelverbindungen sind im Normalbetrieb geschlossen. Je nach Auslegung der Einspeisequellen im Verhältnis zur angeschlossenen Gesamtlast, (n-1)-Prinzip, (n-2)-Prinzip usw., kann bei einem Versorgungsausfall die störungsfreie Weiterversorgung aller Verbraucher über die zusätzlichen Verbindungsstrecken gewährleistet werden. Die Energieflussrichtung über die Kuppelverbindungen kann je nach Versorgungsweg wechseln, was bei der Auslegung der Schalt-/Schutzgeräte und vor allem der späteren Schutzeinstellung zu beachten ist.

Strahlennetz mit Stromschienenverteilungen

Bei dieser speziellen Form von Strahlennetzen, die im Netzverband betrieben werden, kommen anstelle der Kabelverbindungen Stromschienensysteme zum Einsatz. In den Kuppelverbindungen dienen diese Stromschienensysteme dem Energietransport (von Strahlennetz A zu Strahlennetz B usw.) oder der Energieverteilung zu den jeweiligen Verbrauchern.



Beispielhafte Bewertung abhängig von den Netzformen.

Netzsysteme nach Art der Erdverbindung – TN-C-, TN-C/S-, TN-S-, IT-, TT-Netze

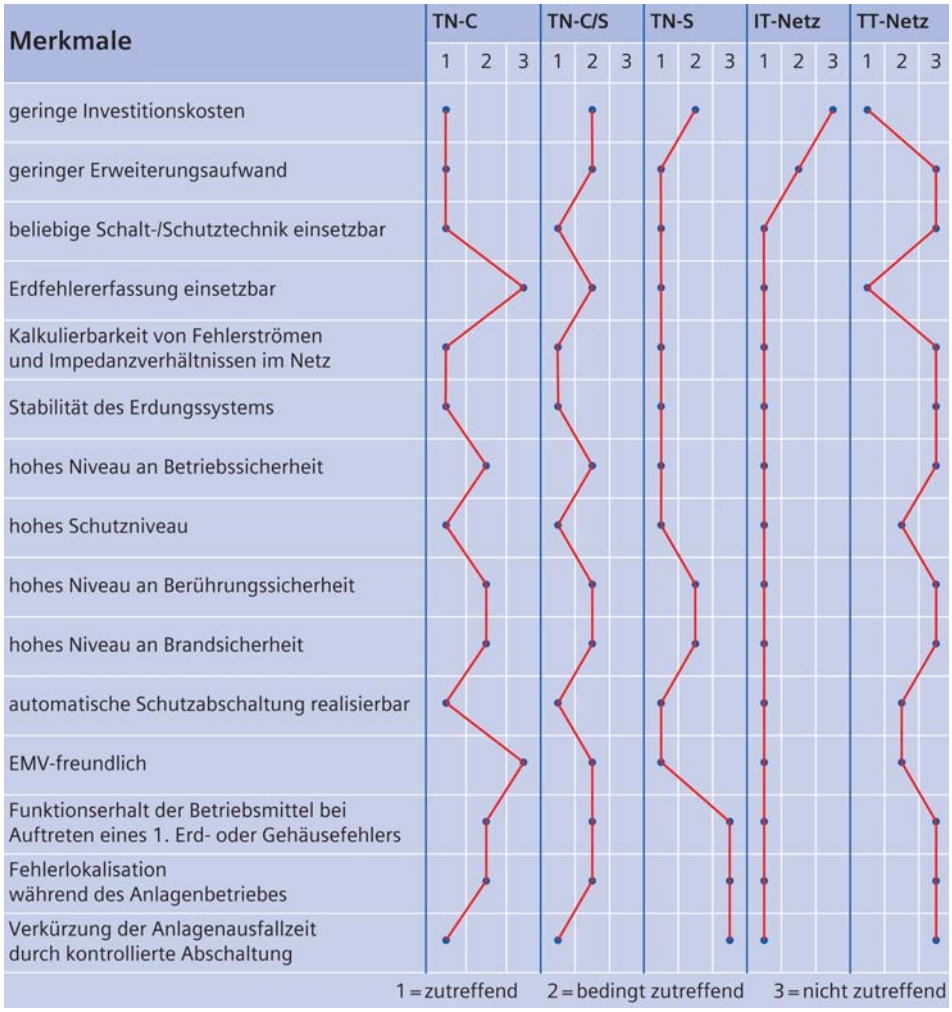
Der Einsatz von IT-Netzen kann nach Normen gefordert sein

- für Anlagenteile, an die besonders hohe Anforderungen an die Personen- und die Betriebssicherheit gestellt werden (z. B. in medizinisch genutzten Räumen wie OP-Saal, Intensivstation, Aufwachraum).

- für Anlagen, die im Außenbereich aufgestellt und betrieben werden (z. B. im Bergbau, an Krananlagen, auf Müllumladestationen, in der Chemieindustrie).

- Je nach Netzsystem und Netznennspannung gelten unterschiedliche Anforderungen in Bezug auf die einzuhaltenden Abschaltzeiten (Personenschutz gegen indirektes Berühren durch automatische Abschaltung).

- Netze, in denen die elektromagnetische Beeinflussung eine wichtige Rolle spielt, sollten vorzugsweise direkt ab der Einspeisung als TN-S-Netz aufgebaut werden. Vorhandene TN-C- oder TN-C/S-Netze lassen sich nachträglich nur mit verhältnismäßig hohem Aufwand EMV-gerecht gestalten.



Beispielhafte Bewertung abhängig vom Netzsystem nach Art der Erdverbindung.

Hinweis:

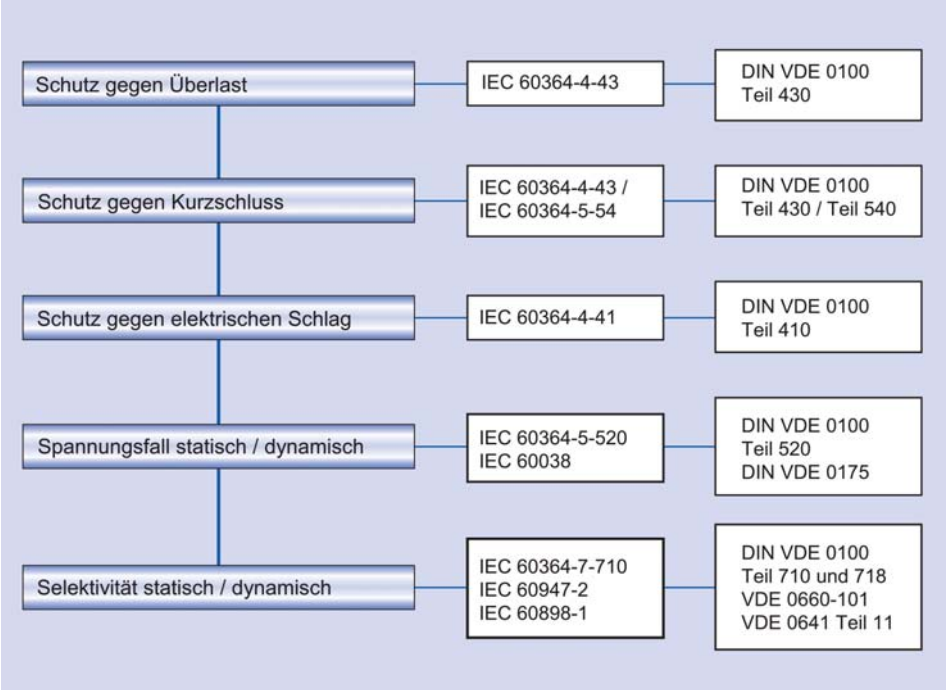
Stand der Technik für TN-Netze ist die EMV-gerechte Auslegung als TN-S-Netz.

Dimensionierung von Energieverteilungen

Wenn das grundlegende Versorgungskonzept für eine elektrische Stromversorgungsanlage feststeht, ist eine Dimensionierung des elektrischen Netzes erforderlich.

Unter Dimensionierung ist die Auslegung aller Betriebsmittel und Komponenten zu verstehen, die innerhalb des elektrischen Netzes zum Einsatz kommen sollen.

Ziel der Dimensionierung ist es, für jeden einzelnen Stromkreis des elektrischen Netzes eine technisch zulässige Kombination aus Schalt-/Schutzgeräten und Verbindungsstrecke zu erhalten.



Grundregeln/Normen für die prinzipielle Stromkreisdimensionierung.

Stromkreisübergreifende Dimensionierung

Stimmt man die ausgewählten Netzkomponenten und Systeme aufeinander ab, lässt sich in Summe eine wirtschaftliche Gesamtanlage konzipieren. Diese stromkreisübergreifende Abstimmung der Netzkomponenten aufeinander ist jedoch beliebig komplex, da nachträgliche Veränderungen an einer einzelnen Komponente, z. B. einem Schalt-/Schutzgerät, Auswirkungen auf benachbarte, übergeordnete oder sämtliche nachgeordnete Netzabschnitte zur Folge haben können (hoher Prüfaufwand, hohes Planungsrisiko).

Prinzipielle Vorgehensweise bei der Dimensionierung

Je Stromkreis umfasst der Dimensionierungsvorgang die Auswahl von ein oder mehreren Schalt-/Schutzorganen, die am Anfang und/oder am Ende der Verbindungsstrecke zum Einsatz kommen sollen, sowie die Auswahl der Verbindungsstrecke (Kabel/Leitungen oder Stromschienenverbindung) in Anlehnung an die technischen Fähigkeiten der zugehörigen Schalt-/Schutzgeräte. Speziell bei Einspeisestromkreisen kommt noch die Auslegung der Einspeisequellen hinzu. Je nach Stromkreisart ergeben sich verschiedene Dimensionierungsschwerpunkte.
Das Schutzziel Überlast- und Kurzschlussschutz kann in Abhängigkeit vom Einbauort der Schutzeinrichtung erreicht werden. Geräte, die am Ende einer Verbindungsstrecke zum Einsatz kommen, können allenfalls den Überlastschutz für diese Strecke übernehmen, nicht jedoch den Kurzschlussschutz.

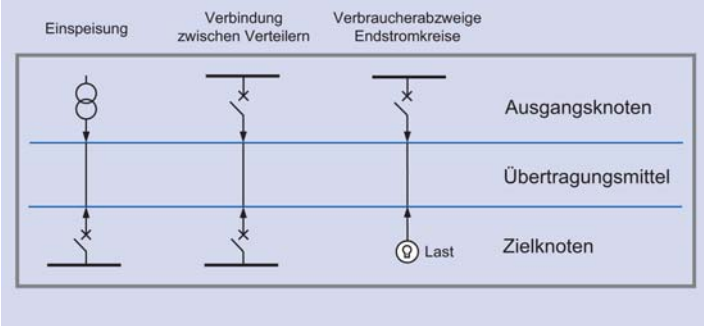
Stromkreisarten

Generell gelten die in der dargestellten Normenübersicht genannten Grundregeln/Normen zur Dimensionierung für alle Stromkreisarten. Darüber hinaus haben die jeweiligen Stromkreisarten spezielle Anforderungen, die im Folgenden näher erläutert werden.

Einspeisestromkreise

An die Dimensionierung von Einspeisestromkreisen werden besonders hohe Anforderungen gestellt. Dies beginnt bereits mit der Auslegung der Einspeisequellen. Die Auslegung der Einspeisequellen richtet sich nach den zu erwartenden maximalen Belastungsströmen für das Gesamtnetz, der gewünschten Reserveleistung sowie dem geforderten Grad an Versorgungssicherheit für den Störungsfall (Überlastung/Kurzschluss). Die Bestimmung der Lastverhältnisse im Gesamtnetz erfolgt über die Energiebilanzierung. Reserveleistung und Betriebssicherheit im Bereich der Einspeisung werden üblicherweise durch Aufbau entsprechender Redundanzen realisiert, z. B. durch

- Vorhaltung von zusätzlichen Einspeisequellen (Transformator, Generator, USV-Anlage),
- Auslegung der Einspeisequellen nach dem Ausfallprinzip, n- oder (n-1)-Prinzip: Beim (n-1)-Prinzip sind zwei von drei Versorgungseinheiten prinzipiell in der Lage, bei Ausfall der kleinsten Stromversorgungsquellen die Gesamtlast des Netzes störungsfrei weiterzuversorgen,
- Auslegung der Einspeisequellen, die temporär im Überlastbereich gefahren werden können (z. B. Verwendung von belüfteten Transformatoren).



Darstellung der verschiedenen Stromkreisarten.

Die Dimensionierung aller weiteren Komponenten eines Einspeisestromkreises orientiert sich unabhängig von den ermittelten Belastungsströmen an den Nenndaten der Versorgungsquellen, den konzipierten Netzbetriebsarten sowie den damit verbundenen Schaltzuständen im Bereich der Einspeisung.

Die Schalt-/Schutzgeräte und Verbindungsstrecken müssen grundsätzlich so gewählt werden, dass das geplante Leistungsmaximum übertragbar ist. Des Weiteren müssen je nach Schaltzuständen die unterschiedlichen min./max. Kurzschlussstromverhältnisse im Bereich der Einspeisung bestimmt werden.

Beachte:

Bei der Auslegung der Verbindungsstrecken (Kabel oder Schiene) sind je nach Anzahl der parallel verlegten Systeme und der Verlegeart entsprechende Reduktionsfaktoren zu berücksichtigen.
Bei der Auslegung der Geräte ist besonderes Augenmerk auf das Bemessungs-Kurzschlussauschaltvermögen zu richten. Ebenso ist auf die Wahl einer hochwertigen, flexibel einstellbaren Auslöseeinheit (Tripping Unit) zu achten, da dies eine wichtige Grundlage zur Erlangung bestmöglicher Selektivität zu allen vor- und nachgeordneten Geräten ist.

Verteilerstromkreis

Die Dimensionierung der Kabelstrecken und der Geräte richtet sich nach den zu erwartenden maximalen Belastungsströmen, die über diese Verteilebene fließen können.
In der Regel gilt:

$$I_{b\,max} = \Sigma \text{ installierte Verbraucherleistung x Gleichzeitigkeitsfaktor}$$

Schalt-/Schutzgerät und Verbindungsstrecke sind in Bezug auf Überlast- und Kurzschlussschutz aufeinander abzustimmen. Für die Gewährleistung des Überlastschutzes ist unter anderem auf die normierten Prüfströme des eingesetzten Geräts zu achten.

Beachte:

Eine Überprüfung allein auf Basis des Gerätenennstroms oder des Einstellwerts I_r ist nicht ausreichend.

Grundregeln zur Gewährleistung des Überlastschutzes
Bemessungsstromregel

- nicht einstellbare Schutzeinrichtungen

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

Der Nennstrom I_n des gewählten Geräts muss sich zwischen dem ermittelten max. Belastungsstrom I_b und dem max. zulässigen Belastungsstrom I_z des gewählten Übertragungsmediums (Kabel oder Schiene) bewegen.

- einstellbare Schutzeinrichtungen

  $I_b \leq I_r \leq I_z$

  Der Einstellwert des Überlastauslösers I_r des gewählten Geräts muss sich zwischen dem ermittelten max. Belastungsstrom I_b und dem max. zulässigen Belastungsstrom I_z des gewählten Übertragungsmediums (Kabel oder Stromschiene) bewegen.

Auslösestromregel

$I_2 \leq 1{,}45 \bullet I_z$

Der max. zulässige Belastungsstrom I_z des gewählten Übertragungsmediums (Kabel oder Stromschiene) muss sich oberhalb des Prüfstroms I_2 /1,45 des gewählten Geräts bewegen. Der Prüfwert I_2 ist normiert und variiert je nach Typ und Charakteristik der verwendeten Schutzeinrichtung.

Grundregeln zur Gewährleistung des Kurzschlussschutzes

Kurzschlussenergie

$K^2S^2 \geq I^2t$
(K = Materialbeiwert; S = Querschnitt)

Die Energie, die bei Auftreten eines Kurzschlusses bis zur automatischen Abschaltung frei wird, muss zu jedem Zeitpunkt kleiner sein als die Energie, die das Übertragungsmedium maximal führen kann, bevor es zu irreparablen Schäden kommt. Laut Norm gilt diese Grundregel im Zeitbereich bis max. 5 s.

Unter 100 ms Kurzschlussabschaltzeit muss die Durchlassenergie des Schutzgeräts (lt. Angaben des Geräteherstellers) berücksichtigt werden. Bei Einsatz von Geräten mit Auslöseeinheit ist die Einhaltung dieser Grundregel über den gesamten Gerätekennlinienverlauf zu überprüfen. Eine alleinige Überprüfung im Bereich des maximalen Kurzschlussstroms ($I_{k\,max}$) ist vor allem bei Verwendung von zeitverzögerten Auslösern nicht immer ausreichend.

Kurzschlusszeit

$$t_a\ (I_{k\ min}) \leq 5\ s$$

Die resultierende Abschaltzeit der gewählten Schutzeinrichtung muss den berechneten kleinsten Kurzschlussstrom $I_{k\ min}$ am Ende der Übertragungs- bzw. Schutzstrecke in spätestens 5 s automatisch abschalten können. Überlast- und Kurzschlussschutz müssen dabei nicht zwangsläufig von ein und demselben Gerät wahrgenommen werden. Die beiden Schutzziele können bei Bedarf auch von einer Gerätekombination übernommen werden. Ebenso ist auch der Einsatz von separaten Schalt-/Schutzgeräten denkbar, die jeweils am Anfang und am Ende einer Kabelstrecke zum Einsatz kommen. Geräte, die am Ende einer Kabelstrecke eingesetzt werden, konnen für diese Verbindungsstrecke generell nur den Überlastschutz übernehmen.

Endstromkreise
Das Verfahren zur Koordination von Überlast- und Kurzschlussschutz ist für Verteiler- und Endstromkreise prinzipiell identisch. Neben dem Überlast- und dem Kurzschlussschutz ist des Weiteren auch die Einhaltung des Personenschutzes für alle Stromkreise von Bedeutung.

Schutz gegen elektrischen Schlag

$$t_a\ (I_{k1\ min}) \leq t_{a\ zul}$$

Bei Auftreten eines 1-poligen Fehlers gegen Erde ($I_{k1\ min}$) muss die resultierende Abschaltzeit t_a der gewählten Schutzeinrichtung kleiner sein als die maximal zulässige Abschaltzeit $t_{a\ zul}$, die laut Norm IEC 60364-4-41 / DIN VDE 0100-410 zur Einhaltung des Personenschutzes für diesen Stromkreis gefordert wird. Da die geforderte maximale Abschaltzeit je nach Nennspannung des Netzes und nach Art der angeschlossenen Verbraucher variiert (ortsfeste und ortsveränderliche Verbraucher), können sich die Schutzanforderungen bzgl. Mindestabschaltzeit $t_{a\ zul}$ von einem Verbraucherstromkreis auf andere Stromkreise übertragen. Alternativ kann dieses Schutzziel auch durch Einhaltung einer maximalen Berührungsspannung erreicht werden.
Da Endstromkreise häufig von langen Zuleitungswegen geprägt sind, wird ihre Dimensionierung häufig durch den maximal zulässigen Spannungsfall beeinflusst.
In Bezug auf die einzusetzenden Schalt-/Schutzgeräte ist darauf zu achten, dass lange Verbindungsstrecken hohe Impedanzen und damit eine starke Dämpfung der berechneten Kurzschlussströme mit sich bringen.

Je nach Netzbetriebsfahrweise (Kupplung offen, Kupplung zu) und Einspeisemedium (Transformator oder Generator) müssen die Schutzeinrichtungen und deren Schutzeinstellung für den schlechtesten Fall in Bezug auf die Kurzschlussströme ausgerichtet werden.
Im Gegensatz zu Einspeise- oder Verteilerstromkreisen, wo auf die Wahl einer hochwertigen Auslöseeinheit großer Wert gelegt wird, werden an die Schutzeinrichtungen in Endstromkreisen keine besonderen Ansprüche in Bezug auf die angestrebte Selektivität gestellt. Hier genügt prinzipiell der Einsatz einer Auslöseeinheit mit LI-Charakteristik.

Dimensionierung per Software
Der Dimensionierungsvorgang an und für sich ist leicht verständlich und mit einfachen Mitteln durchführbar. Die Komplexität liegt in der Beschaffung der erforderlichen technischen Daten der eingesetzten Produkte und Systeme, die einerseits in verschiedenen Normen und Vorschriften und andererseits in verschiedenen Produktkatalogen zu finden sind.

Ein wesentlicher Aspekt ist die stromkreisübergreifende Beeinflussung der dimensionierten Komponenten aufgrund ihrer technischen Daten, beispielsweise die erwähnte Vererbung von Mindestabschaltzeiten eines ortsveränderlichen Verbraucherstromkreises auf ortsfeste Verbraucherstromkreise oder Verteilerstromkreise.

Ein weiterer Aspekt liegt in der wechselseitigen Beeinflussung von Dimensionierung <–> Netzberechnung (Kurzschluss), z. B. bei Einsatz von Geräten, die den Kurzschlussstrom begrenzen.

Weitere INFOS

Die Komplexität steigt zudem, wenn länderabhängig verschiedene Normen und Errichtergewohnheiten bei der Dimensionierung berücksichtigt werden sollen. Aus Gründen der Risikominimierung und der Zeitersparnis verwenden etliche Planungs- und Ingenieurbüros zur Durchführung von Dimensionierungs- und Überprüfungsvorgängen in elektrischen Netzen generell technisch hochwertige Berechnungsprogramme wie SIMARIS design von Siemens.

www.siemens.de/simarisdesign

Netzdaten und Betriebsarten

Netzdaten

Zu den wichtigsten Daten eines Netzes gehören die Nennspannung und die Netzfrequenz sowie das Kurzschlussverhalten. Diese werden als Nennwerte angegeben. Bei Niederspannungs-Schaltgeräten werden die früher angegebenen Nenndaten entsprechend DIN EN 60947 (VDE 0660) zu Bemessungsdaten.

Hauptstromkreise

Im Bereich der Niederspannung ist in der Norm IEC 38 als wesentlichste Vereinheitlichung hervorzuheben, dass die Spannungswerte 220/380 V und 240/415 V für Drehstromnetze der elektrischen Energieversorgung durch einen einzigen, weltweit genormten Einheitswert 230/400 V ersetzt worden sind.

Die Norm DIN 40005 Nennfrequenzen von 16 $^2/_3$ bis 10.000 Hz enthält die Bestimmungen für die Nennfrequenzen. Zur Energieversorgung ist hierin nur die Frequenz 50 Hz vorgesehen. Mit dieser Frequenz werden nicht nur die europäischen, sondern auch die von der europäischen Technik beeinflussten Stromversorgungsnetze betrieben.
Nur in den USA und Kanada sowie in den von der USA-Technik beeinflussten Ländern Mittelamerikas und zum Teil in Südamerika wie Kolumbien, Venezuela und Brasilien sowie in Japan wird eine Nennfrequenz von 60 Hz verwendet.

Im europäischen Bahnbetrieb beträgt die Nennfrequenz im allgemeinen 16 $^2/_3$ Hz, soweit mit Wechselstrom gefahren wird.

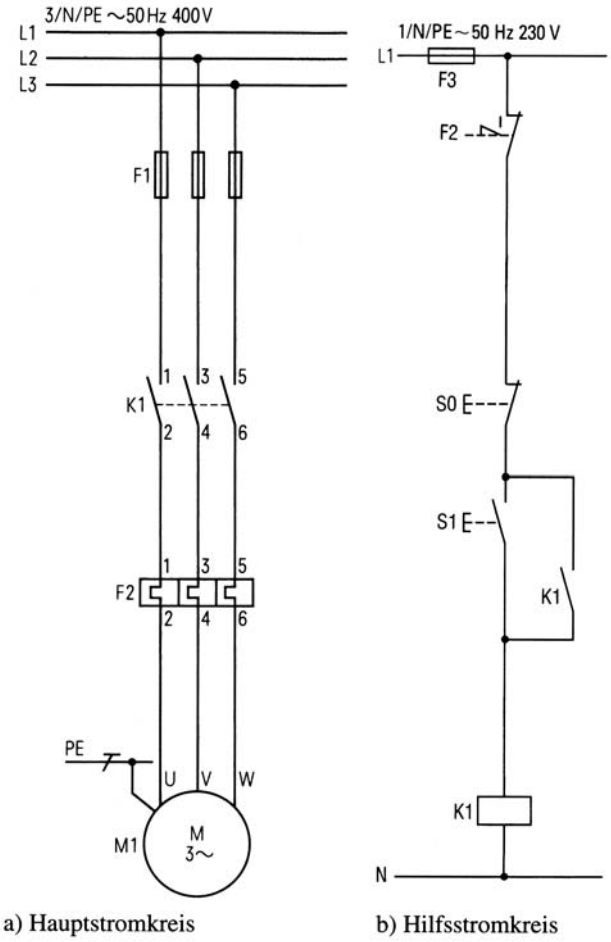
Höhere Frequenzen sieht man im Rahmen industrieller Anwendungen in einigen Industriezweigen nur für Antriebsmotoren vor, z. B. schnelllaufende Motoren in der Textilindustrie (100 Hz bis 120 Hz) oder in der Holzbearbeitungsbranche (bis 300 Hz). Für einige Anlagen ist eine Frequenz von 400 Hz festgelegt.

Hilfsstromkreise

Die Vorzugswerte der Nennspannung für Hilfsstromkreise, soweit sie von der Spannung des Hauptstromkreises abweichen, sind aus der entsprechenden Tabelle ersichtlich.

Vorzugswerte der Nennspannungen für Hilfsstromkreise nach DIN EN 60947-2 (VDE 0660 Teil 101).

Gleichspannung V	Wechselspannung V
24	24
48	48
110	110
125	-
-	127
220	220
-	230
250	-



Haupt- und Hilfsstromkreis eines Motorstromkreises bei Tasterbetätigung.

Betriebsspannungen

In DIN VDE 0100 Teil 725 wird auf DIN IEC 38 mit der Empfehlung verwiesen, Betriebsmittel, die üblicherweise während des Betriebs mit der Hand gehalten oder umfasst werden, mit Spannungen bis maximal 230 V Nennspannung zu betreiben. Als Maximalwert ist in DIN EN 60204-1 (VDE 0113 Teil 1) 250 V angegeben, wenn der Steuerstromkreis von einem Trenntransformator gespeist wird. Weltweit gibt es hier unterschiedliche Vorzugswerte. Allerdings bietet eine Wechselspannung von 230 V gegenüber niedrigeren Spannungen folgende Vorteile:

- höhere Kontaktsicherheit
- geringerer Spannungsabfall
- kleinere Leitungsquerschnitte

Beachte:

Nach DIN VDE 0100 Teil 725 müssen Hilfsstromkreise so ausgelegt werden, dass Abweichungen der Betriebsspannung am Betriebsmittel von -15 % bis +10 % von der Bemessungsspannung des Betriebsmittels die Funktionsfähigkeit nicht beeinträchtigen.

Nach DIN EN 60947 (VDE 0660) und IEC 947 müssen Steuerstromkreise mit allen ihren Funktionsgliedern so gebaut sein, dass sie ihre Funktion innerhalb der Spannungsgrenzen sicher erfüllen.

Geräte	Betätigung	Betätigungsspannung als Vielfaches der Bemessungs-steuerspannung	Betätigungsspannung als Vielfaches der Bemessungs-steuerspannung
		Untere Grenze	Obere Grenze
Kraftantriebe von Schaltern	Schließen Öffnen	0,85 • U_S 0,85 • U_S	1,1 • U_S 1,1 • U_S
Schütze	Schließen Öffnen	0,85 • U_S 0,20 • U_S AC 0,10 • U_S DC	1,1 • U_S 0,75 • U_S
Leistungsschalter mit Spannungsauslöser	Öffnen	0,7 • U_S	1,1 • U_S

Toleranzgrenzen der Betriebsspannung für allgemeine Anwendungen nach DIN EN 60947 (VDE 0660): In Bahn- und Bergbauanlagen gelten andere Werte.

Nach DIN VDE 0100 Teil 725 dürfen Hilfsstromkreise mit den Hauptstromkreisen direkt oder über Transformatoren mit getrennten Wicklungen verbunden oder von den Hauptstromkreisen unabhängig sein.
Bei Hilfsstromkreisen mit direkter Verbindung zum Hauptstromkreis muss im geerdeten Netz die Spannung zwischen einem Außenleiter und dem Neutralleiter abgenommen werden.

Beachte:

Bei ungeerdetem Netz müssen alle Schaltglieder zweipolig ausgeführt werden.

TIPP:

Transformatoren zur Versorgung von Hilfsstromkreisen sollen vorzugsweise zwischen Außenleitern angeschlossen werden. Diese Potentialtrennung empfiehlt sich bei Hilfsstromkreisen, die überwiegend aus elektronischen Betriebsmitteln oder Systemen bestehen.

DIN EN 60204-1 (VDE 0113 Teil 1 - Elektrische Ausrüstung von Maschinen) schreibt zur Versorgung der Steuerstromkreise von Maschinen ab einer Bemessungsleistung von 3 kW Transformatoren vor. In diesem Fall darf die Nennspannung des Steuerstromkreises 250 V nicht übersteigen.

Beachte:

DIN EN 60204-1 (VDE 0113 Teil 1) lässt bei Gleichspannungsversorgungen durch Batterien einen Spannungsbereich von 0,85 bis 1,15 der Nennspannung zu, bei Fahrzeugen sogar 0,7 bis 1,2 der Nennspannung.

Kurzschlussstrom

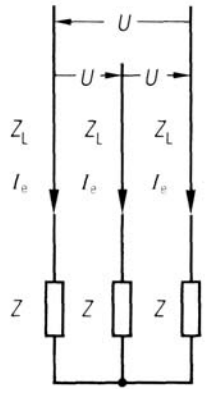
Größtmöglicher (prospektiver) Kurzschlussstrom

Der an der Einbaustelle auftretende, unbeeinflusste, größtmögliche (prospektive) Kurzschlussstrom ist maßgebend für die Auswahl der Schaltgeräte und Verteiler nach

- Kurzschlussfestigkeit
- Schaltvermögen und
- Backup-Schutz (falls erforderlich).

Der an beliebiger Stelle zwischen einer Phase und einem Schutzleiter mit vernachlässigbarer Impedanz auftretende Kurzschlussstrom ist maßgebend für die Schutzmaßnahmen bei indirektem Berühren nach DIN VDE 0100 Teil 470.
Der Kurzschlussstrom ist behandelt in den VDE-Leitsätzen für die Berechnung der Kurzschlussströme in Drehstromnetzen mit Nennspannungen bis 1.000 V gemäß DIN VDE 0102.

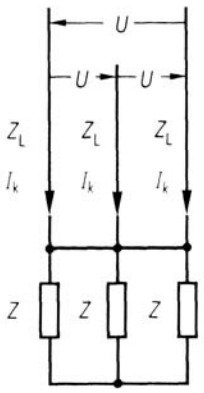
Im ungestörten Zustand fließt der Nennbetriebsstrom I_e. Er ist bestimmt durch die Netzspannung U und die Summe der Impedanzen des Netzes Z_L und der Last Z.
Bei Kurzschluss entfällt die entscheidende Lastimpedanz Z. Der Kurzschlussstrom ist daher neben der netzspannung U nur abhängig von der Netzimpedanz Z_L und dem Widerstand der Kurzschlussstelle. Dieser Widerstand (z. B. des Lichtbogens) kann den Kurzschlussstrom erheblich dämpfen, wird jedoch bei Kurzschlussberechnungen im Allgemeinen nicht berücksichtigt.



Nennbetriebsstrom I_e

$$I_e = \frac{U}{\sqrt{3}(Z_L + Z)}$$

a) Ungestörter Betrieb



Dauerkurzschlussstrom I_k

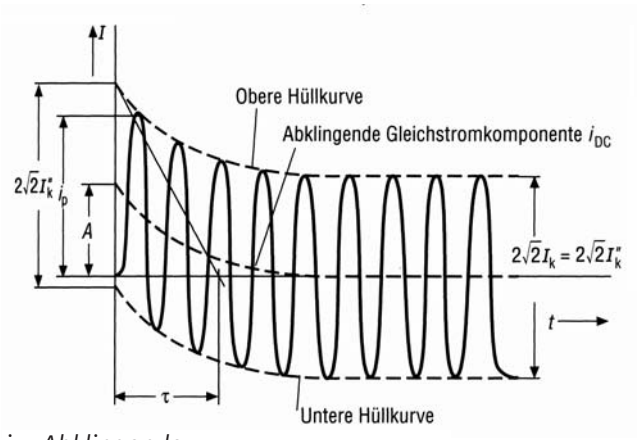
$$I_k = \frac{U}{\sqrt{3}\,Z_L}$$

b) Durch Kurzschluss gestörter Betrieb

Nennbetriebs- und Dauerkurzschlussstrom

Ausgleichsvorgang

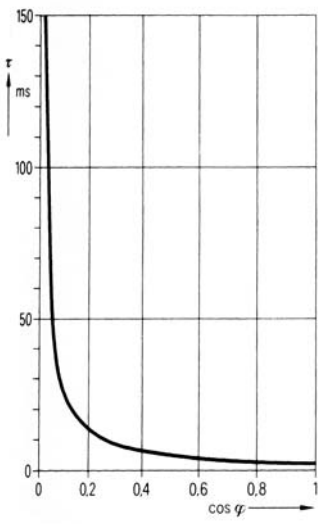
Bei einem Kurzschluss geht das Netz vom Betriebs- in den Kurzschlusszustand über. Abgesehen von dem Sonderfall, dass der Kurzschlussstrom gerade bei Stromnulldurchgang beginnt, geschieht dieser Übergang wie jedes Einschalten über einen Ausgleichsvorgang.



Verlauf des Kurzschlusswechselstroms bei generatorfernem Kurzschluss nach DIN VDE 0102.

i_{DC} *Abklingende Gleichstromkomponente des Kurzschlussstroms*
I_k'' *Anfangs-Kurzschlusswechselstrom*
i_p *Stoßkurzschlussstrom*
I_k *Dauerkurzschlussstrom*
A Anfangswert der Gleichstromkomponente i_{DC}
τ *Zeitkonstante der Gleichstromkomponente* i_{DC}

Dem symmetrischen Wechselstrom überlagert sich ein Gleichstromglied i_{DC}. Im Einschaltaugenblick ist das Gleichstromglied i_{DC} gleich dem Augenblickswert des Wechselstroms, aber von entgegengesetzter Polarität. Das Gleichstromglied i_{DC} klingt nach einer Exponentialfunktion mit der Zeitkonstanten $\tau = L/R$ ab.

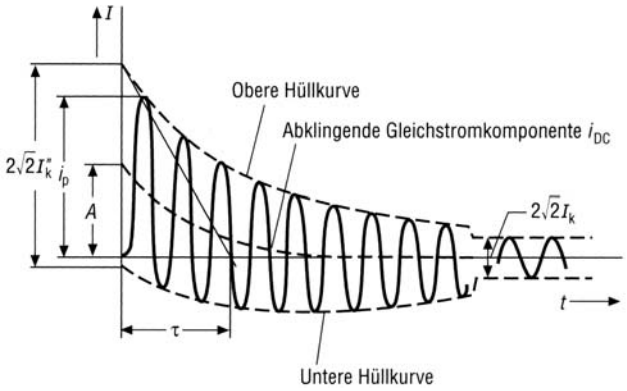


Zeitkonstante τ des Gleichstromglieds in Abhängigkeit vom cos φ des Stromkreises. Die Werte gelten für 50 Hz.

Bei Kurzschlussstromberechnungen sind von Bedeutung:

- *Anfangs-Kurzschlusswechselstrom I_k''*
  Dies ist der Effektivwert des Kurzschlusswechselstroms im Augenblick des Kurzschlusseintritts. Bei generatorfernem Kurzschluss, der im Niederspannungsnetz im Allgemeinen in Betracht kommt, ist der Kurzschlusswechselstrom I_k'' während der gesamten Kurzschlussdauer nahezu konstant und damit gleich dem Dauerkurzschlussstrom I_k. Damit ist $I_k'' \approx I_k$.

  Zum Vergleich ist bei dem generatornahen Kurzschluss der abklingende Anfangs-Kurzschlusswechselstrom I_k'' größer als der Dauerkurzschlussstrom Ik. Zur Berechnung des Anfangs-Kurzschlusswechselstroms I_k'' sind außer den wirksamen Netzimpedanzen die Anfangsreaktanzen X_d'' (subtransiente Längsreaktanzen der Synchronmaschine) maßgebend.



Verlauf des Kurzschlusswechselstroms bei generatornahem Kurzschluss nach DIN VDE 0102.

i_{DC} *Abklingende Gleichstromkomponente des Kurzschlussstroms*
I_k'' *Anfangs-Kurzschlusswechselstrom*
i_p *Stoßkurzschlussstrom*
I_k *Dauerkurzschlussstrom*
A *Anfangswert der Gleichstromkomponente i_{DC}*
τ *Zeitkonstante der Gleichstromkomponente i_{DC}*

- *Stoßkurzschlussstrom i_p als höchster Stromscheitelwert*
  Er ist zu erwarten, wenn der Kurzschlussstrom im Spannungsnulldurchgang beginnt.

  $ip = \chi \cdot \sqrt{2} \cdot I_k''$

  Näherungsgleichung:
  $\chi = 1{,}02 + 0{,}98 \cdot e^{-3 \cdot R/X}$

  Der Faktor χ ist dabei das Verhältnis des Stoßkurzschlussstroms i_p zum Scheitelwert des stationären Dauerkurzschlussstroms $\sqrt{2} \cdot I_k$. Er ist abhängig vom Verhältnis Wirkwiderstand zu Blindwiderstand R/X, d. h. vom cos φ des Kurzschlussstromkreises.

Leistungsfaktor cos φ im Kurzschlussstromkreis

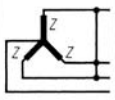
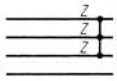
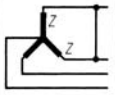
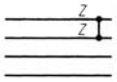
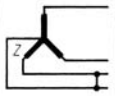
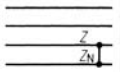
In Niederspannungsanlagen hängt der Leistungsfaktor cos φ des Kurzschlussstromkreises vorwiegend vom Blindwiderstand (Reaktanz) des Einspeisetransformators ab. Je größer dessen Leistung ist, um so größer ist der induktive Anteil seines Widerstands und um so kleiner ist der Leistungsfaktor cos φ. Dieser Zusammenhang wird in DIN EN 60947-2 (VDE 0660 Teil 101) bzw. IEC 947-2 berücksichtigt. Hier wird für Wechselstrom-Leistungsschalter, abhängig vom Leistungsfaktor cos φ, ein Mindestwert für das Bemessungskurzschlusseinschaltvermögen als Vielfaches des Bemessungskurzschlussausschaltvermögens ($I_{cm} = n \bullet I_{cn}$) angegeben.

Kurzschlussarten

In einem Drehstromnetz können Kurzschlüsse zwischen drei Außenleitern, zwei Außenleitern oder zwischen einem Außenleiter und dem N-Leiter oder Erde auftreten.

Hinweis:

Der höchste Strom tritt bei dreipoligem sowie einpoligem Kurzschluss unmittelbar an den niederspannungsseitigen Klemmen des Transformators auf, wenn der Transformator die einzige Speisequelle für den Kurzschluss ist.

Kurzschlussart	Kurzschluss an den Transformatorklemmen			Kurzschluss in den Kabel- bzw. Leitungszügen		
		Kurzschlusstrom	Verhältnis		Kurzschlussstrom	Verhältnis
dreipolig		$I_{k3} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z}$	$\frac{I_{k3}}{I_{k3}} = 1$		$I_{k3} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z}$	$\frac{I_{k3}}{I_{k3}} = 1$
zweipolig		$I_{k2} = \frac{U}{2 \cdot Z}$	$\frac{I_{k2}}{I_{k3}} = 0,87$		$I_{k2} = \frac{U}{2 \cdot Z}$	$\frac{I_{k2}}{I_{k3}} = 0,87$
einpolig (Erdschluss)		$I_{k1} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z}$	$\frac{I_{k1}}{I_{k3}} = 1$		$I_{k1} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot (Z + Z_N)}$	$\frac{I_{k1}}{I_{k3}} \leq 0,5$

Kurzschlussarten und Höhe ihrer Kurzschlusswechselströme im Drehstromnetz:
U verkettete Spannung
Z Impedanzen (Wirk- und Blindwiderstand) eines Außenleiters
Z_N Impedanzen des N-Leiters

Beitrag von angeschlossenen Motoren zum Kurzschlussstrom

Bei der Ermittlung des Kurzschlussstroms ist nach DIN VDE 0102 der Anteil zu berücksichtigen, der von Motoren beigetragen wird.

TIPP:

Synchronmotoren und Synchron-Phasenschieber werden hierbei wie Generatoren behandelt.

Der Beitrag von Asynchronmotoren mit Nennspannungen bis 1.000 V darf vernachlässigt werden, wenn der Summenbemessungsstrom ΣI_{rM} der Motorengruppe kleiner als 1 % des dreipoligen Anfangs-Kurzschlusswechselstroms I_{k3}'' ohne Motoren ist.
Motoren, die nach Art der Schaltung (Verriegelung) oder des Prozesses (Reversierantriebe) nicht eingeschaltet sind, bleiben unberücksichtigt.

Wirkungen des Kurzschlussstroms
Der Kurzschlussstrom übt eine dynamische und thermische Beanspruchung auf die Anlagenkomponenten aus. Die Bemessung von Starkstromanlagen auf mechanische und thermische Kurzschlussfestigkeit ist der Bestimmung DIN EN 60865-1 (VDE 0103) zu entnehmen.

Dynamische Wirkung
Zwei parallele Leiter ziehen sich an oder stoßen sich ab, je nachdem, ob sie gleichsinnig oder in entgegengesetzter Richtung vom Strom durchflossen werden.
Die Kraft F zwischen zwei langen, parallelen biegesteifen Stromleitern entspricht in erster Näherung der Beziehung:

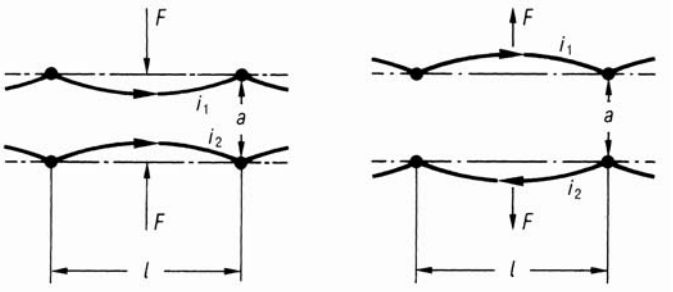
$$F = 0{,}2\, i_1 \bullet i_2\, l/a$$

F	*Kraft in N*
i_1, i_2	*Augenblickswerte der Leiterströme in kA*
l	*Stützabstand einer Schiene (Länge der Leiter) in mm*
a	*Mittenabstand der Leiter (Schienen) in mm*

Für die Kraft F des Stoßkurzschlussstroms i_{p2}, abhängig vom Leiterabstand a_s, gilt bei einem zweipoligen Kurzschluss für parallele biegesteife Teilleiter (mehrere Schienen) pro Phase:

$$F = 0{,}2 \bullet (i_{p2} / n)^2 \bullet l/a_s$$

F	*Kraft auf Teilleiter in N*
i_p	*Kurzschlussstrom (in Drehstromanlagen i_{p3}) in kA*
l	*Abstand der Zwischenstücke in mm*
n	*Anzahl Teilleiter*
a_S	*wirksamer Teilleiterabstand in mm*



Kraftwirkung F des Kurzschlussstroms auf parallele Leiter (übertrieben dargestellt).

a) In gleicher Richtung fließende Ströme; die Leiter ziehen sich an.

b) Entgegengesetzt fließende Ströme; die Leiter stoßen sich ab.

Der wirksame Teilleiterabstand a_S ist bei einem Leiter pro Phase gleich dem Leiterabstand a. Bei mehreren Schienen pro Phase ist a_S nicht gleich a, sondern abhängig von

- Schienenquerschnitt (Breite/Dicke)
- Schienenzahl
- Schienenform

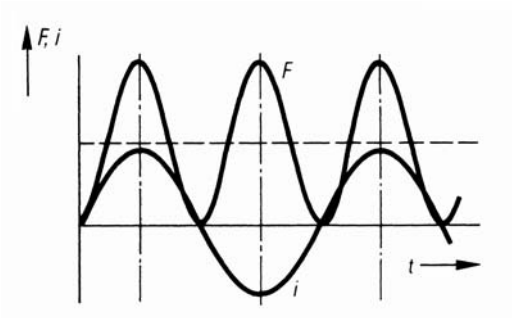
TIPP:

Entsprechende Werte für a_S von Rechteck-Schienen können aus DIN EN 60865-1 entnommen werden oder müssen evtl. berechnet werden.

Hinweis:

In Drehstromkreisen trifft bei dreipoligem Kurzschluss die größte Beanspruchung unter bestimmten Bedingungen den mittleren Leiter.

In Wechselstromkreisen verläuft der Strom zeitlich entsprechend einer Sinuskurve. Die Größe der Kraft ändert sich daher mit dem Quadrat der Sinuskurve. Dauert der Kurzschlussstrom länger als eine halbe Periode (10 ms bei 50 Hz), so werden die Leiter mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt, deren Frequenz der doppelten Netzfrequenz entspricht.



Der Wechselstrom i verursacht eine mit doppelter Stromfrequenz pulsierende Kraft F.

Thermische Wirkung:
Kurzschlussströme erwärmen die Leiter sehr stark. Diese Erwärmung hängt vom Quadrat des Effektivwerts von I_k und von dessen Dauer ab (I_k^2 • t-Wert).

Diagramme zur Widerstands- und Kurzschlussstrombestimmung

Der dreipolige Kurzschlussstrom an der Geräte-Einbaustelle kann überschlägig unter Verwendung der nachfolgenden Diagramme ermittelt werden. Eine exakte Berechnung kann über entsprechende Computerprogramme erfolgen.

Beachte:

Bei der überschlägigen Ermittlung des Anfangs-Kurzschlusswechselstroms I_k'' gelten folgende Vorbedingungen: Speisung des Netzes nur über Transformatoren sowie gleichbleibende Primärspannung am Transformator.

Die Blindwiderstände X und Wirkwiderstände R sind für unterschiedliche Querschnitte der Freileitungen und Kabel aus den Diagrammen abzulesen. Dies gilt auch für die Wirkwiderstände R_T und Blindwiderstände X_T entsprechend den einzelnen Streuspannungen u_x der Transformatoren.

Die Streuspannung ergibt sich aus:

$$u_x = \sqrt{(u_{kr}^2 - u_{Rr}^2)}$$

u_x *Streuspannung des Transformators in %*
u_{kr} *Kurzschlussspannung des Transformators in %*
u_{Rr} *Ohmscher Spannungsfall des Transformators in %*

Aus den Diagrammen lässt sich somit der Effektivwert des Anfangs-Kurzschlusswechselstroms I_k'', abhängig von der geometrischen Summe der Blind- und Wirkwiderstände, ermitteln. Die ermittelten Werte enthalten jeweils einen mehr oder minder großen Sicherheitsfaktor, da die Diagramme die dämpfende Wirkung von Übergangswiderständen, Stromschleifen und Stromverdrängung nicht berücksichtigen.

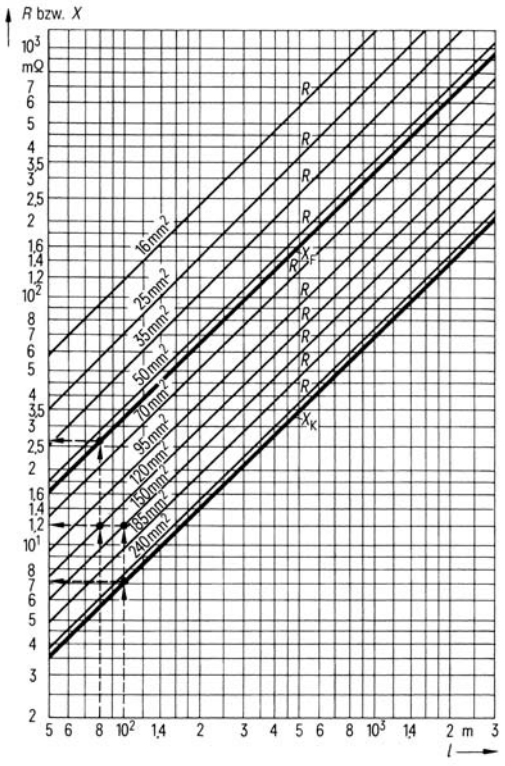
Die Gesamtwiderstände der Kurzschlussstrombahn ergeben sich aus der arithmetischen Summe der Einzelwiderstände.

Hinweis:

Bei 230-V-Netzen verschieben sich die Wirk- und Blindwiderstände im entsprechenden Diagramm um etwa 9 % nach oben.
Bei 400-V-Netzen verschieben sich die Wirk- und Blindwiderstände im entsprechenden Diagramm um etwa 10 % nach oben.

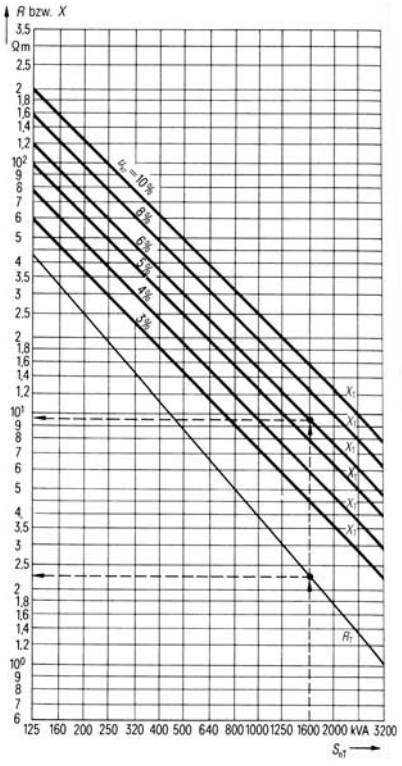
Unter Verwendung der ermittelten gesamten Wirk- und Blindwiderstände ist der Kurzschlussstrom aus dem entsprechenden Diagramm abzulesen. Der Schnittpunkt des Wirkwiderstands- und Blindwiderstandswerts ergibt die Größe des Anfangs-Kurzschlusswechselstroms I_k''. Liegt dieser Schnittpunkt zwischen den eingezeichneten Kurven, so erhält man durch Interpolation den tatsächlichen Anfangs-Kurzschlusswechselstrom I_k''.

Nomogramme zum Ermitteln des Kurzschlussstroms in 230-V-Netzen

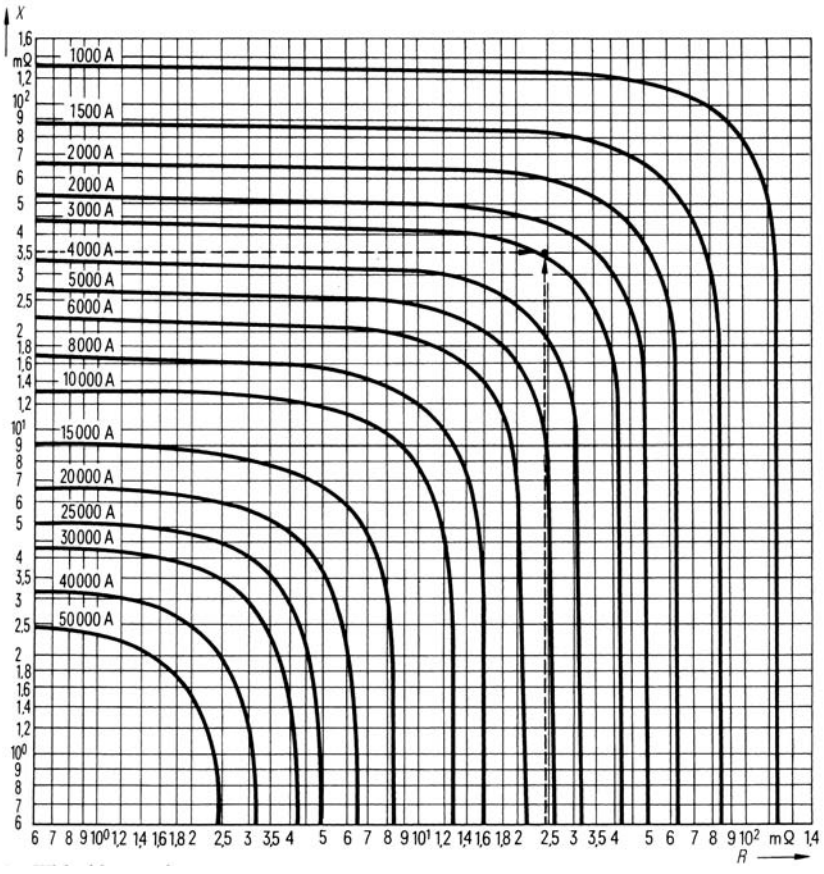


Wirk- und Blindwiderstände von Freileitungen und Kabeln (Mittelwerte für dreiadrige Kabel mit Kupferleitern)
(Bei Aluminiumleitungen sind die aus dem Diagramm entnommenen Werte des Wirkwiderstands mit dem Faktor 1,7 zu multiplizieren.)

R (Wirkwiderstand bei 20°C),
X_F (Blindwiderstand von Freileitungen),
X_K (Blindwiderstand von Kabeln),

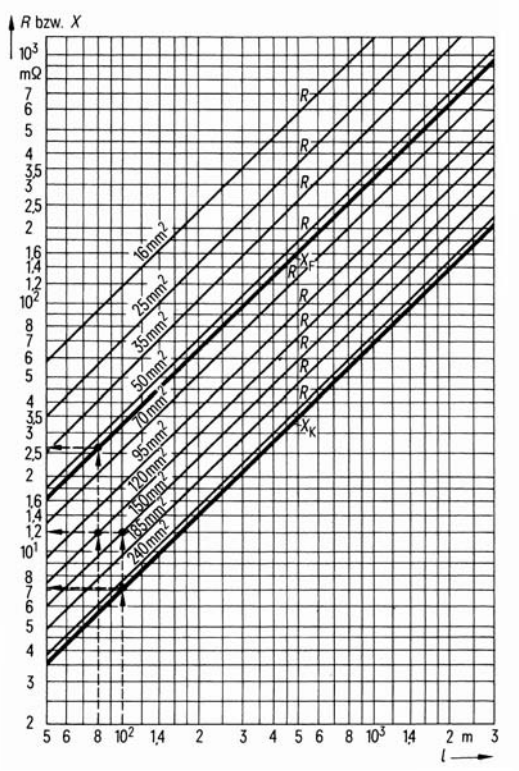


Wirk- und Blindwiderstände von Transformatoren
R_T (Wirkwiderstand), X_T (Blindwiderstand)

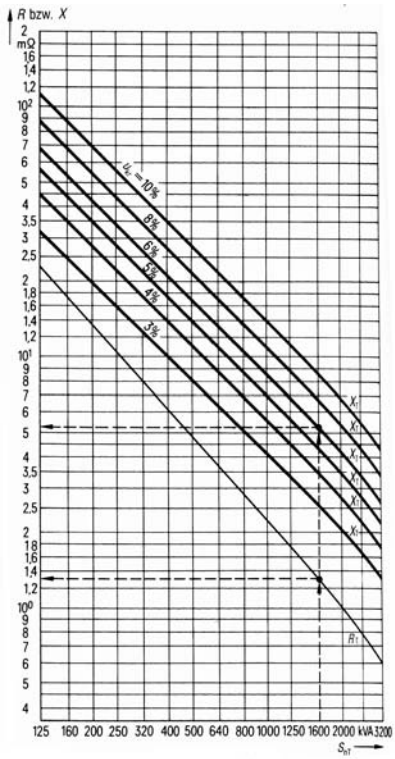


Anfangs-Kurzschlusswechselstrom I_k'' (Effektivwert) in Abhängigkeit vom Gesamtwiderstand der Kurzschlussstrombahn.
R Wirkwiderstand
X Blindwiderstand

Nomogramme zum Ermitteln des Kurzschlussstroms in 400-V-Netzen

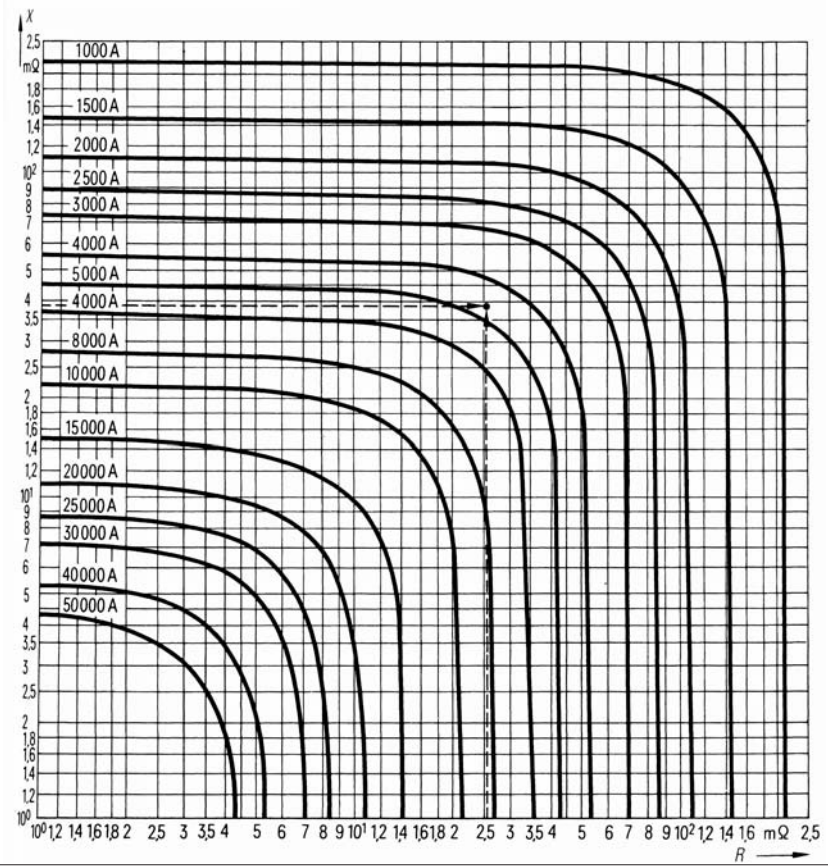


R (Wirkwiderstand bei 20°C),
X_F (Blindwiderstand von Freileitungen),
X_K (Blindwiderstand von Kabeln),

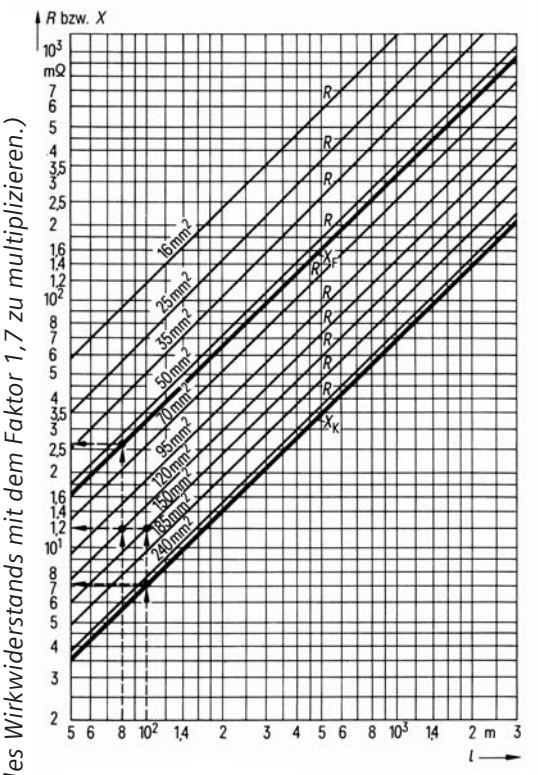


Wirk- und Blindwiderstände von Transformatoren
R_T (Wirkwiderstand), X_T (Blindwiderstand)

Wirk- und Blindwiderstände von Freileitungen und Kabeln (Mittelwerte für dreiadrige Kabel mit Kupferleitern)
(Bei Aluminiumleitungen sind die aus dem Diagramm entnommenen Werte des Wirkwiderstands mit dem Faktor 1,7 zu multiplizieren.)

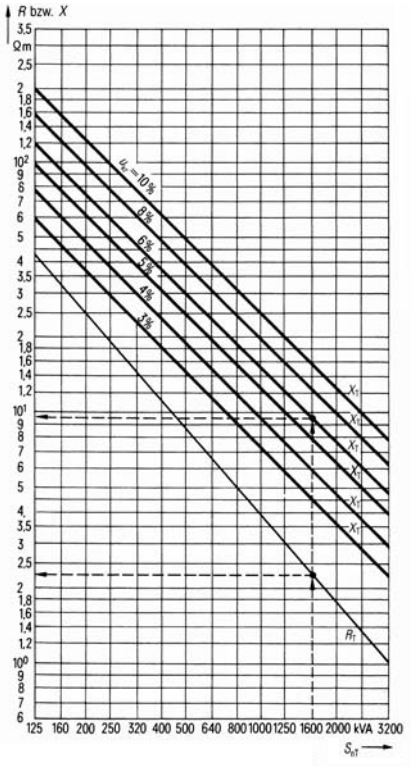


Anfangs-Kurzschlusswechselstrom I_k'' (Effektivwert) in Abhängigkeit vom Gesamtwiderstand der Kurzschlussstrombahn.
R Wirkwiderstand
X Blindwiderstand

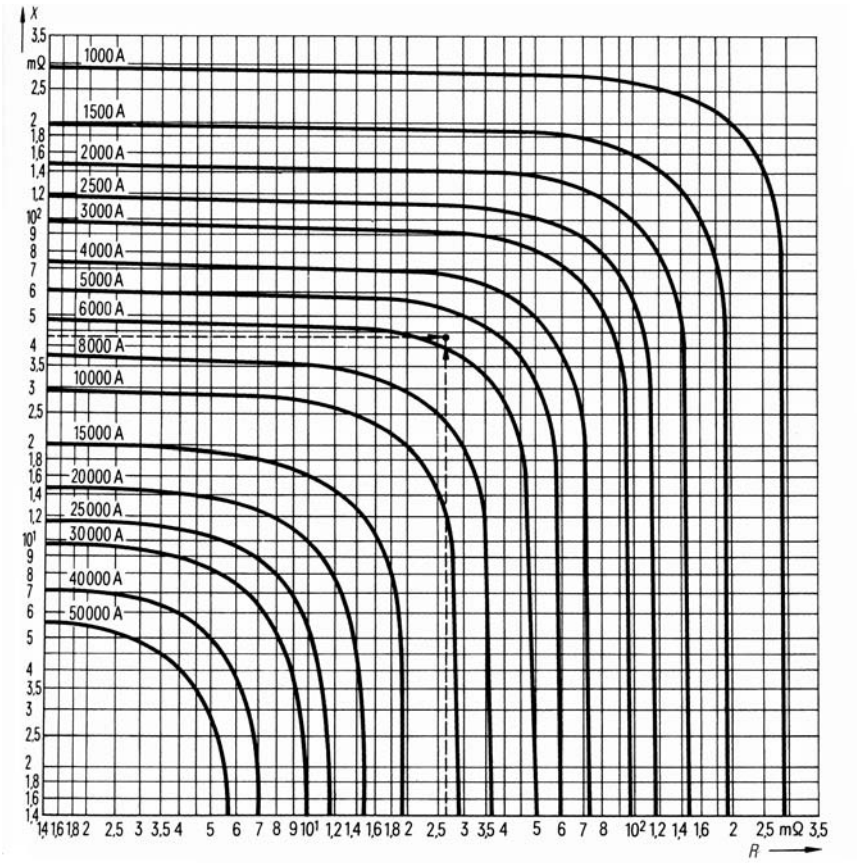


Wirk- und Blindwiderstände von Freileitungen und Kabeln (Bei Aluminiumleitungen sind die aus dem Diagramm entnommenen Werte des Wirkwiderstands mit dem Faktor 1,7 zu multiplizieren.)

R (Wirkwiderstand bei 20°C),
X_F (Blindwiderstand von Freileitungen),
X_K (Blindwiderstand von Kabeln),



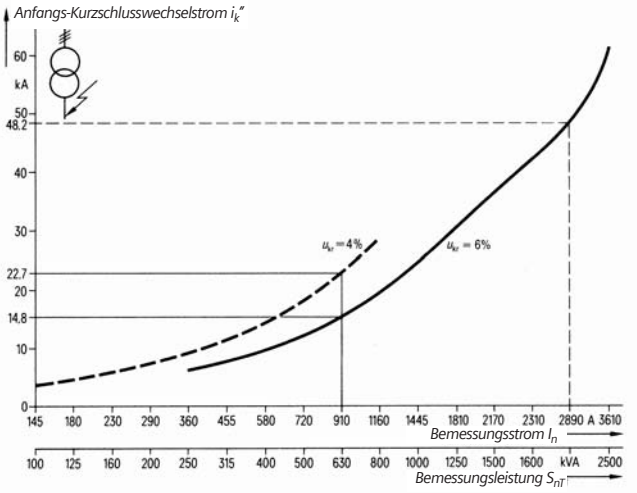
Wirk- und Blindwiderstände von Transformatoren
R_T (Wirkwiderstand), X_T (Blindwiderstand)



Anfangs-Kurzschlusswechselstrom I_k'' (Effektivwert) in Abhängigkeit vom Gesamtwiderstand der Kurzschlussstrombahn.
R Wirkwiderstand
X Blindwiderstand

Nomogramme zum Ermitteln des Kurzschlussstroms in 500-V-Netzen

Einfluss der Transformatoren und Leitungen auf den Kurzschlussstrom
Die Höhe des Kurzschlussstroms hängt bei gegebener Betriebsspannung von den Widerständen ab, die im Strompfad vom Generator bzw. Transformator bis zur Kurzschlussstelle liegen. Im Niederspannungsnetz ist hierfür die Leistung und die Kurzschlussspannung des Einspeisetransformators sowie der Widerstand der verlegten Kabel und Leitungen entscheidend. Zusätzlich liegen noch ohmsche und induktive Widerstände im Leitungszug, wie Übergangswiderstände und induktive Beeinflussungen durch benachbarte Eisenkonstruktionen, die der Berechnung nicht oder nur schwer zugänglich sind.



Anfangs-Kurzschluss-wechselstrom I_k'' von Transformatoren (400 V, 50 Hz).

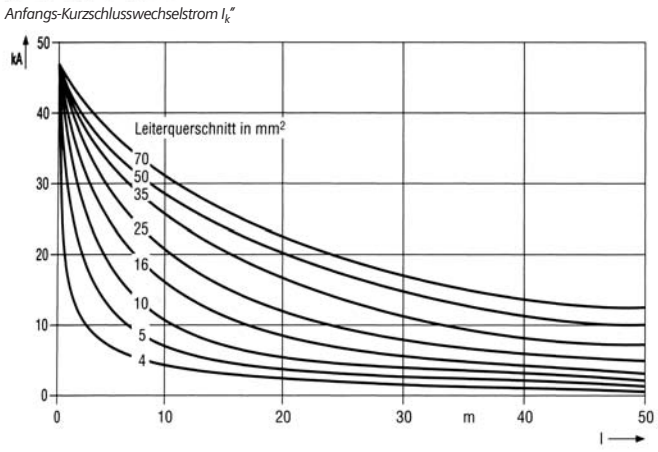
Das Bild zeigt die Abhängigkeit des Kurzschlussstroms I_k'' von der Leistung S_{nT} und Kurzschlussspannung u_{kr} der Transformatoren bei gegebener Nennspannung.
Diese Kurzschlussströme sind nur bei einem dreipoligen satten Kurzschluss unmittelbar an den niederspannungsseitigen Klemmen zu erwarten.
Dies ist jedoch eher ein unwahrscheinlicher Störungsfall, der niederspannungsseitig auch durch keine Schutzmaßnahme verhindert werden kann.
Das Bild zeigt auch, dass die Kurzschlussströme von gebräuchlichen Transformatoren in der Praxis nicht so hoch sind, wie allgemein angenommen.

Die Leitung hat einen erheblichen, dämpfenden Einfluss auf die Höhe des Kurzschlussstroms. Da der Kurzschlussstrom bei Kurzschluss an den Sekundärklemmen des Transformators abhängig ist von der Bemessungsleistung, dem Bemessungswert der Kurzschlussspannung und der Bemessungsspannung auf der Niederspannungsseite des Transformators, ist er zusätzlich bei einem entfernten Kurzschluss abhängig von Leiterquerschnitt und -länge.

Hinweis:

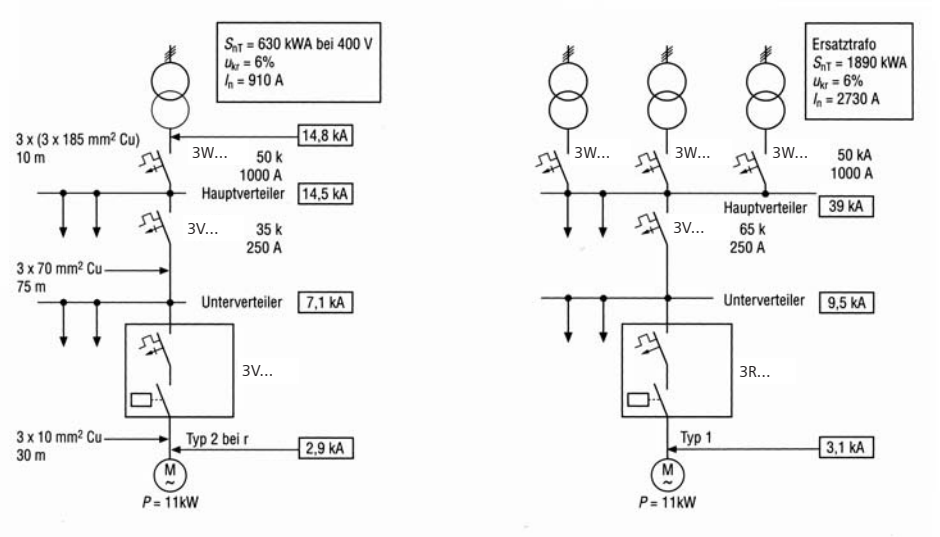
Die Kurzschlussdämpfung ist also um so wirkungsvoller, je kleiner die Bemessungsleistung und die Bemessungsspannung auf der Niederspannungsseite und je größer der Bemessungswert der Kurzschlussspannung des Transformators ist. Sie ist aber ebenfalls um so stärker, je kleiner der Leiterquerschnitt und je größer die Leiterlänge ist.

Anfangs-Kurzschlusswechselstrom I_k'' in Abhängigkeit von Leiterlänge l und Leiterquerschnitt q.



Beispiel:

Tritt ein Kurzschluss in 10 m Entfernung vom Transformator auf, und ist die Kurzschlussstelle mit dem Transformator durch eine Leitung mit einem Leiterquerschnitt von 10 mm² Cu verbunden, so wird der Kurzschlussstrom von 48,2 kA (Klemmenkurzschluss) auf 10 kA gedämpft. Bei einer Leitung mit einem Leiterquerschnitt von 25 mm² Cu ist dies erst nach etwa 25 m der Fall.



a) Einspeisung über einen Transformator *b) Einspeisung über drei Transformatoren*

Dämpfung des Kurzschlussstroms durch die Kabel und Leitungen der Verteiler bei einem bzw. bei drei parallel einspeisenden Leistungstransformatoren.

Kleinster Kurzschlussstrom

Für die Schutzmaßnahme Schutz durch Abschaltung, z. B. im TN-System ist es erforderlich, den kleinsten Kurzschlussstrom bei einem Kurzschluss zwischen einem Außenleiter und dem PEN-Leiter am Ende der Leitung zu ermitteln. Hierbei ist festzustellen, ob die automatische Abschaltung durch die Schutzeinrichtung bei diesem Kurzschlussstrom innerhalb der festgelegten Zeit erfolgt.

Für die Verbraucheranlagen sind in DIN VDE 0100 Teil 410 folgende Werte festgelegt:

- Maximal 0,2 s für Stromkreise bis 35 A Nennstrom mit Steckdosen.
- Maximal 0,2 s in allen anderen Stromkreisen mit Betriebsmitteln der Schutzklasse I, wenn sie während des Betriebs dauernd in der Hand gehalten oder umfasst werden, wie z. B. die Betätigungselemente einer Werkzeugmaschine.
- maximal 5 s in allen anderen Stromkreisen mit fest angeschlossenen Betriebsmitteln.

Betriebsarten

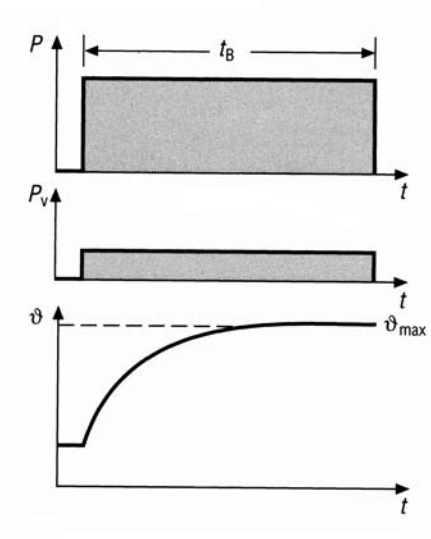
Drehstrom-Asynchronmotoren und Niederspannungs-Schaltgeräte sind - mit Ausnahme von Motoren für spezielle Anwendungen wie Stellantriebe - für Dauerbetrieb mit Bemessungsleistung ausgelegt. Ein erheblicher Teil der Motoren wird jedoch mit einer vom Dauerbetrieb abweichenden Betriebsart gefahren. Da die hierbei zu erzielende Leistungsausbeute von der Dauerbetriebsleistung erheblich abweichen kann, wird zum Projektieren von Antrieben und deren Schaltgeräte eine genaue Beschreibung der Betriebsart benötigt.

Hinweis:

In DIN EN 60034-1 (VDE 0530 Teil 1) wurde zur Erleichterung der Verständigung zwischen Anwender und Hersteller die Vielzahl der denkbaren Betriebsarten für Motoren in neun Hauptbetriebsarten (S1 bis S9) eingeteilt.

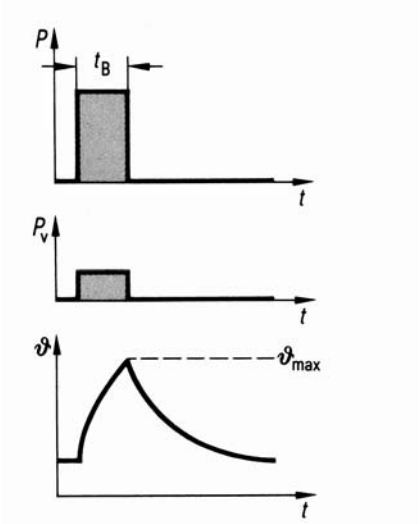
Betriebsart S1 (Dauerbetrieb)

Betriebsart S1 ist gekennzeichnet durch den konstanten Belastungszustand, z. B. mit Bemessungsleistung, dessen Dauer ausreicht, um den thermischen Beharrungszustand zu erreichen. Die Anlagenkomponenten müssen so bemessen sein, dass sie den konstanten Belastungsstrom auf unbegrenzte Zeit führen können, ohne dass ein Eingriff notwendig ist und ohne dass ihre zulässigen Grenztemperaturen überschritten werden. Die Kennzeichnung erfolgt durch S1 und Angabe der Leistung, z. B. S1:20 kW.



Betriebsart S1: Dauerbetrieb

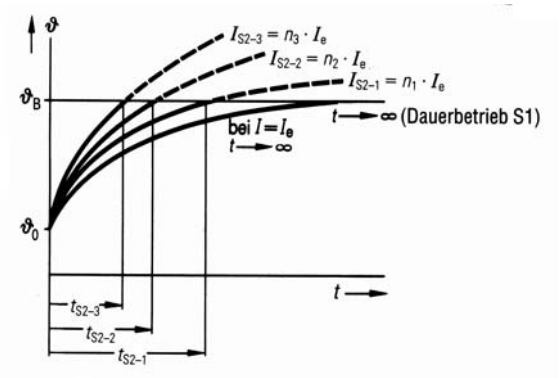
Betriebsart S2 (Kurzzeitbetrieb)
Dies ist ein Betrieb mit konstantem Belastungszustand, der aber nicht so lange dauert, dass der thermische Beharrungszustand erreicht wird, und mit einer nachfolgenden Pause, die so lange besteht, bis die Maschinentemperatur nicht mehr als 2 K von der Temperatur des Kühlmittels abweicht.
Die Kennzeichnung erfolgt durch S2 sowie durch die Betriebsdauer und Leistung, z. B. S2: 20 min, 15 kW.



Betriebsart S2: Kurzzeitbetrieb

Bei Kurzzeitbetrieb (KB) mit dem konstanten Bemessungsbetriebsstrom I_e wird die Grenztemperatur der Anlagenkomponenten, z. B. der Schaltgeräte, während der Belastungszeit nicht erreicht. Die Pausen zwischen den Strombelastungen sind so lang, dass das Schaltgerät wieder auf Umgebungstemperatur abkühlen kann.
Bei Kurzzeitbetrieb kann also ein Schaltgerät mit einem Strom $I_{S2} > I_{eAC1}$ belastet werden, ohne dass die Grenztemperatur überschritten wird. Die Einschaltdauer t_{S2} während des Kurzzeitbetriebs ist gleich der Erwärmungszeit des Schaltgeräts bis zum Erreichen der Grenztemperatur.
Je größer der Belastungsstrom I_{S2}, um so kürzer ist die zulässige Belastungszeit t_{S2} (Erwärmungszeit). Der maximale Belastungsstrom I_{S2} darf dabei die dynamische Festigkeit der Schaltgeräte nicht übersteigen (z. B. Kontaktabheben). Auch mit steigender Umgebungstemperatur verkürzt sich die zulässige Belastungszeit t_{S2}.

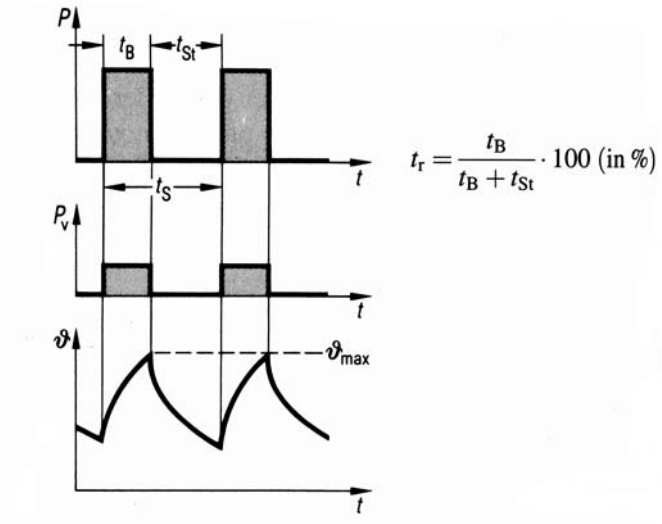
I_e	*Bemessungsbetriebsstrom*
I_{S2}	*Strom bei Kurzzeitbetrieb*
θ_B	*Zulässige Grenztemperatur*
θ_0	*Umgebungstemperatur*
t_B	*Belastungszeit*
n	*Vielfaches von I_e*
t_{S2}	*Zulässige Betriebszeiten bei I_{S2}*
θ_{max}	*Höchste Temperatur*



Erwärmungskennlinien von Schaltgeräten.

Betriebsart S3 (Periodischer Aussetzbetrieb)

Dies ist eine Betriebsart, die sich aus einer Folge identischer Spiele zusammensetzt, von denen jedes eine Zeit mit konstanter Belastung und eine Pause umfasst, wobei der Anlaufstrom die Erwärmung nicht merklich beeinflusst. Periodischer Aussetzbetrieb bedeutet, dass während der Belastungszeit kein thermischer Beharrungszustand erreicht wird. Die Kennzeichnung erfolgt durch Belastungszeit (t_B), Spieldauer (t_S) und Leistung bzw. Strom, z. B. S3: 15 min/60 min, 20 kW, oder durch die relative Einschaltdauer t_r (ED) in Prozent und durch die Spieldauer, z. B. S3: 20 %, 60 min, 20 kW.



$$t_r = \frac{t_B}{t_B + t_{St}} \cdot 100\ (\text{in \%})$$

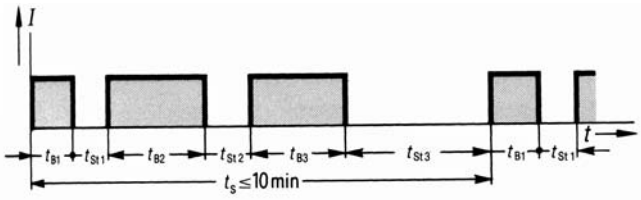
Betriebsart S3: Periodischer Aussetzbetrieb ohne Einfluss des Anlaufvorgangs.

Für Motoren gilt nach der Bestimmung DIN EN 60034-1 (VDE 0530) als Spieldauer bei Aussetzbetrieb 10 min, wenn nichts anderes vereinbart wird. Diese Spieldauer ist in der Praxis als oberer Grenzwert zu betrachten. Beim periodischen Aussetzbetrieb werden die Schaltgeräte periodisch ein- und ausgeschaltet, wobei Belastungszeit und Betriebspausen so kurz sind, dass die Geräteteile ihr thermisches Gleichgewicht weder bei den Erwärmungs- noch bei den Abkühlungsvorgängen erreichen. Der periodische Aussetzbetrieb wird durch die Angabe einer relativen Belastungszeit und der Spieldauer bzw. der relativen Einschaltdauer (ED) in Prozent gekennzeichnet.

$$ED = t_r = (t_B / t_S) \bullet 100\ (\text{in \%})$$

Für die Praxis mit vielen unterschiedlichen Werten gilt:

$$ED = (\Sigma t_B / (\Sigma t_B + \Sigma t_{St})) \bullet 100\ (\text{in \%})$$



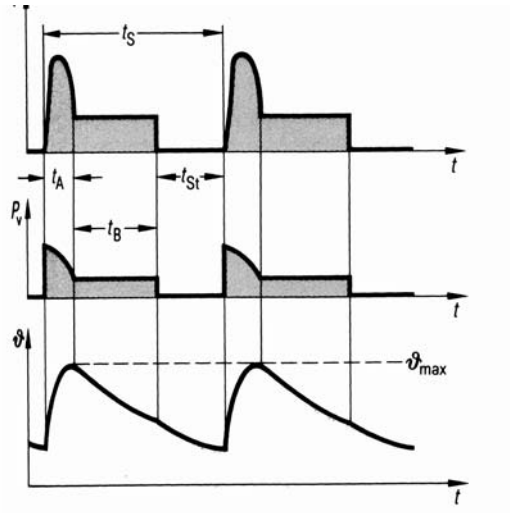
Periodischer Aussetzbetrieb, unterschiedlich lange Belastungs- und Pausenzeiten während eines Zyklus (Spielfolge).

TIPP:

Vorzugswerte der relativen Einschaltdauer nach DIN EN 60947-1 (VDE 0660 Teil 100) sind 15 %, 25 %, 40 % und 60 %.

Betriebsart S4 mit Einfluss des Anlaufvorgangs

Dies ist ein Betrieb, der sich aus einer Folge identischer Spiele zusammensetzt, von denen jedes eine merkliche Anlaufzeit (t_A), eine Zeit mit konstanter Belastung (t_B) und eine Pause (t_{st}) umfasst. Zusätzliche Angaben über das Trägheits- und Lastmoment während des Anlaufs sind notwendig. Die Kennzeichnung erfolgt durch die relative Einschaltdauer in Prozent, die Zahl der Anläufe pro Stunde und die Leistung, z. B. S4: 40 %, 520 Anläufe, 30 kW.



Betriebsart S4: Periodischer Aussetzbetrieb mit Einfluss des Anlaufvorgangs.

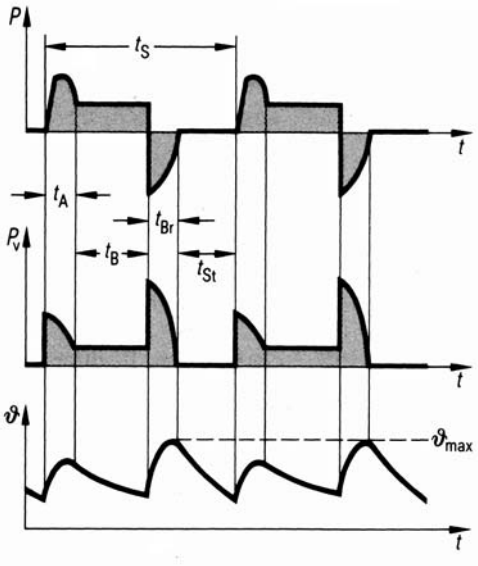
$t_r = (t_A + t_B) / (t_A + t_B + t_{St})$

Betriebsart S5 mit elektrischer Bremsung

Dies ist ein Betrieb, der sich aus einer Folge identischer Spiele zusammensetzt, von denen jedes eine merkliche Anlaufzeit (t_A), eine Zeit mit konstanter Belastung (t_B), eine Zeit schneller elektrischer Bremsung (t_{Br}) und eine Pause (t_{St}) umfasst.

$t_r = (t_A + t_B + t_{Br}) / (t_A + t_B + t_{Br} + t_{St})$

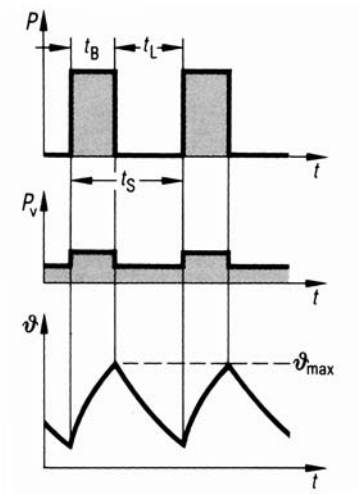
Zusätzliche Angaben über Trägheits- und Lastmomente bei Anlauf und Bremsung. Die Kennzeichnung ist wie bei S4, jedoch mit Angabe der Bremsart, z. B. S5: 30 %, 250 Spiele je Stunde, Bremsung durch Gegenstrombremsen, 50 kW.



Betriebsart S5: Periodischer Aussetzbetrieb mit Einfluss des Anlaufvorgangs und mit elektrischer Bremsung.

Betriebsart S6 (unterbrochener periodischer Betrieb)
Dies ist ein Betrieb, der sich aus einer Folge identischer Spiele zusammensetzt, von denen jedes eine Zeit mit konstanter Belastung (t_B) und eine Leerlaufzeit (t_L) umfasst. Es tritt *keine* Pause auf.
Die Kennzeichnung erfolgt wie bei S3,
z. B. S6: 30 %, 40 min, 85 kW.

$t_r = t_B / (t_B + t_L)$

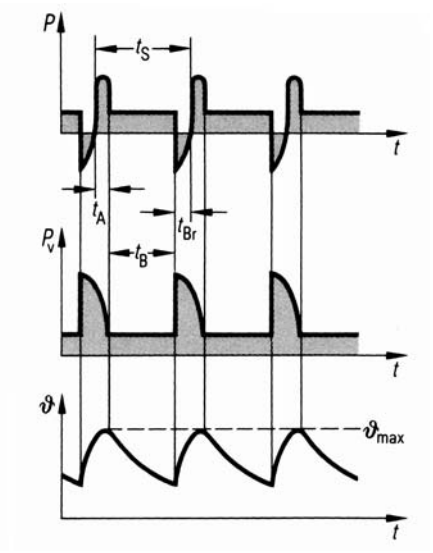


Betriebsart S6: Durchlaufbetrieb mit Aussetzbelastung.

Hinweis:

Die Spieldauer ist im Allgemeinen so kurz, dass der thermische Beharrungszustand nicht *erreicht wird.*

Betriebsart S7 (Ununterbrochener periodischer Betrieb mit elektrischer Bremsung)
Dies ist ein Betrieb, der sich aus einer Folge identischer Spiele zusammensetzt, von denen jedes eine merkliche Anlaufzeit (t_A), eine Zeit mit konstanter Belastung (t_B) und eine Zeit mit schneller elektrischer Bremsung (t_{br}) umfasst. Es tritt *keine* Pause auf.
Zusätzliche Angaben über Trägheits- und Lastmoment bei Anlauf und Bremsung sind hierbei notwendig. Die Kennzeichnung erfolgt wie bei S5, jedoch ohne t_r, z. B. S7: 12 kW, 500 Reversierungen je Stunde.



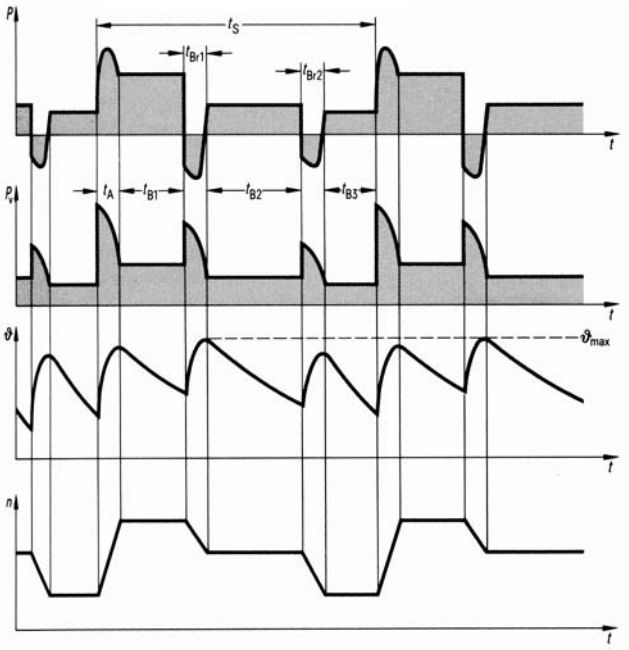
Betriebsart S7: Ununterbrochener periodischer Betrieb mit elektrischer Bremsung (t_r = 1)

Betriebsart S8 (ununterbrochener periodischer Betrieb mit Last-/Drehzahländerung
Dies ist ein Betrieb, der sich aus einer Folge identischer Spiele zusammensetzt; jedes dieser Spiele umfasst eine Zeit mit konstanter Belastung (t_B) und bestimmter Drehzahl; anschließend eine oder mehrere Zeiten mit anderer Belastung, denen unterschiedliche Drehzahlen entsprechen. Die Kennzeichnung und entsprechende Zusatzangeben sind wie bei S5, jedoch für jede Drehzahl.

$t_{r1} = (t_A + t_{B1}) / (t_A + t_{B1} + t_{Br1} + t_{B2} + t_{Br2} + t_{B3})$

$t_{r2} = (t_{Br1} + t_{B2}) / (t_A + t_{B1} + t_{Br1} + t_{B2} + t_{Br2} + t_{B3})$

$t_{r3} = (t_{Br2} + t_{B3}) / (t_A + t_{B1} + t_{Br1} + t_{B2} + t_{Br2} + t_{B3})$



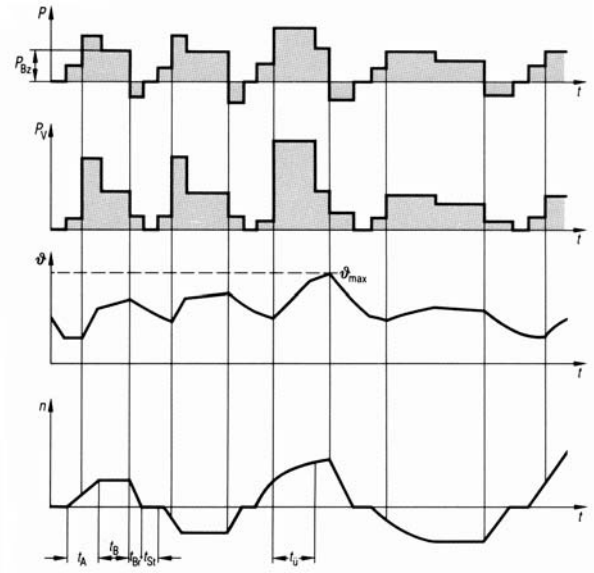
Betriebsart S8: Ununterbrochener periodischer Betrieb mit Last-/Drehzahländerung.

Betriebsart S9 (Betrieb mit nichtperiodischer Last- und Drehzahländerung)

Dies ist ein Betrieb, bei dem sich im Allgemeinen Belastung und Drehzahl innerhalb des zulässigen Betriebsbereichs nichtperiodisch ändern. Bei diesem Betrieb treten häufig Belastungsspitzen auf, die weit über der Bemessungsleistung liegen dürfen.

Beachte:

Dieser Betriebsart muss eine passend gewählte Dauerbelastung als Bezugswert für das Lastspiel zugrunde gelegt werden.



Betriebsart S9: Betrieb mit nichtperiodischer Last- und Drehzahländerung.

Hinweis:

Bei genauerer Betrachtung der Betriebsarten S2 bis S9 ist grundsätzlich zu erkennen, dass sie sich in zwei Gruppen einteilen lassen:

- *Betriebsarten, die gegenüber dem Dauerbetrieb S1 eine Leistungserhöhung zulassen (S2, S3, S6).*
- *Betriebsarten, die gegenüber dem Dauerbetrieb S1 eine Leistungsreduzierung erfordern (S4, S5, S7, S8, S9).*

Betrieb bei ungleichmäßiger Belastung

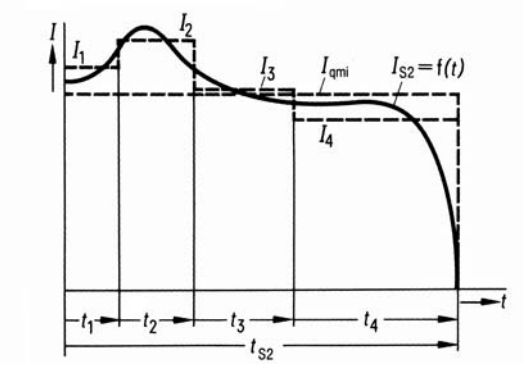
Eine der häufigsten Abweichungen von den nach DIN EN 60034-1 (VDE 0530 Teil1) definierten Betriebsarten ist, dass die geforderte Leistung während der Belastungszeiten nicht konstant ist. Dann lässt sich die Leistung P (Strom I, Moment M) durch eine mittlere Leistung P_{qmi} (Strom I_{qmi}, Moment M_{qmi}) ersetzen. Sie ist der quadratische Mittelwert aus den einzelnen Belastungen. Das hierbei maximal auftretende Moment darf 80 % des Kippmoments nicht übersteigen.
Wenn sich die benötigte größte Leistung um mehr als den Faktor 2 von der kleinsten Leistung unterscheidet, wird die mittlere Leistung zu ungenau; es muss dann mit dem mittleren Strom gerechnet werden. Diese Mittelwertbildung ist bei Betriebsart S2 nicht möglich.

Hat der Belastungsstrom des Kurzzeitbetriebs während der gesamten Einschaltdauer t_{S2} keinen konstanten Wert, so muss der quadratische Mittelwert I_{qmi} ermittelt werden, der für die Erwärmung maßgebend ist.

$$I_{qmi} = \sqrt{(I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \ldots + I_n^2 t_n) / (t_1 + t_2 + \ldots + t_n)}$$

Beispiel:

Unregelmäßige Strombelastung während des Kurzzeitbetriebs: Die Strombelastung $I_{S2} = f(t)$ wird durch eine Stufenbelastung I_t während der Zeit t_1 usw. bis I_4 während der Zeit t_4 ersetzt. Der sich ergebende quadratische Mittelwert I_{qmi} ist für die Erwärmung des Schaltgeräts während des Kurzzeitbetriebs maßgebend,
d. h. $I_{qmi} = I_{S2} = n \bullet I_{eAC1}$



Unregelmäßige Strombelastung bei Kurzzeitbetrieb während der Einschaltdauer t_{S2}.

Internationale Netzspannungen und Frequenzen in Niederspannungsnetzen

Nachfolgend sind die Spannungen der öffentlichen Niederspannungsnetze außerhalb der Bundesrepublik Deutschland angegeben. Die Angaben sind unverbindlich und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Bei Doppelangaben für Netzspannungen bis 1.000 V wird die niedrigere Spannung in erster Linie für Beleuchtung und Kleingeräte (z. B. Radio) verwendet, während die höhere Spannung vorwiegend für Geräte mit großer Leistung (z. B. Motoren) benutzt wird.

Ist bei Doppelangaben die höhere Spannung genau zweimal so groß wie der niedrigere Wert (z. B. 100/200 V), so handelt es sich um ein Einphasen-Dreileitersystem mit zwei Außenleitern und einem Mittelleiter.

Ist bei Doppelangaben die höhere Spannung (Außenleiterspannung = verkettete Spannung) 1,73-mal so groß wie der untere Wert (Sternspannung = Phasenspannung, z. B. 230/400 V), so handelt es sich um ein Drehstrom-Vierleitersystem mit drei Außenleitern und einem Sternpunktleiter.

Bei Einzelangaben, z. B. 500 V, handelt es sich um ein Drehstrom-Dreileitersystem mit drei Außenleitern.

Westeuropa	**Belgien**	50 Hz	230/400 - 127/220 - 220 V
	Dänemark	50 Hz	230/400 V
	Deutschland	50 Hz	230/400 - 500[1)] - 690[1)] V
	Finnland	50 Hz	230/400 - 500[1)] - 660[1)] V
	Frankreich	50 Hz	127/220 - 230/400 - 500[1)] - 380/660[1)] - 525/910[1)] V
	Griechenland	50 Hz	230/400 - 127/220[2)] V
	Großbritannien	50 Hz	(230/400 V)[3)]
	Irland	50 Hz	230/400 V
	Island	50 Hz	127/220[2)] - 230/400 V
	Italien	50 Hz	127/220 - 230/400 V
	Luxemburg	50 Hz	230/400 V
	Niederlande	50 Hz	230/400 - 660[1)] V
	Nordirland	50 Hz	230/400 - Belfast 220/380 V
	Norwegen	50 Hz	230 - 230/400 - 500[1)] - 690[1)] V
	Österreich	50 Hz	230/400 - 500[1)] - 690[1)] V
	Portugal	50 Hz	230/400 V
	Schweden	50 Hz	230/400 V
	Schweiz	50 Hz	230/400 - 500[2)] V
	Spanien	50 Hz	230/400 V
Osteuropa	**Albanien**	50 Hz	230/400 V
	Bulgarien	50 Hz	230/400 V
	Kroatien	50 Hz	230/400 V
	Slowenien	50 Hz	230/400 V
	Serbien	50 Hz	230/400 V
	Tschechien	50 Hz	230/400 - 500[1)] - 690[1)] V
	Slovakei	50 Hz	230/400 - 500[1)] - 690[1)] V
	Gebiet der ehemaligen UdSSR	50 Hz	230/400 - 690[1)] V
	Polen	50 Hz	230/400 V

[1)] Nur Industrie
[2)] Kein weiterer Ausbau
[3)] Seit dem Jahr 2003

Osteuropa	**Rumänien**	50 Hz	230/400 V
	Ungarn	50 Hz	230/400 V
Nahost	**Afghanistan**	50 Hz	220/380 V
	Bahrein	50 Hz	230/400 V
	Irak	50 Hz	220/380 V
	Iran	50 Hz	220/380 V
	Israel	50 Hz	230/400 V
	Jordanien	50 Hz	220/380 V
	Kuwait	50 Hz	240/415 V
	Libanon	50 Hz	110/190-220/380 V
	Oman	50 Hz	220/380 - 240/415 V
	Qatar	50 Hz	240/415 V
	Saudi Arabien	60 Hz	127/220 - 220/380 - 480[1)] V (220/380 - 240/415 V, 50 Hz: nur Reste)
	Syrien	50 Hz	115/200-220-380-400[1)] V
	Türkei	50 Hz	220/380 V (Teile von Istanbul: 110/190 V)
	Vereinigte Arabische Emirate	50 Hz	220/380 - 240/415 V (Abu Dhabi; Ajman; Dubai; Fujairah; Ras al-Khaimah; Sharjah; Umm al-Gaiwain)
	Yemen (Nord)	50 Hz	220/380 V
	Yemen (Süd)	50 Hz	230/400 V
	Zypern	50 Hz	240/415 V
Fernost	**Bangladesh**	50 Hz	230/400 V
	Burma	50 Hz	230/400 V
	China VR	50 Hz	127/220 - 220/380 V (im Bergbau: 1140 V)
	Hongkong	50 Hz	200/346 V
	Indien	50 Hz	220/380 - 230/400 - 240/415 V
	Indonesien	50 Hz	127/220 - 220/380 - 400[1)] V
	Japan	50 Hz	100/200 - 400[1)] V
	Kambodscha	50 Hz	120/208 V - Phnom Penh: 220/238 V

[1)] Nur Industrie
[2)] Kein weiterer Ausbau
[3)] Seit dem Jahr 2003

Fernost	**Korea (Nord)**	60 Hz	220/380V
	Korea (Süd)	60 Hz	100/200[2)] - 220/380 - 440[1)] V
	Malaysia	50 Hz	240/415 V
	Mongolische VR	50 Hz	220/380 V
	Pakistan	50 Hz	230/400 V
	Philippinen	60 Hz	110/220-440V
	Singapur	50 Hz	240/415 V
	Sri Lanka	50 Hz	230/400 V
	Südteil Honshu, Shikoku, Kyushu, Hokkaido, Nordteil Honshu	60 Hz	110/220-440[1)] V
	Taiwan	60 Hz	110/220 - 220/440 V
	Thailand	50 Hz	220/380 V
	Vietnam	50 Hz	220/380 V
Nord-amerika	**Kanada**	60 Hz	600 - 120/240 - 460 - 575 V
	USA	60 Hz	120/208 - 120/240 - 277/480 - 600[1)] V
Mittelamerika	**Bahamas**	60 Hz	115/200 - 120/208 V
	Barbados	50 Hz	110/190 - 120/208 V
	Belize	60 Hz	110/220 - 220/440 V
	Costa Rica	60 Hz	120/208[2)] - 120/240 - 127/220[2)] - 254/440[2)] - 277/480[1)] V
	Dominikanische Republik	60 Hz	120/208 - 120/240 - 480[1)] V
	Guatemala	60 Hz	120/208 - 120/240 - 127/220 - 277/480[1)] - 480[1)] - 550[1)] V
	Haiti	50 Hz 60 Hz	220/380 V (Jacmel), 110/220 V
	Honduras	60 Hz	110/220 - 127/220 - 277/480 V
	Jamaika	50 Hz	110/220 - 440[1)] V
	Kuba	60 Hz	120/240 - 220/380 - 277/480[1)] - 440[1)] V
	Mexiko	60 Hz	127/220 - 440[1)] V
	Nicaragua	60 Hz	110/220 - 120/240 - 127/220 - 220/440 - 254/440[1)] V

[1)] Nur Industrie
[2)] Kein weiterer Ausbau
[3)] Seit dem Jahr 2003

Mittelamerika	**Panama**	60 Hz	120/208[1)] - 120/240 - 254/440[1)] - 277/480[1)] V
	Puerto Rico	60 Hz	120/208 - 480 V
	El Salvador	60 Hz	110/220 - 120/208 - 127/220 - 220/440 - 240/480[1)] - 254/440[1)] V
	Trinidad	60 Hz	110/220 - 120/240 - 230/400 V
Südamerika	**Argentinien**	50 Hz	220/380 V
	Bolivien	60 Hz 50 Hz	220/380 - 480 V 110/220 - 220/380 V (Ausnahmen)
	Brasilien	60 Hz	110/220 - 220/440 - 127/220 - 220/380 V
	Chile	50 Hz	220/380 V
	Ecuador	60 Hz	120/208 - 127/220 V
	Guyana	50 Hz 60 Hz	110/220 V (Georgetown), 110/220 - 240/480 V
	Kolumbien	60 Hz	110/220 - 150/260 - 440 V
	Paraguay	50 Hz	220/380 - 220/440 V
	Peru	60 Hz	220 - 220/380 - 440 V
	Surinam	60 Hz	115/230 - 127/220 V
	Uruguay	50 Hz	220 V
	Venezuela	60 Hz	120/208 - 120/240 - 208/416 - 240/480 V
Afrika	**Ägypten**	50 Hz	110/220 - 220/380 V
	Äthiopien	50 Hz	220/380 V
	Algerien	50 Hz	127/220 - 220/380 V
	Angola	50 Hz	220/380 V
	Benin	50 Hz	220/380 V
	Elfenbeinküste	50 Hz	220/380 V
	Gabun	50 Hz	127/220 - 220/380 V
	Guinea	50 Hz	220/380 V
	Kenia	50 Hz	240/415 V
	Kamerun	50 Hz	127/220 - 220/380 V
	Kongo	50 Hz	220/380 V

[1)] Nur Industrie
[2)] Kein weiterer Ausbau
[3)] Seit dem Jahr 2003

Afrika	**Liberia**	60 Hz	120/208 - 120/240 V
	Libyen	50 Hz	127/220[2)] - 220/380 V
	Madagaskar	50 Hz	127/220 - 220/380 V
	Malawi	50 Hz	220/380 V
	Mali	50 Hz	220/380 V
	Marokko	50 Hz	115/200 - 127/220 - 220/380 - 500[1)] V
	Mauritius	50 Hz	240/415 V
	Mosambik	50 Hz	220/380 V
	Namibia	50 Hz	220/380 V
	Niger	50 Hz	220/380 V
	Nigeria	50 Hz	240/415 V
	Ruanda	50 Hz	220/380 V
	Sambia	50 Hz	220/380 - 415 - 550[1)] V
	Senegal	50 Hz	127/220 - 220/380 V
	Sierra Leone	50 Hz	220/380 V
	Somalia	50 Hz	220 - 220/440 V
	Sudan	50 Hz	240/415 V
	Südafrika	50 Hz	220/380 - 500[1)] - 550/950[1)] V
	Swasiland	50 Hz	220/380 V
	Tansania	50 Hz	230/400 V
	Togo	50 Hz	127/220 - 220/380 V
	Tunesien	50 Hz	115/200 - 220/380 V
	Uganda	50 Hz	240/415 V
	Zaire (Kongo)	50 Hz	220/380 V
	Zimbabwe	50 Hz	220/380 V
Ozeanien	**Australien**	50 Hz	240/415 V, Westaustralien: 254/440 V
	Neuseeland	50 Hz	230/400 V

[1)] Nur Industrie
[2)] Kein weiterer Ausbau
[3)] Seit dem Jahr 2003

Netzschutz

Grundlagen
Dieses Kapitel umfasst im Wesentlichen die Errichtung von elektrischen Energieverteilungsanlagen im Niederspannungsnetz. Es wird deshalb auch bei der Betrachtung des Netzschutzes das Hauptgewicht auf die Niederspannungsseite gelegt.

Netzform
Während in Gebäude- und Industrienetzen die Mittelspannung meist als Ringnetz aufgebaut ist, werden niederspannungsseitig eher radiale Netzformen (Strahlennetze, Doppelstichnetze) gewählt. Zur Aufteilung der Leistung von der Einspeisung bis zum Verbraucher ist eine Anzahl von Schaltanlagen und Verteilern notwendig, deren Schutzgeräte dann in Reihe geschaltet sind.

Aufgaben des Netzschutzes
Der Netzschutz hat die Aufgabe, Fehler zu erfassen und gestörte Netzteile selektiv aus dem Netz herauszutrennen. Er soll dabei durch kurze Abschaltzeiten die Fehlerenergie begrenzen und die Auswirkung von Störlichtbögen klein halten. Hohe Leistungsdichte, große Einzelleistungen und relativ kurze Entfernungen in Industrie- und Gebäudenetzen bedingen eine enge Verknüpfung von Nieder- und Mittelspannungsnetzen. Vorgänge im Niederspannungsnetz (Kurzschluss, Anlaufstrom) wirken sich auch im Mittelspannungsnetz aus. Umgekehrt hat der Schaltzustand des Mittelspannungsnetzes Einfluss auf die Selektivitätskriterien im unterlagerten Netz. Netz- und Schutzgestaltung sind deshalb im gesamten Verteilungssystem abzustimmen und die Schutzfunktionen zu koordinieren.

Hinweis:

Der Schutz elektrischer Anlagen in einem Netz erfolgt entweder durch die den Anlagenteilen zugeordneten Schutzgeräte oder durch Kombinationen derselben.

Reserveschutz
Bei Versagen eines Schutzgeräts muss das übergeordnete Gerät den Schutz übernehmen.

Backup-Schutz
Tritt an einer Stelle des Netzes eine Kurzschlussstrombelastung auf, die höher als das Bemessungsein- bzw. ausschaltvermögen des eingesetzten Schutzgeräts sowie die Kurzschlussfestigkeit aller nachgeordneten Anlagenteile ist, so muss der Backup-Schutz durch ein vorgeordnetes strombegrenzendes Schutzgerät sichergestellt werden.

Bemessungs-Kurzschlussausschaltvermögen
Das Bemessungs-Kurzschlussausschaltvermögen ist der Maximalwert des Kurzschlussstroms, welchen das Schutzgerät in der Lage ist, vorschriftsmäßig abzuschalten. Bis zu diesem Wert darf das Schutzgerät auch in einem Netz eingesetzt werden.

Selektivität
Das Thema Selektivität wird besonders in den letzten Jahren immer mehr diskutiert und zum Teil pauschal in Ausschreibungen gefordert. Durch die Komplexität dieses Themas sind oft nur ungenügende Informationen zur Auswahl und Anwendung zu finden. Sowohl die Anforderungen in Bezug auf Voll- oder Teilselektivität als auch die Auswirkungen in den Energieverteilungsnetzen sollten je nach Norm, Branche, Land, Netzform bzw. Netzstruktur mit den jeweiligen Netzplanern, -errichtern und -betreibern vorher geklärt werden. Zu beachten ist auch die Gesamtvernetzung mit den fünf Regeln der Stromkreisdimensionierung.

Hinweis:
Nachweis der Selektivität ist gefordert in IEC 60364-7-710 bzw. DIN VDE 100-710 und -718.

Vollselektivität
Zur Wahrung der Versorgungssicherheit von Energieverteilungen wird immer mehr volle Selektivität gefordert. Als vollselektiv wird ein Netz bezeichnet, wenn in Energieflussrichtung gesehen (von der Einspeisung zum Verbraucher) nur das der Fehlerstelle vorgeordnete Schutzgerät abschaltet.

Hinweis:
Volle Selektivität bezieht sich immer auf den maximalen an der Einbaustelle auftretenden Kurzschlussstrom $I_{k\ max}$.

Teilselektivität
Die betreffende Gerätekombination (vor- und nachgeordnet) ist nicht bis zum satten, 3-phasigen und damit maximalen Kurzschlussstrom $I_{k\ max}$ selektiv. Unter gewissen Umständen reicht auch eine Teilselektivität bis zu einem bestimmten Kurzschlussstrom. Für ungünstige Fehlerfälle sind dann Wahrscheinlichkeit des Eintretens und Folgewirkungen für den Verbraucher gegeneinander abzuwägen.

Schutzeinrichtungen

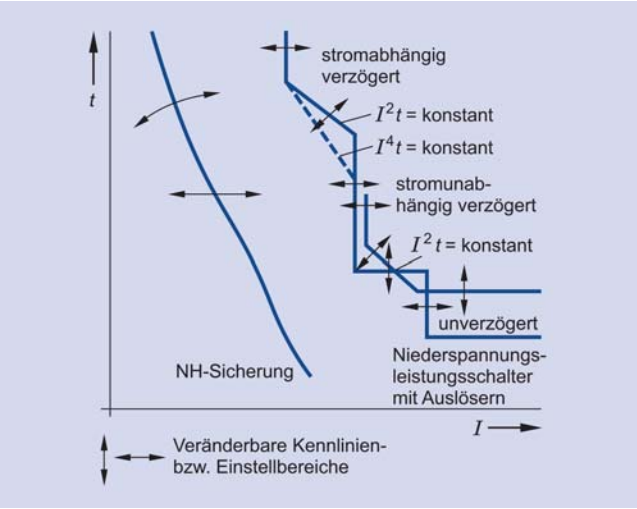
NH-Sicherungen (IEC 60269-2/VDE 0636-2x)

NH-Sicherungen haben ein hohes Kurzschlussausschaltvermögen und begrenzen durch ihr schnelles Abschmelzen den Kurzschlussstrom sehr stark. Die Schutzkennlinie ist durch die Auswahl der Betriebsklasse der NH-Sicherung - z. B. Ganzbereichssicherung als Überlast- und Kurzschlussschutz oder Teilbereichssicherung nur als Kurzschlussschutz - und des Bemessungsstroms gegeben.

Niederspannungsleistungsschalter (IEC 60947-2 /VDE660-101)

Leistungsschalter für Energieverteilungsanlagen unterscheiden sich im Wesentlichen

- in der Bauart (offene oder kompakte Bauform),
- der Einbauart (Festeinbau, steckbar, Einschub),
- dem Bemessungsstrom (max. Nennstrom des Schalters),
- der Strombegrenzung; strombegrenzend (MCCB; Molded CaseCircuit Breaker) oder nicht strombegrenzend (ACB; Air Circuit Breaker),
- den Schutzfunktionen (siehe Auslöser)
- der Kommunikationsfähigkeit (Fähigkeit der Datenübertragung aus und in den Schalter),
- der Gebrauchskategorie (A oder B, siehe IEC 60947-2).



Schutzkennlinie von NH-Sicherung und Niederspannungs-Leistungsschalter mit Auslösern.

Auslöser / Schutzfunktion

Die Schutzfunktion des Leistungsschalters im Energieverteilungsnetz wird durch die Wahl des entsprechenden Auslösers bestimmt. Die Auslöser werden unterschieden in thermomagnetische Auslöser (früher auch als elektromechanische Auslöser bezeichnet) und elektronische Auslöser (ETU).

- Überlastschutz
  Bezeichnung: L (Long Time Delay); auch a
  Stromabhängig verzögerte Überlastauslöser werden je nach Auslösertyp mit optionalen Kennlinien angeboten.

- Neutralleiterschutz
  Bezeichnung N (neutral)
  Stromabhängig verzögerte Überlastauslöser für den Neutralleiter werden mit der Abhängigkeit 50 % und 100 % des Überlastauslösers angeboten.

- Kurzschlussschutz, unverzögert
  Bezeichnung: I (Instantaneous); früher auch n
  Beispiel: Magnetauslöser. Je nach Applikation werden I-Auslöser sowohl mit fester, einstellbarer als auch mit Off-Funktion angeboten.

- Kurzschlussschutz, verzögert
  Bezeichnung: S (Short Time Delay); früher auch z
  Für eine zeitliche Anpassung von Schutzfunktionen in Reihe. Neben den Standardkennlinien und Einstellungen werden auch optionale Funktionen für bestimmte Applikationen angeboten:
  - Stromunabhängige Überstromauslöser
  Bei dieser "Standard-S-Funktion" wird die gewünschte Verzögerungszeit (t_{sd}) ab einem eingestellten Stromwert (Schwellwert I_{sd}) definiert eingestellt (definierte Zeit; definite time; ähnlich der UMZ-Funktion in der Mittelspannung)
  - Stromabhängiger Überstromauslöser
  Bei dieser optionalen S-Funktion ist das Produkt I^2t immer konstant. Diese Funktion wird im Allgemeinen zur Sicherstellung einer besseren Selektivität eingesetzt (Inverse Time; ähnlich der AMZ-Funktion in der Mittelspannung).

- Erdschlussschutz
  Bezeichnung: G (Ground Fault); früher auch g
  Neben der Standardfunktion (stromunabhängig) wird auch hier eine optionale Funktion (I^2t = stromabhängige Verzögerung) angeboten.

- Fehlerstromschutz
  Bezeichnung: RCD (Residual Current Device); früher auch DI
  Zur Erfassung von Differenzfehlerströmen bis 3 A, ähnlich der FI-Funktion zum Personenschutz (bis 500 mA).

Hinweis:

Elektronische Auslöser bieten darüber hinaus neuartige Auslösekriterien, welche mit elektromechanischen Auslösern nicht realisierbar sind.

Schutzkennlinien

Die Schutzkennlinie ist durch den Schalterbemessungsstrom sowie die Einstell- und Ansprechwerte der Auslöser gegeben.

Niederspannungs-Leitungsschutzschalter (MCB – Miniature Circuit Breaker) IEC60898-1/VDE 0641-11

Leitungsschutzschalter können nach ihrer Arbeitsweise unterschieden werden in

- stark strombegrenzend
- schwach strombegrenzend

Die Schutzfunktionen werden durch elektromechanische Auslöser bestimmt:

- Überlastschutz durch stromabhängig verzögerte Überlastauslöser, z. B. Bimetallauslöser
- Kurzschlussschutz durch unverzögerte Überstromauslöser, z. B. Magnetauslöser

Niederspannungs-Schutzgerätekombination

In Energierichtung können bei den nacheinander geschalteten Verteilern folgende Schutzgeräte in Reihe liegen:

- Sicherung mit nachgeordneter Sicherung
- Leistungsschalter mit nachgeordnetem Leitungsschutzschalter
- Leistungsschalter mit nachgeordneter Sicherung
- Sicherung mit nachgeordnetem Leistungsschalter
- Sicherung mit nachgeordnetem Leitungsschutzschalter
- mehrere parallele Einspeisungen (mit oder ohne Kupplungen) mit nachgeordnetem Leistungsschalter oder nachgeordneter Sicherung

Bei vermaschten Niederspannungsnetzen ist die Stromselektivität zu überprüfen. Bei den in das Niederspannungsnetz einspeisenden Transformatoren sind der ober- und unterspannungsseitige Schutz aufeinander und auf den weiteren Schutz des unterlagerten Netzes abzustimmen. Die Auswirkungen auf das überlagerte Mittelspannungsnetz müssen überprüft werden.
Im Mittelspannungsnetz sind HHSicherungen in der Regel nur vor den Transformatoren der Niederspannungseinspeisung vorhanden. Bei den vorgeordneten Leistungsschaltern liegen meist nur Überstromzeitschutzeinrichtungen mit unterschiedlicher Charakteristik in Reihe. Differenzialschutz beeinflusst nicht oder nur gering die Staffelung der weiteren Schutzeinrichtungen.

Selektivitätskriterien
Neben den primären Einsatzkriterien eines Schutzgeräts - Bemessungsstrom und Bemessungsschaltvermögen - ist für eine optimale Versorgungssicherheit die Selektivität ein wesentliches Kriterium. Für die selektive Arbeitsweise der in Reihe liegenden Schutzgeräte sind folgende Kriterien anwendbar:

- nur der Zeitunterschied der Abschaltung (Zeitstaffelung)
- nur der Stromunterschied der Ansprechwerte (Stromstaffelung)
- die Kombination aus Zeit- und Stromstaffelung (stromabhängige Zeitstaffelung)

Darüber hinaus werden Leistungsrichtung (Richtungsschutz), Impedanz (Distanzschutz) und Stromdifferenz (Differenzialschutz) eingesetzt.

Voraussetzungen für selektives Verhalten der Schutzgeräte
Selektivität lässt sich nur erreichen, wenn bei der Projektierung sowohl die höchsten ($I_{k\ max}$) als auch die niedrigsten (Ikmin) Kurzschlussströme für die markanten Netzpunkte bekannt sind.
Daraus ergibt sich:

- Der höchste auftretende Kurzschlussstrom entscheidet über das erforderliche Bemessungs-Kurzschlussschaltvermögen des Leistungsschalters.
  Kriterium: I_{cu} bzw. $I_{cs} > I_{k\ max}$
- Der niedrigste auftretende Kurzschlussstrom ist für die Einstellung des Kurzschlussauslösers wichtig; der Ansprechwert dieses Auslösers muss niedriger sein als der kleinste auftretende Kurzschlussstrom am Ende der zu schützenden Strecke. Denn nur bei dieser Einstellung von I_{sd} bzw. I_i kann gewährleistet werden, dass der Überstromauslöser seine Personen- und Anlagenschutzfunktion erfüllen kann.

Beachte:

Bei diesen Einstellungen sind die zulässigen Einstell-Toleranzen von ± 20 % bzw. die Toleranzangaben der Hersteller zu beachten.

Kriterium i. A.: I_{sd} bzw. $I_i \leq I_{k\ min} - 20\ \%$

- Die Forderung nach Einhaltung der Auslösebedingungen bestimmt die maximalen Leitungslängen oder -querschnitte.
- Selektive Stromstaffelung lässt sich nur mit Kenntnis der Kurzschlussströme erreichen.
- Eine Teilselektivität über die Stromstaffelung hinaus lässt sich auch durch aufeinander abgestimmte Schutzgerätekombinationen erreichen.
- Grundsätzlich kann der höchste auftretende Kurzschlussstrom sowohl der 3-polige als auch der 1-polige sein.

- Im Bereich der Einspeisung ins Niederspannungsnetz wird der 1-polige Fehlerstrom größer als der 3-polige, wenn Transformatoren mit der Schaltgruppe Dy im Einsatz sind.
- Der 1-polige Kurzschlussstrom wird dann zum kleinsten auftretenden Fehlerstrom, wenn die dämpfende Nullimpedanz der Niederspannungskabel wirksam wird.

TIPP:

Für größere Anlagen ist es empfehlenswert, alle Kurzschlussströme über eine Software zu ermitteln. Hierfür bietet die Dimensionierungs- und Berechnungssoftware Simaris design optimale Voraussetzungen.

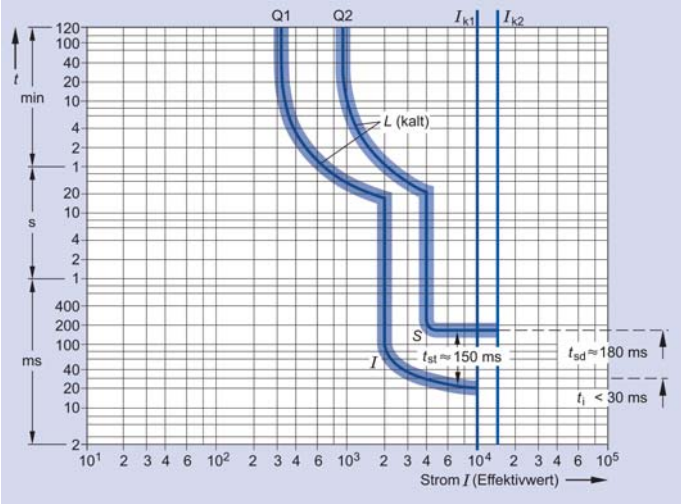
Staffeln der Ansprechströme bei Anwendung der Zeitstaffelung

Bei Anwendung der Zeitstaffelung wird auch die Staffelung der Ansprechströme mit einbezogen, d. h., der Ansprechwert des Überstromauslösers des vorgeordneten Leistungsschalters muss im Allgemeinen mindestens um den Faktor 1,5 höher eingestellt werden als der des nachgeordneten. Hierdurch wird die Toleranz der Ansprechströme von unabhängig verzögerten Überstromauslösern S (± 20 %) ausgeglichen. Bei Herstellerangaben von kleineren Toleranzen verringert sich entsprechend der Faktor.
Zur Überprüfung und visuellen Darstellung der Selektivität empfiehlt es sich, die Auslösekennlinie der gestaffelten Schutzgeräte mit ihren Toleranzbändern einschließlich der Schaltereigenzeiten in ein Strom-Zeit-Diagramm einzutragen.

Anfertigen von Strom-Zeit-Diagrammen (Staffeldiagrammen)

Beim Eintragen der Auslösekennlinien in ein Doppel-Logarithmenpapier ist zu beachten:

- Die Auslösekennlinien dürfen sich weder überschneiden noch berühren, um Selektivität zu erzielen.
- Bei elektronischen stromabhängig (lang)verzögerten Überstromauslösern gibt es nur eine Auslösekennlinie, denn sie wird vom Vorbelastungszustand nicht beeinflusst. Die gewählte Kennlinie muss daher für den betriebswarmen Motor oder Transformator geeignet sein.
- Bei mechanischen stromabhängig (thermisch) verzögerten Überlastauslösern (L) gelten die in den Herstellerkatalogen dargestellten Kennlinien für den kalten Zustand. Bei betriebswarmem Zustand verringern sich die Öffnungszeiten bis auf 25 %.



Beispiel eines von Hand angefertigten Staffeldiagramms mit Auslösekennlinien von zwei in Reihe geschalteten Leistungsschaltern Q1 und Q2 mit Berücksichtigung von Toleranzen. Das Anfertigen der Staffeldiagramme von Hand ist nicht mehr notwendig bei Verwendung der Planungssoftware Simaris design.

Toleranzen der Auslösekennlinien

- Die in den Herstellerkatalogen enthaltenen Auslösekennlinien der Leistungsschalter stellen meist nur Mittelwerte dar und sind um die Toleranzen zu ergänzen.
- Bei Überstromauslösern – unverzögerte Auslöser (I) und verzögerte Auslöser (S) – darf die Toleranz der Streubereiche ± 20 % betragen (nach IEC 60947-2/VDE 0660-101).

Maßgebende Auslösezeiten

Übersichtshalber wird für Leistungsschalter mit stromunabhängig verzögerten Überstromauslösern (S) nur die Verzögerungszeit t_{sd} und mit unverzögerten Überstromauslösern (I) die Öffnungszeit $t_{ö}$ eingetragen.

Richtig staffeln

Verzögerungszeiten und Ansprechströme werden entgegen der Energierichtung gestaffelt, beginnend beim Endstromkreis:

- ohne Sicherungen beim Verbraucherschalter mit dem größten Einstellstrom des Überstromauslösers
- mit Sicherungen beim Sicherungsabzweig an der Sammelschiene mit dem größten Bemessungsstrom des Sicherungseinsatzes

Wenn sich bei Sicherungseinsätzen großer Bemessungsströme keine Selektivität zum stromunabhängig verzögerten Überstromauslöser (S) des Transformator-Einspeiseschalters oder sich diese nur bei sehr langen Verzögerungszeiten ergibt (t_{sd} = 400 bis 500 ms), dann werden anstelle der Sicherungen Leistungsschalter eingesetzt.
Darüber hinaus werden Leistungsschalter eingesetzt, wenn eine hohe Anlagenverfügbarkeit gewünscht wird, da Störungen schneller zu beheben sind und die Auslöser von Leistungsschaltern keiner Alterung unterliegen – insbesondere bei Abnehmern mit besonders langen Einspeisedistanzen.

Vorgehen bei zwei oder mehreren Spannungsebenen
Bei Betrachtung der Selektivitätsverhältnisse über zwei oder mehrere Spannungsebenen werden alle Ströme und Auslösekennlinien der Oberspannungsseite unter Berücksichtigung des Transformator-Übersetzungsverhältnisses auf die Niederspannungsseite umgerechnet und übertragen.

Arbeitshilfen zur Anfertigung von Staffeldiagrammen
- Vordrucke mit Stromwertepaaren bei gebräuchlichen Spannungen, z. B. für 20 / 0,4 kV, 10 / 0,4 kV, 13,8 / 0,4 kV und andere
- Schablonen zur Darstellung der Auslösekennlinien

Niederspannungsseitige Zeitstaffelung
Staffel- und Verzögerungszeiten
Bei der Zeitstaffelung mehrerer in Reihe geschalteter Leistungsschalter oder in Verbindung mit NH-Sicherungen sind praktisch nur noch die Begriffe Staffelzeit t_{st} und Verzögerungszeit t_{sd} von Bedeutung.

Bewährte Staffelzeiten t_{st}
Leistungsschalter in Reihe: Die sogenannten "bewährten Staffelzeiten" gelten als Richtwerte bzw. Faustformel. Exakte Angaben sind bei den jeweiligen Geräteherstellern zu erfragen.
- Der zeitliche Abstand zwischen zwei Leistungsschaltern mit elektronischen Auslösern sollte ca. 70 bis 80 ms betragen.
- Der zeitliche Abstand zwischen Leistungsschaltern mit unterschiedlichen Auslösern (ETU und TM) sollte ca. 100 ms betragen.
- Bei Leistungsschaltern mit zeitverkürzter Selektivitätssteuerung (ZSS) ist die Verzögerungszeit des nicht blockierten Auslösers mit 50 ms vorgegeben. Bei blockiertem Auslöser löst der Schalter mit der eingestellten t_{sd}-Zeit aus.

Unabhängig von der Ausführung des S-Auslösers – mechanisch oder elektronisch - ist zwischen einem Leistungsschalter und einer nachgeordneten NH-Sicherung eine Staffelzeit von 70 bis 100 ms erforderlich.

Backup-Schutz
Leitungsschutzschalter müssen gemäß den technischen Anschlussbedingungen (TAB) der Versorgungsnetzbetreiber (VNB) zum Schutz gegen Beschädigung durch Kurzschlussströme Vorsicherungen mit höchstens 100 A Bemessungsstrom erhalten. Die Normen IEC und DIN VDE erlauben auch den Schutz eines Schaltgeräts durch eines der vorgeordneten Schutzgeräte mit dem entsprechenden Bemessungs-Kurzschlussschaltvermögen, wenn dadurch sowohl der Abzweig als auch das nachgeordnete Schutzgerät geschützt wird.

Schutzgeräte für Niederspannungsnetze

Leitungen und Kabel müssen mit Überstromschutzgeräten gegen zu hohe Erwärmung geschützt werden, die sowohl durch betriebsmäßige Überlastung als auch durch vollkommenen Kurzschluss auftreten kann. (Siehe Seip, Günther G. (Hrsg.): Elektrische Installationstechnik, 4. Aufl., Publicis, Erlangen, 2000, Kap. 1.7.)

Leistungsschalter mit Schutzfunktionen

Schutzaufgaben der Niederspannungsleistungsschalter

Leistungsschalter dienen vor allem dem Überlast- und Kurzschlussschutz. Zur weiteren Erhöhung der Schutzwirkung können sie auch mit zusätzlichem Auslöser, z. B. für Abschaltung bei Unterspannung, oder mit Zusatzbausteinen zur Erfassung von Fehler-/ Differenzströmen ausgerüstet werden.

Nach der Schutzaufgabe werden unterschieden:

- Leistungsschalter für den Anlagenschutz nach IEC 60947-2/ DIN VDE 0660-101
- Leistungsschalter für den Motorschutz nach IEC 60947-2/ DIN VDE 0660-101
- Leistungsschalter bei Verwendung im Motorstarter nach IEC 60947-4-2/ DIN VDE 0660-102
- Leitungsschutzschalter für Kabel- und Leitungsschutz nach IEC 60898/DIN VDE 0641-11

Nullpunktlöscher/Strombegrenzer

Entsprechend ihrer Arbeitsweise können Leistungsschalter ausgeführt sein als

- Nullpunktlöscher
- Strombegrenzer (sicherungsähnlich strombegrenzend)

Zum Aufbau selektiver Verteiler eignen sich Nullpunktlöscher eher als vorgeordnete Schutzgeräte, Strombegrenzer mehr als nachgeordnete.

Überlast- und Überstromschutz

Überstromauslöser:

Die elektromagnetisch unverzögerten Überstromauslöser sind entweder fest eingestellt oder einstellbar, während die elektronischen Überstromauslöser bei Siemens-Leistungsschaltern grundsätzlich einstellbar sind.

Überstromschutzgeräte	Standard	Überlast-schutz	Kurzschluss-schutz
Leitungsschutzsicherungen gL	IEC 60269/DIN VDE 0636	×	×
Leitungsschutzschalter	IEC 60898/DIN VDE 0641-11	×	×
Leistungsschalter mit Überlast- und Überstromauslöser	IEC 60947-2/DIN VDE 0660-101	×	×
Schaltgeräteschutzsicherungen aM	IEC 60269/DIN VDE 0636	–	×
Schaltgerätekombination aus Vorschaltsicherung der Betriebsklasse gL oder aM	IEC 60269/DIN VDE 0636	–	×
und Schütz mit Überlastrelais	IEC 60947-4-1/DIN VDE 0660-102	×	–
oder			
Starterschutzschalter	IEC 60947-2/DIN VDE 0660-101	–	×
und Schütz mit Überlastrelais	IEC 60947-4-1/DIN VDE 0660-102	×	–

× Schutz gegeben – Schutz nicht gegeben

Übersicht über Überstromschutzgeräte für Leitungen und Kabel und deren Schutzbereich.

Bausteine

Die Überstromauslöser können entweder im Leistungsschalter eingebaut oder auch als Bausteine gesondert für späteren Einbau oder Austausch geliefert werden. Mögliche Ausnahmen sind den Herstellerangaben zu entnehmen.

Überlastauslöser

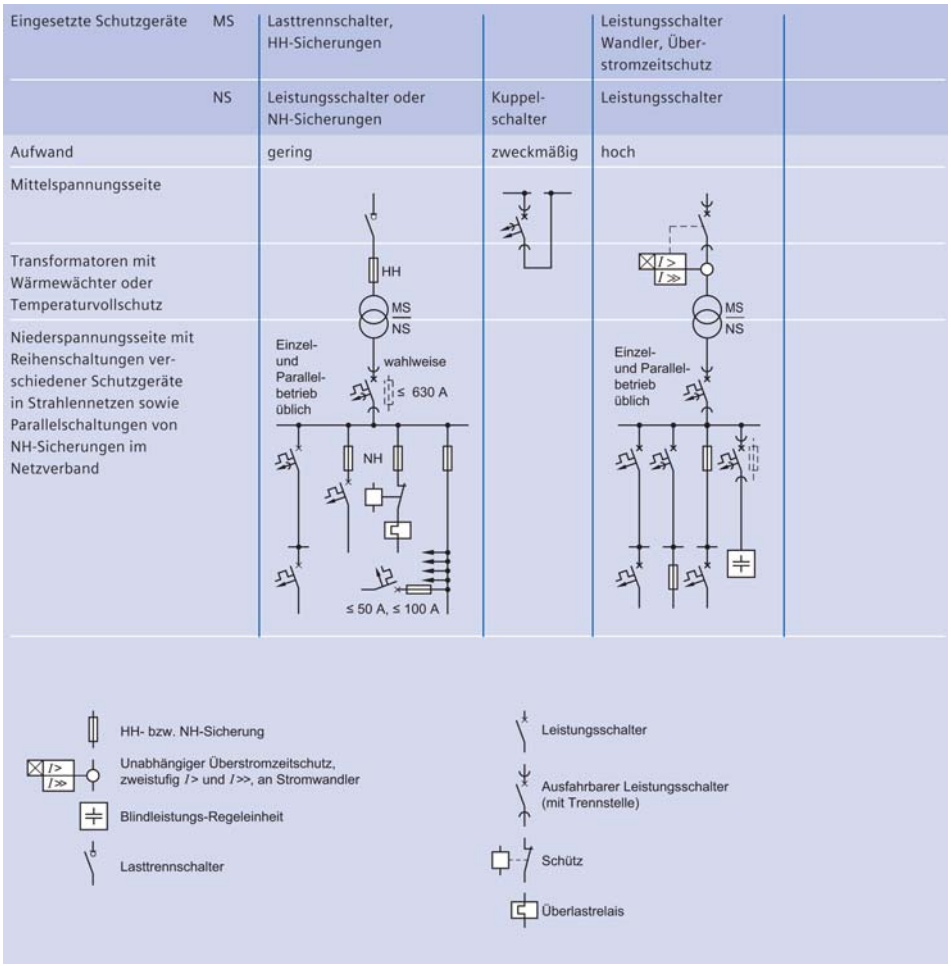
In Netzen mit hohem Oberwellenanteil sind stromabhängig (thermisch) verzögerte, mechanische Überlastauslöser (L-Auslöser) nur bedingt geeignet. In diesem Fall sind Leistungsschalter mit elektronischen Überlastauslösern einzusetzen.

Kurzschlussschutz mit S-Auslösern

Bei Leistungsschaltern mit stromunabhängig (kurz) verzögerten Überstromauslösern (S) für den zeitselektiven Kurzschlussschutz ist zu beachten, dass die Leistungsschalter für eine bestimmte maximal zulässige thermische und dynamische Belastung ausgelegt sind. Wird durch die Zeitverzögerung diese Belastungsgrenze im Kurzschlussfall überschritten, so muss zusätzlich ein I-Auslöser verwendet werden, um bei sehr hohen Kurzschlussströmen den Leistungsschalter unverzögert auszuschalten. Für die Auswahl sind die Herstellerangaben zu beachten.

Wiedereinschaltsperre nach einer Kurzschlussauslösung

Einige Leistungsschalter können mit einer mechanischen und/oder elektrischen Wiedereinschaltsperre versehen werden. Sie verhindert, dass nach einer Kurzschlussauslösung eine Wiedereinschaltung auf den Kurzschluss erfolgt. Erst nach Fehlerbeseitigung und Entriegelung der Sperre von Hand kann der Leistungsschalter wieder eingeschaltet werden.



Übersicht über die Staffelung von Schutzgeräten in Transformator- und Niederspannungsabzweigen.

Fehlerstrom-/ Differenzstromschutz

Fehlerstromschutzeinrichtungen haben wegen der hohen Schutzwirkung (Schutz von Menschenleben und Sachwerten) und des erweiterten Schutzumfangs (wechsel-, pulsstromsensitiv) weltweit in der Schutztechnik eine hohe Bedeutung erlangt. Neben Fehlerstromschutzschaltern werden in Gewerbe und Industrie in zunehmendem Maße auch Schutzschaltgerätekombinationen wie beispielsweise Leitungsschutzschalter mit Fehlerstromauslösung eingesetzt.

Leitungsschutz (LS)-Schalter mit Fehlerstromauslösung

Diese Schutzschaltgerätekombinationen stehen als fabrikfertige Kompaktgeräte zur Verfügung oder können aus einem Leitungsschutzschalter als Basisgerät und einem anbaubaren Zusatzbaustein zu der erforderlichen Kombination zusammengesetzt werden.

Leistungsschalter mit Fehlerstrom-/ Differenzstromauslösung

Für Leistungsschalter mit Bemessungsströmen I_n bis 400 A und Fehlerstrom-/ Differenzstromauslösung hat sich die Kombination aus Leistungsschalter und anbaubarem Zusatzbaustein durchgesetzt.

Technische Merkmale:
Der anbaubare Zusatzbaustein zur Differenzstromauslösung für den Anlagenschutz verfügt z. B. über folgende technische Merkmale:

- Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n}$ in mehreren Stufen einstellbar, z. B.: 30 mA/100 mA/300 mA/1.000 mA/3.000 mA
- Auslösezeit t_a in mehreren Stufen einstellbar, z. B.: unverzögert/60 ms/100 ms/250 ms/500 ms/1.000 ms
- Funktion abhängig von der Netzspannung
- Sensitivität: Auslösung bei wechsel- und pulsierenden Gleichfehlerströmen
- Reset-Taste "R" für Rückstellung nach einer Differenzstromauslösung
- Prüftaste "T" zum Test der Schutzschaltgerätekombination
- Zustandsanzeige des aktuellen Ableit-/ Differenzstroms I_Δ im nachgeschalteten Stromkreis, z. B. mittels farbiger Leuchtdioden (LED):
  – grün: $I_\Delta = 0{,}25\ I_{\Delta n}$
  – gelb: $0{,}25\ I_{\Delta n} < I_\Delta = 0{,}5\ I_{\Delta n}$
  – rot: $I_A > I_\Delta > 0{,}5\ I_{\Delta n}$
  I_A = Auslösestrom des Differenzstrom-Zusatzbausteins
- Abtrennung des Überspannungsschutzes der Elektronik vor Isolationsmessung in der Anlage
- "Fernauslösung (FA)"
- "Hilfsstromschalter (HS)"

Schutzfunktion	Kurzzeichen	Verzögerungsart des Auslösers	Schaltzeichen nach EN 60617 / DIN 40713		
			Schaltkurzzeichen oder		Schaltzeichen
Überlastschutz	L	Stromabhängig verzögert			
Selektiver Kurzschluss-schutz (verzögert)	S[1)]	Stromunabhängig verzögert durch Zeitglied oder I^2-abhängig verzögert			
Fehlerstrom-/ Differenzstrom-/ Erdschluss-schutz (RCD)	G[1)]	Stromunabhängig verzögert oder I^2-abhängig verzögert			
Kurzschluss-schutz (unverzögert)	I	Unverzögert			

[1)] Bei SENTRON 3WL- und SENTRON 3VL-Schaltern auch mit „Zeitverkürzter Selektivitäts-Steuerung" (ZSS)
In der weiteren Folge werden Auslöserkombinationen nur noch in der Kurzform als L-, S- und I-Auslöser usw. bezeichnet.

Schaltzeichen für Auslöser nach Schutzfunktionen.

Schnittstelle zu Bussystemen
Zum Zwecke der Informationsübertragung und des Zusammenwirkens mit anderen Komponenten der elektrischen Anlage können die Schutzschaltgerätekombinationen mit entsprechenden Schnittstellen zu Bussystemen ausgerüstet werden.

Allstromsensitive Schutzschaltgerätekombinationen
Für elektrische Industrieanlagen, in denen im Fehlerfall glatte Gleichfehlerströme oder solche mit geringer Restwelligkeit auftreten, sind allstromsensitive Schutzschaltgerätekombinationen für Industrieanwendung erforderlich.

Normen
Für Leistungsschalter mit anbaubarem Fehlerstrom- oder Differenzstrom-Zusatzbaustein gelten die Normen IEC 60947-2/DIN VDE 0660-101.

Auswahlkriterien für Leistungsschalter
Bei der Auswahl der Leistungsschalter hinsichtlich Netzschutz sind folgende Merkmale zu beachten:
- Art der Leistungsschalter und ihrer Auslöser nach Schutzfunktionen und -aufgaben
- Bemessungsspannungen
- Kurzschlussfestigkeit I_{cu}/ I_{cs} sowie Bemessungs-Kurzschlusseinschalt- (I_{cm}) und Bemessungs-Kurzschlussausschaltvermögen (I_{cn})
- Bemessungs- und maximale Lastströme

Die Netzspannung und Netzfrequenz sind maßgebend für die Auswahl der Schalter nach der
- Bemessungsisolationsspannung U_i und der
- Bemessungsbetriebsspannung U_e

Bemessungsisolationsspannung U_i
Die Bemessungsisolationsspannung U_i ist der genormte Wert der Spannung, für den die Isolation der Leistungsschalter und ihrer Zubehörteile nach HD 625/IEC 60664/DIN VDE 0110, Isolationsgruppe C, bemessen ist.

Bemessungsbetriebsspannung U_e
Die Bemessungsbetriebsspannung U_e eines Leistungsschalters ist der Wert der Spannung, auf den sich das Bemessungs-Kurzschlusseinschalt- und Bemessungs-Kurzschlussausschaltvermögen sowie die Kurzschlussleistungskategorie beziehen.

Kurzschlussstrom

Der maximale Kurzschlussstrom an der Einbaustelle ist maßgebend für die Auswahl der Leistungsschalter nach

- der Kurzschlussfestigkeit I_{cu}/ I_{cs} sowie
- dem Bemessungs-Kurzschlusseinschaltvermögen I_{cm} und dem Bemessungs-Kurzschlussausschaltvermögen I_{cn}

Dynamische Kurzschlussfestigkeit

Die zulässige dynamische Kurzschlussfestigkeit wird als Stoßkurzschlussstrom angegeben. Es ist der größte Augenblickswert des unbeeinflussten Kurzschlussstroms in der höchstbeanspruchten Strombahn.

Thermische Kurzschlussfestigkeit (1-s-Strom)

Die zulässige thermische Kurzschlussfestigkeit wird als Bemessungskurzzeitstrom I_{cw} bezeichnet. Es ist der zulässige Strom, den der Leistungsschalter eine bestimmte Zeit lang führen kann, ohne Schaden zu nehmen. Normalerweise wird der I_{cw}-Strom immer auf 1 s bezogen. Zeitwerte größer 1 s können mit I_{cw} = konstant umgerechnet werden.

Bemessungsschaltvermögen

Das Bemessungsschaltvermögen der Leistungsschalter wird als Bemessungs-Kurzschlusseinschaltvermögen I_{cm} und Bemessungs-Kurzschlussausschaltvermögen I_{cn} angegeben.

Bemessungs-Kurzschlusseinschaltvermögen I_{cm}

Das Bemessungs-Kurzschlusseinschaltvermögen I_{cm} ist der Kurzschlussstrom, den der Leistungsschalter bei Bemessungsbetriebsspannung +10 %, Bemessungsfrequenz und festgelegtem Leistungsfaktor einschalten kann. Es wird durch den maximalen Scheitelwert des unbeeinflussten Kurzschlussstroms ausgedrückt und ist mindestens gleich dem Bemessungs-Kurzschlussausschaltvermögen I_{cn} multipliziert mit dem Faktor n aus der Tabelle.

Kurzschlussausschaltvermögen I_{cn} (Effektivwert) [kA]	Leistungsfaktor cos φ	Mindestwert n $n = \frac{\text{Kurzschlusseinschaltvermögen}}{\text{Kurzschlussausschaltvermögen}}$
4,5 < I ≤ 6	0,7	1,5
6 < I ≤ 10	0,5	1,7
10 < I ≤ 20	0,3	2,0
20 < I ≤ 50	0,25	2,1
50 < I	0,2	2,2

Verhältnis n zwischen Kurzschlussein- und -ausschaltvermögen und zugehörigem Leistungsfaktor (bei Wechselspannungsleistungsschaltern).

Bemessungs-Kurzschlussausschaltvermögen I_{cn}

Das Bemessungs-Kurzschlussausschaltvermögen I_{cn} ist der Kurzschlussstrom, den der Leistungsschalter bei Bemessungsbetriebsspannung +10 %, Bemessungsfrequenz und festgelegtem Leistungsfaktor cos φ ausschalten kann. Es wird durch den Effektivwert der Wechselstromkomponente ausgedrückt.

Schaltleistungskategorie

In IEC 60947/DIN VDE 0660 und nach IEC 157-1 sind für Leistungsschalter Schaltleistungskategorien festgelegt, die angeben, wie oft ein Leistungsschalter seinen Bemessungsstrom schalten kann und in welchem Zustand sich der Schalter nach dem angegebenen Schaltzyklus befinden muss. Hiernach wird dem angegebenen Bemessungs-Kurzschlussausschaltvermögen I_{cn} die Prüffolge O-t-CO-t-CO zugrunde gelegt. Zusätzlich kann noch das Bemessungs-Betriebsgrenzkurzschluss-Ausschaltvermögen I_{cs} nach der verkürzten Schaltfolge O-t-CO angegeben werden.

Das Bemessungs-Kurzschlussausschaltvermögen wird in zwei Werten angegeben:

Schaltvermögen	I_{cu} Bemessungs-Grenzkurzschluss-ausschaltvermögen	I_{cs} Bemessungs-Betriebskurzschluss-ausschaltvermögen
Prüffolge	O-t-CO	O-t-CO-t-CO
Prüfung von	• Grenzkurzschluss-ausschaltvermögen Nachweis der • Überlastauslösung • Isolationsfestigkeit • Erwärmung	• Betriebskurzschluss-ausschaltvermögen Nachweis der • Überlastauslösung • Isolationsfestigkeit • Erwärmung

O Ausschaltung (O = Open); CO Ein- und Ausschaltung (C = Close); t Pause (t = time)

Schaltungsleistungskategorien nach IEC 60947/DIN VDE 0660 und IEC 157-1.

Bemessungsströme von Leistungsschaltern

Die Bemessungsbetriebsart wie Dauerbetrieb, Aussetzbetrieb oder Kurzzeitbetrieb ist maßgebend für die Auswahl der Schaltgeräte nach deren Bemessungsströmen.

Nach dem thermischen Verhalten werden folgende Bemessungsströme unterschieden:

- Konventioneller thermischer Bemessungsstrom I_{th}
- Bemessungsdauerstrom I_u
- Bemessungsbetriebsstrom I_e

Konventioneller thermischer Bemessungsstrom I_{th} und Bemessungsdauerstrom I_u

Der konventionelle thermische Bemessungsstrom I_{th} oder I_{the} für Motorstarter im Gehäuse ist als 8-h-Strom entsprechend IEC 60947-1, -4-1, -3/ DIN VDE 0660-100, -102, -107 definiert.
Er ist der maximale Strom, der in dieser Zeit geführt werden kann, ohne dass die Grenztemperatur überschritten wird. Der Bemessungsdauerstrom I_u kann entsprechend unbegrenzt geführt werden. Bei einstellbaren, stromabhängig verzögerten Auslösern und Relais ist der höchste Einstellstrom der Bemessungsdauerstrom I_u.

Schaltertyp	Bemessungsstrom	Anwendungsbeispiel	Auslösekennlinie
Offener Leistungsschalter (ACB) SENTRON 3WL	630 A bis 6300 A	Für den Schutz von Verteileranlagen, Motoren, Transformatoren und Generatoren – Hoher Bemessungskurzzeitstrom für Zeitselektivität – Zwei Reihen, SENTRON 3WL1 und SENTRON 3WL6, mit hohem und mittlerem Bemessungsschaltvermögen – Elektronische, fremdspannungsunabhängige Überstromauslöser auf Mikroprozessorbasis – Zeitverkürzte Selektivitätssteuerung (ZSS) mit 50 ms Gesamtverzögerungszeit	
Strombegrenzender Leistungsschalter (MCCB) SENTRON 3VL		Gebaut und geprüft nach IEC 60947 / DIN VDE 0660 und einsetzbar:	
	TM-Auslöser: von 16 A bis 630 A ETU-Auslöser: von 63 A bis 1600 A	Für den Anlagenschutz bis 1600 A Wahlweise einstellbare Überlast- und Überstromauslöser: genaue Anpassung an die Schutzanforderungen	
	ETU-Auslöser: von 63 A bis 500 A	Für den Motorschutz bis 500 A Elektronische Überlastauslöser mit einstellbarer Trägheitsklasse: wirksamer Schutz bei voller Auslastung des Motors	
	M-Auslöser: von 63 A bis 500 A	Für Starterkombinationen bis 500 A Unempfindlich gegen Einschaltspitzenströme: kein Auslösen beim Direkteinschalten von Motoren	
	M-Auslöser: von 100 A bis 1600 A	Als Leistungstrennschalter bis 1600 A mit eingebauten Überstromauslösern, keine Vorsicherung erforderlich	
Leistungsschalter 3RV1	0,16 A bis 100 A	3RV1-Leistungsschalter für Motorschutz mit Überlast- und Überstromschutz	

L Überlastauslösung *S* Kurzverzögerte Überstromauslösung *I* Unverzögerte Überstromauslösung *G* Erdschlussauslösung

Anwendungsbeispiele für Siemens-Leistungsschalter und die hierfür charakteristischen Auslösekennlinien.

Bemessungsbetriebsstrom

Der Bemessungsbetriebsstrom I_e ist der Strom, der bestimmt wird durch

- die Einsatzbedingungen des Schaltgeräts,
- die Bemessungsbetriebsspannung,
- die Bemessungsfrequenz,
- das Bemessungsschaltvermögen,
- die Bemessungsbetriebsart,
- die Gebrauchskategorie (Die Gebrauchskategorie kennzeichnet Verwendungszweck und Beanspruchung der Schaltgeräte; siehe Gerätenormen IEC 60947 / DINVDE0660),
- die Schaltstücklebensdauer,
- die Schutzart.

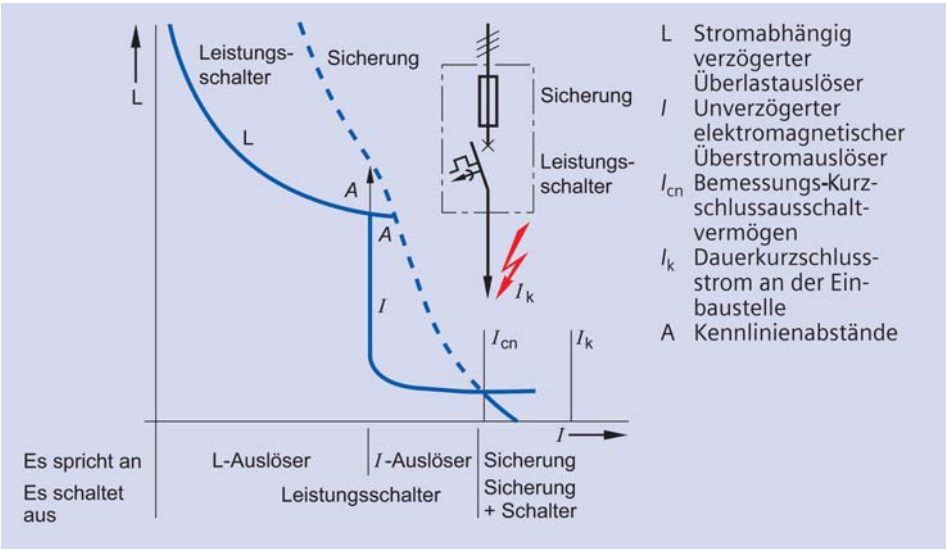
Schaltkombinationen

Schaltkombinationen sind Reihenschaltungen verschiedener Schalt- und Schutzgeräte mit Aufgabenteilung für den Schutz einer Netzkomponente, wobei das erste Gerät, in Energierichtung gesehen, den Kurzschlussschutz übernimmt.

Schaltkombinationen mit Sicherungen

Sicherung und Kompakt-Leistungsschalter

Ist an der Einbaustelle des Leistungsschalters ein Kurzschlussstrom I_k zu erwarten, der das Bemessungs-Kurzschlussausschaltvermögen I_{cn} des Schalters übersteigt, müssen dem Schalter Sicherungen vorgeschaltet werden.



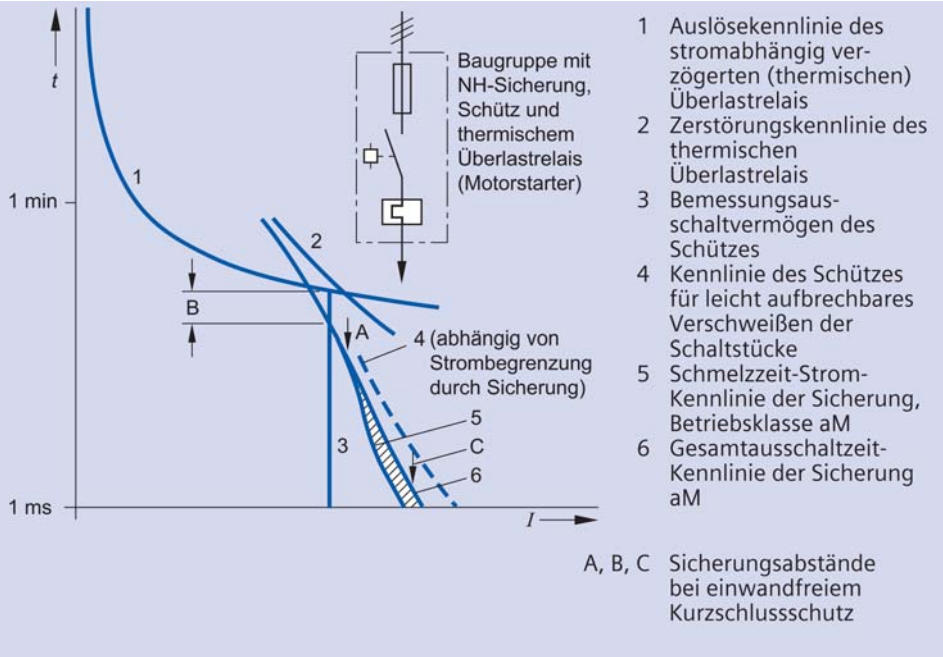
Schaltkombination aus Sicherung und Leistungsschalter.

Schutz und Wirkungsbereich

Jedem Gerät der Schaltkombination ist ein bestimmter Schutz- und Wirkungsbereich zugeordnet. Überlastströme überwacht der L-Auslöser, Kurzschlussströme bis etwa zum Bemessungs-Kurzschlussausschaltvermögen des Schalters erfasst der I-Auslöser.
Der Leistungsschalter übernimmt den Schutz gegen alle Überströme bis zu seinem Bemessungs-Kurzschlussausschaltvermögen I_{cn} und gewährleistet allpoliges Ausschalten und Wiedereinschaltbereitschaft.
Erst bei höheren Kurzschlussströmen I_k übernehmen die Sicherungen die Kurzschlussausschaltung. Dabei schaltet der Leistungsschalter nahezu gleichzeitig, ausgelöst durch den Durchlassstrom I_D der Sicherung, über seinen I-Auslöser ebenfalls allpolig aus. Die Sicherung muss daher so gewählt werden, dass ihr Durchlassstrom I_D kleiner als das Bemessungs-Kurzschlussausschaltvermögen I_{cn} des Leistungsschalters ist.

Sicherung, Schütz und thermisch stromabhängig verzögertes Überlastrelais

Die Schaltkombination Schütz und Überlastrelais wird Motorstarter genannt, bei Direktanlauf eines Drehstrommotors auch Direktstarter. Das Schütz wird zum Ein- und Ausschalten des Motors verwendet. Den Schutz gegen Überlastung des Motors, der Motorzuleitung und des Schützes übernimmt das Überlastrelais, den Kurzschlussschutz die dem Schütz und Überlastrelais vorgeschaltete Sicherung.
Hierbei müssen die Schutzbereiche und Eigenschaften aller Komponenten sorgfältig aufeinander abgestimmt sein.



Staffeldiagramm: Schaltkombination bestehend aus Sicherung, Schütz und thermisch stromabhängig verzögertem Überlastrelais.

Bestimmungen für Schütze und Motorstarter

Für Schütze und Motorstarter bis 1.000 V zum direkten Einschalten (unter voller Spannung) gelten die Normen IEC 60947-4-1/DIN VDE 0660-102. Bei der Zuordnung von Kurzschlussstrom-Schutzeinrichtungen für Schaltkombinationen werden je nach zugelassenem Schädigungsgrad nach IEC 60947-4-1/DIN VDE 0660-102 verschiedene Arten des Schutzes unterschieden:

- Zuordnungsart 1: Die Zerstörung des Schützes und des Überlastrelais ist zulässig. Das Schütz und/oder Überlastrelais ist, falls erforderlich, zu ersetzen.
- Zuordnungsart 2: Am Überlastrelais dürfen keine Beschädigungen auftreten. Kontaktverschweißungen am Schütz sind jedoch zulässig, wenn sie leicht getrennt werden können oder wenn das Schütz leicht ersetzt werden kann.

Schutz- und Wirkungsbereiche der Geräte

Staffeldiagramm für einen Motorstarter

Im Staffeldiagramm sind die Schutzbereiche und die hierfür wichtigen Eigenschaften der Geräte einer Schaltkombination als Motorstarter eingetragen. In dieser Schaltkombination müssen die Sicherungen mehrere Bedingungen erfüllen:

- Die Zeit-Strom-Kennlinien von Sicherungen und Überlastrelais müssen das Hochlaufen des Motors ermöglichen.
- Die Sicherungen müssen das Überlastrelais vor Zerstörung durch Ströme schützen, die etwa den 10-fachen Bemessungsstrom des Relais übersteigen.
- Die Sicherungen müssen das Ausschalten von Überströmen übernehmen, die das Schütz nicht mehr beherrschen kann (Ströme über dem etwa 10-fachen Bemessungsbetriebsstrom I_e des Schützes).
- Die Sicherungen müssen das Schütz im Kurzschlussfall so schützen, dass keine Zerstörung über die vorgenannten Schädigungsgrade hinaus auftreten kann. Schütze müssen je nach Bemessungsbetriebsstrom I_e Motor-Einschaltströme in Höhe des 8- bis12-fachen des Bemessungsbetriebsstroms I_e ohne Verschweißen der Schaltstücke aushalten können.

Zur Erfüllung dieser Bedingungen müssen im Staffeldiagramm Sicherheitsabstände (A, B und C) zwischen bestimmten Kennlinien der Geräte eingehalten werden.

Schutz des Überlastrelais:

Zum Schutz des Überlastrelais muss die Schmelzzeit-Strom-Kennlinie der Sicherung (in diesem Beispiel eine NH-Schaltgeräteschutzsicherung der Betriebsklasse aM) im Abstand A unterhalb des Schnittpunkts der Auslösekennlinie des Überlastrelais (1) mit dessen Zerstörungskennlinie (2) verlaufen.

Schutz des Schützes:
Zum Schutz des Schützes vor zu hohem Ausschaltstrom muss die Schmelzzeit-Strom-Kennlinie der Sicherung ab dem Stromwert, der dem Ausschaltvermögen des Schützes (3) entspricht, im Abstand B unterhalb der Auslösekennlinie des Überlastrelais (1) verlaufen.
Zum Schutz des Schützes vor Schaltstückverschweißen lassen sich für jedes Schütz Zeit-Strom-Kennlinien angeben, bis zu denen Belastungsströme anstehen können, die entweder zu

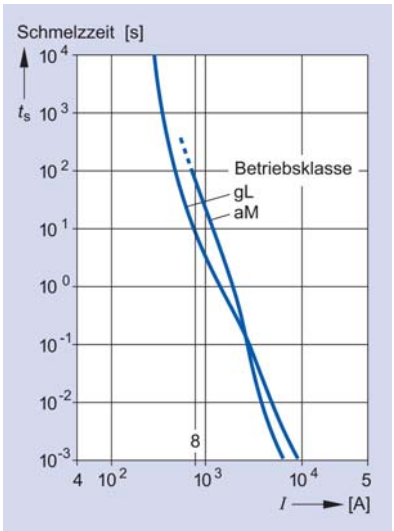
- keinem Verschweißen
  oder
- leicht aufbrechbarem Verschweißen (Kennlinie 4) führen.

Die Sicherung muss daher in beiden Fällen rechtzeitig ausschalten. Die Gesamtausschaltzeit-Kennlinie der Sicherung (6) muss im Abstand C unterhalb der Kennlinie des Schützes für leicht aufbrechbares Verschweißen der Schaltstücke (4) verlaufen (Gesamtausschaltzeit = Summe aus Schmelz- und Löschzeit).

Auswahl der Sicherungen

NH-Schaltgeräteschutzsicherungen

Sicherungen für Motorstarter werden nach vorgenannten Kriterien ausgewählt. NH-Schaltgeräteschutzsicherungen der Betriebsklasse aM bieten gegenüber NH-Sicherungen der Betriebsklasse gL für den Kabel- und Leitungsschutz den Vorteil des verschweißfreien Kurzschlussschutzes bei voller Nutzung der von den Schützen schaltbaren Motorleistung. Durch ihre im Verhältnis zu den Leitungsschutzsicherungen wirkungsvollere Strombegrenzung entlasten sie sehr stark Schütze von hohen Stoßkurzschlussströmen i_p, denn sie sind im oberen Kurzschlussbereich flinker, wie der Vergleich in der Grafik zeigt.



Vergleich der Schmelzzeit-Strom-Kennlinien von NH-Sicherungen der Betriebsklasse gL und aM, Bemessungsstrom 200 A.

Bei höheren Betriebsströmen mit entsprechend geringer Dämpfung der Kurzschlussströme werden daher bei Relais-Einstellwerten > 80 A Schaltgeräteschutzsicherungen gegenüber Leitungsschutzsicherungen bevorzugt eingesetzt.

	Funktionsklasse		Betriebsklasse	
Bezeichnung	Bemessungs-dauerstrom bis	Bemessungs-ausschaltstrom	Bezeichnung	Schutz von
Gesamtbereichssicherungen				
g	I_n	$\geq I_{a\,min}$	gL/gG	Kabeln und Leitungen
			gR	Halbleitern
			gB	Bergbau-anlagen
Teilbereichssicherungen				
a	I_n	$\geq 4\ I_n$ $\geq 2{,}7\ I_n$	aM aR	Schaltgeräten Halbleitern
$I_{a\,min}$ kleinster Bemessungsausschaltstrom				

Klassifikation der NH-Sicherungen nach Funktionsmerkmalen gemäß IEC 60269-1/DIN VDE 0636-10.

Klassifikation der NH-Sicherungen mit Kennlinienvergleich zwischen den Betriebsklassen gL und aM

NH-Sicherungen werden entsprechend ihrer Bauart nach Funktions- und Betriebsklassen unterschieden. Sie können Ströme bis zu ihrem Bemessungsstrom dauernd führen.

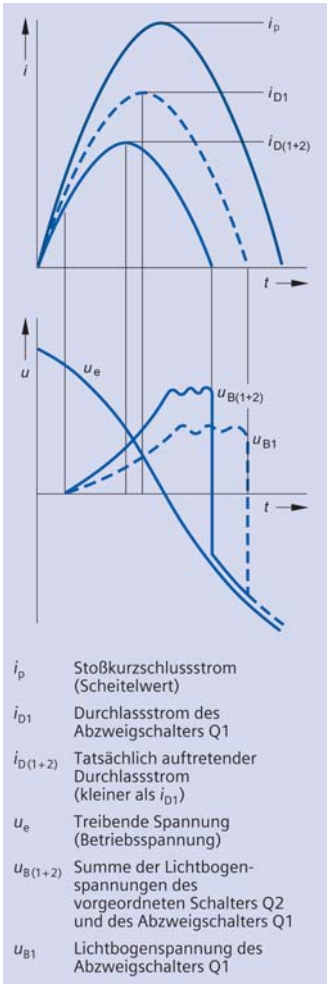
Funktionsklasse g (Ganzbereichssicherungen):
Die Funktionsklasse g kennzeichnet Ganzbereichssicherungen, die Ströme vom kleinsten Schmelzstrom bis zum Bemessungs-Kurzschlussausschalt-strom ausschalten können.

Betriebsklasse gL:
Hierunter fallen die Sicherungen der Betriebsklasse gL für den Kabel- und Leitungsschutz.

Funktionsklasse a (Teilbereichssicherungen):
Die Funktionsklasse a kennzeichnet Teilbereichssicherungen, die Ströme oberhalb eines bestimmten Vielfachen ihres Bemessungsstroms bis zum Bemessungs-Kurzschlussausschaltstrom ausschalten können.

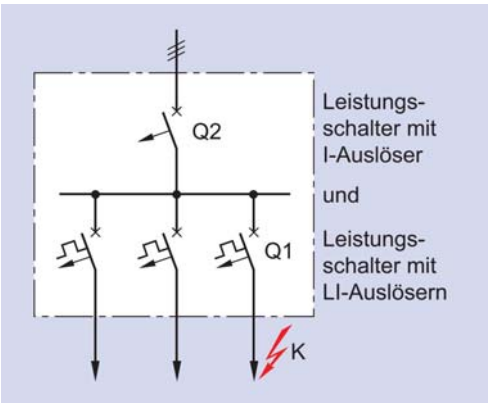
Betriebsklasse aM:
Der Betriebsklasse aM sind die Schaltgeräteschutzsicherungen zuzuordnen, deren kleinster Ausschaltstrom beim etwa 4-Fachen des Bemessungsstroms liegt und die daher allein dem Kurzschlussschutz dienen. Sicherungen der Funktionsklasse a dürfen deshalb nicht über ihrem Bemessungsstrom betrieben werden. Ein Überlastschutz, z. B. ein thermisch verzögertes Überlastrelais, ist daher immer erforderlich.

Schaltkombinationen ohne Sicherungen (sicherungslose Bauweise)
Backup-Schutz (Leistungsschalter in Kaskadenschaltung):
Liegen in einer Strombahn zwei Leistungsschalter mit I-Auslösern gleicher Bauart in Reihe, dann schalten diese beim Fehler K nahe dem Verteiler gleichzeitig aus.
Der Kurzschlussstrom wird somit von zwei hintereinanderliegenden Löscheinrichtungen erfasst und wirkungsvoll gelöscht. Ist der vorgeordnete Leistungsschalter dabei strombegrenzend, so kann der nachgeordnete Schalter mit einem niedrigeren Bemessungsschaltvermögen als dem möglichen maximalen Kurzschlussstrom an der Einbaustelle eingesetzt werden.



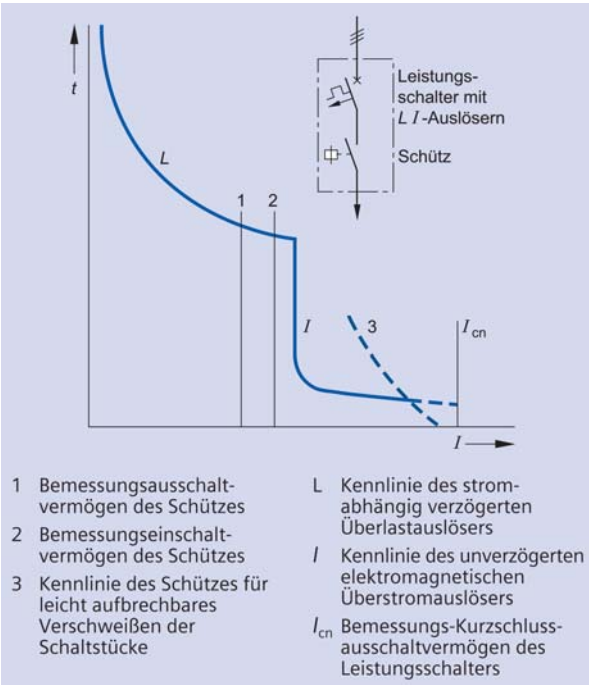
Prinzip einer Backup-Schutz-Schaltung (Kaskadenschaltung): Der Bemessungsstrom des vorgeordneten Leistungsschalters Q2 wird entsprechend seinem Bemessungsbetriebsstrom ausgewählt.

Übersichtsplan einer Backup-Schutz-Schaltung (Kaskadenschaltung) in einem Unterverteiler.



Schutz- und Wirkungsbereich der Schalter:
Die voranstehenden beiden Grafiken zeigen den Übersichtsplan und das Prinzip einer Kaskadenschaltung. Der Bemessungsstrom des vorgeordneten Leistungsschalters Q2 wird entsprechend seines Bemessungsbetriebsstroms ausgewählt.
Der Leistungsschalter Q2 wird beispielsweise als Hauptschalter oder als Gruppenschalter für mehrere Abzweige in Unterverteilern eingesetzt. Der Ansprechstrom seines I-Auslösers wird sehr hoch, wenn möglich bis zum Bemessungs-Kurzschlussausschaltvermögen (I_{cn}) der nachgeordneten Schalter eingestellt. Der Abzweigschalter Q1 übernimmt den Überlastschutz und schaltet auch kleinere Kurzschlussströme allein ab, die bei Körperschluss, Isolationsfehlern oder Kurzschlüssen am Ende längerer Leitungen und Kabel auftreten.
Nur bei hohen Kurzschlussströmen, die bei einem satten Kurzschluss in der Nähe des Abzweigschalters Q1 zu erwarten sind, schaltet der vorgeordnete Schalter Q2 mit ab (eingeschränkte Selektivität).

Leistungsschalter mit L- und I-Auslösern sowie Schütz
Schutz- und Wirkungsbereich:
Der Leistungsschalter übernimmt den Überlast- und Kurzschlussschutz auch des Schützes, das Schütz die Schaltaufgaben. Es gelten auch hier die Bedingungen für den Leistungsschalter, die im Rahmen der Schaltkombination "Sicherung, Schütz und Überlastrelais" an die Sicherung zu stellen sind.



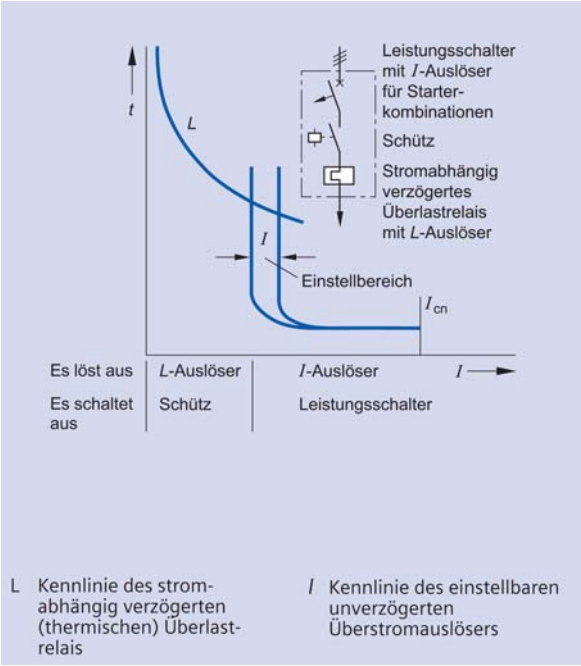
Schaltkombination aus Leistungsschalter und Schütz.

Starterschutzschalter mit I-Auslöser, Schütz und Überlastrelais

Wiedereinschaltbereitschaft:

Den Überlastschutz übernimmt das Überlastrelais in Verbindung mit dem Schütz, den Kurzschlussschutz der Starterschutzschalter. Der Ansprechstrom seines I-Auslösers wird so niedrig eingestellt, wie es der Einschaltvorgang zulässt, um auch kleine Kurzschlussströme in die schnelle Ausschaltung mit einzubeziehen. Diese Schaltkombination bietet den Vorteil, dass festgestellt werden kann, ob Überlast oder Kurzschluss vorlag, je nachdem, ob das Schütz durch das Überlastrelais oder der Starterschutzschalter ausgeschaltet hat. Der Starterschutzschalter bietet darüber hinaus nach einer Kurzschlussauslösung den Vorteil des 3-poligen Trennens und der Wiedereinschaltbereitschaft.

Die Schaltkombination mit dem Starterschutzschalter gewinnt im Rahmen sicherungsloser Steuerungen an Bedeutung.



Schaltkombination aus Leistungsschalter mit einstellbarem Überstromauslöser, Schütz und Überlastrelais.

Schaltkombinationen mit Thermistor-Motorschutzgeräten

Die Grenzen des Überlastschutzes durch Überlastrelais oder -auslöser liegen dort, wo aus dem Motorstrom nicht mehr auf die Wicklungstemperatur geschlossen werden kann. Das ist der Fall bei

- hoher Schalthäufigkeit,
- unregelmäßigem Aussetzbetrieb,
- behinderter Kühlung,
- erhöhter Umgebungstemperatur.

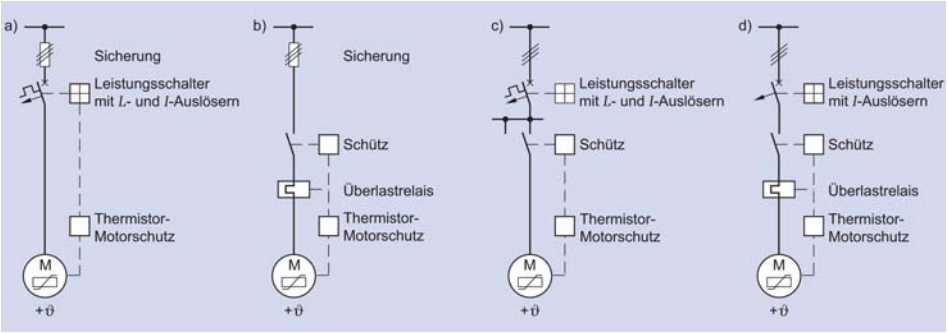
In diesen Fällen werden Schaltkombinationen mit Thermistor-Motorschutzgeräten eingesetzt. Je nach Anlagenkonzept werden die Schaltkombinationen mit oder ohne Sicherungen aufgebaut. Der erreichbare Schutzumfang ist davon abhängig, ob der zu schützende Motor "ständerkritisch" oder "läuferkritisch" ist. Ansprechtemperatur, Koppelzeitkonstante und Lage der Temperaturfühler in der Motorwicklung spielen dabei ebenfalls eine wesentliche Rolle. Diese werden in der Regel vom Motorhersteller festgelegt.

"Ständerkritische" Motoren

"Ständerkritische" Motoren können mit Thermistor-Motorschutzgeräten und Überlastrelais ausreichend gegen Überlastung und Übertemperatur geschützt werden. Der Kurzschluss- und Überlastschutz der Zuleitungen ist entweder durch Sicherungen und Leistungsschalter (in der Grafik a) oder durch Sicherungen alleine (in der Grafik b) sicherzustellen.

"Läuferkritische" Motoren

"Läuferkritische" Motoren können nur mit einem zusätzlichen Überlastrelais oder -auslöser auch bei Zuschalten mit festgebremstem Läufer ausreichend geschützt werden. Das Überlastrelais bzw. der -auslöser übernimmt dabei auch den Überlastschutz der Leitungen (in der Grafik a, c und d).



Schaltkombination mit Thermistor-Motorschutzgerät und mit zusätzlichem Überlastrelais oder -auslöser (Prinzipschaltplan).

Hinweis:

Für Motoren ist der Einsatz eines elektronischen Motorschutzsystems wie z.B. Simocode (mit und ohne Thermistorschutz) zu empfehlen. Vorteile: breites Leistungsspektrum, umfangreiche Steuerfunktionen, bustechnische Anbindung (Profibus DP), etc.

Auswahl der Schutzgeräte

Kurzschlussschutz der Abzweige

Abzweige in Verteilern und Steuerungen können zum Kurzschlussschutz mit Sicherungen oder sicherungslos mit Leistungsschaltern ausgerüstet werden. Bei der Auswahl der Schutzgeräte kann die Höhe der zu erwartenden Strombegrenzung, die bei Sicherungen kleiner Bemessungsströme größer ist als bei bemessungsstromgleichen, strombegrenzenden Leistungsschaltern, mitentscheidend für die eine oder andere Lösung sein.

Vergleich der Schutzeigenschaften von Sicherungen und strombegrenzenden Leistungsschaltern

Beim Vergleich der Schutzeigenschaften von Sicherungen und Leistungsschaltern ist zu beachten:

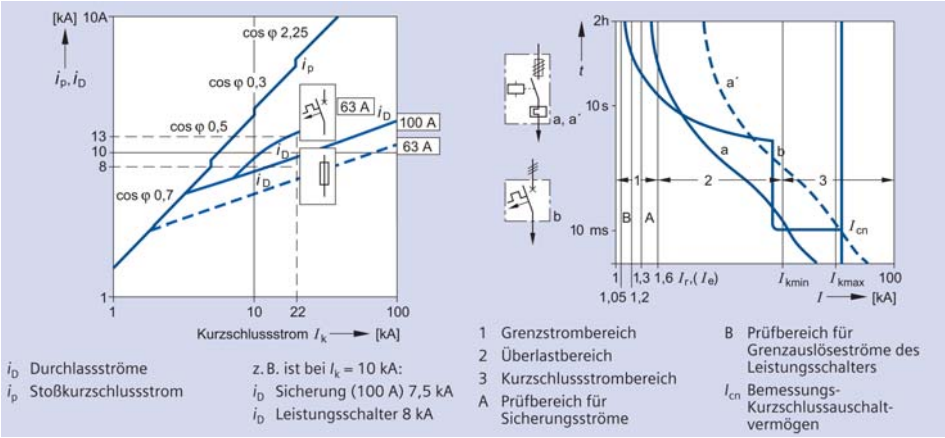
- das Bemessungs-Kurzschlussausschaltvermögen, das sehr unterschiedlich sein kann
- die Höhe der Strombegrenzung, die bei Sicherungen bis 400 A stets größer ist als bei bemessungsstromgleichen, strombegrenzenden Leistungsschaltern
- der Verlauf der Schmelzzeit-Strom-Kennlinien bei Sicherungen und der Auslösekennlinien bei Schaltern
- die Abschaltbedingungen nach IEC 60364-4-41/DIN VDE 0100-410, Abschnitt 6.1.3 “Schutzmaßnahmen im TN-System“ (Siehe auch Seip, Günther G. (Hrsg.): Elektrische Installationstechnik, 4. Aufl., Erlangen, 2000, Kap. 2)

Vergleich der Strombegrenzung von NH-Sicherungen und Leistungsschaltern

Die nachfolgende Grafik (links) zeigt die strombegrenzende Wirkung eines Leistungsschalters, Bemessungsdauerstrom 63 A, bei 400 V, 50 Hz im Vergleich mit den NH-Sicherungen, Typ 3NA, Betriebsklasse gL, Bemessungsströme 63 A und 100 A. Wegen der hohen Motoranlaufströme muss der Bemessungsstrom der Sicherung jedoch höher liegen als der Bemessungsbetriebsstrom des Motors, d. h., für einen 30-kW-Motor ist mindestens ein 63-A-Leistungsschalter oder eine 100-A-Sicherung vorzusehen.

Vergleich der Auslösekennlinien zwischen Sicherungen und bemessungsstromgleichen Leistungsschaltern

Im Zeit-Strom-Diagramm, (nachfolgende Grafik rechts), sind die Schmelzzeit-Strom-Kennlinie a des Sicherungseinsatzes 63 A, Betriebsklasse gL und die LI-Auslösekennlinie b eines Leistungsschalters eingetragen. Der Einstellstrom des stromabhängig verzögerten Überlastauslösers des Leistungsschalters entspricht dem Bemessungsstrom des Sicherungseinsatzes.



Strombegrenzung von Leistungsschalter (63 A) und NH-Sicherungen (63 A bzw. 100 A).

Kennlinien und Bemessungsschaltvermögen von Sicherung (a) und Leistungsschalter (b) mit LI-Auslösern.

Grenzstrombereich (1)

Der Prüfbereich für Sicherungsströme (A) liegt z. B. zwischen dem 1,3- und 1,6-fachen Bemessungsstrom, der Prüfbereich für Grenzauslösesteröme des Überlastauslösers (B) dagegen zwischen dem 1,05- und 1,2-fachen Einstellstrom. Mit dem einstellbaren Überlastauslöser kann sein Einstellstrom und damit der Grenzauslösestrom der Dauerbelastbarkeit des Schutzobjekts besser angepasst werden als mit einer Sicherung, deren Bemessungsstromabstufung demgegenüber nur eine grobe Anpassung ermöglicht. Der Grenzstrom der Sicherung reicht für den Überlastschutz von Kabeln und Leitungen aus, nicht jedoch für den Anlaufstrom von Motoren. Hierfür müsste eine Sicherungskennlinie a' betrachtet werden.

Überlastbereich (2)

Im Überlastbereich verläuft die Schmelzzeit-Strom-Kennlinie der Sicherung steiler als die Auslösekennlinie des Überlastauslösers. Dies ist für den Überlastschutz von Kabeln und Leitungen erwünscht; für den Überlastschutz von Motoren jedoch ist die träge Auslösekennlinie b erforderlich.

Kurzschlussstrombereich (3)

Im Kurzschlussstrombereich erfasst der unverzögerte Auslöser des Leistungsschalters Kurzschlussströme ab seinem Ansprechwert rascher als die Sicherung. Höhere Ströme schaltet die Sicherung schneller ab. Dementsprechend begrenzt sie den Kurzschlussstrom stärker als ein Schalter. Daraus ergibt sich für Sicherungen das extrem hohe Bemessungsausschaltvermögen von über 100 kA bei 690 V Betriebswechselspannung.

Demgegenüber ist das Bemessungs-Kurzschlussauschaltvermögen I_{cn} von Leistungsschaltern von einer Anzahl von Faktoren abhängig, z. B. von der Bemessungsbetriebsspannung U_e und der Bauart.

Eigenschaft	Sicherung	Leistungsschalter
Bemessungsschaltvermögen bei Wechselspannung	> 100 kA, 690 V	f (I_r U_e Bauart[1])
Strombegrenzung	f (I_r I_k)	f (I_r I_k U_e Bauart[1])
Zusätzlicher Lichtbogenraum	keiner	f (I_r I_k U_e Bauart[1])
Äußerlich erkennbare Aussage der Funktionsfähigkeit	ja	nein
Betriebssicheres Betätigen	mit Aufwand[2]	ja
Fernschalten	nein	ja
Selbsttätiges allpoliges Ausschalten	mit Aufwand[3]	ja
Meldemöglichkeit	mit Aufwand[4]	ja
Verriegelungsmöglichkeit	nein	ja
Wiedereinschaltbereitschaft nach		
Überlastausschaltung	nein	ja
Kurzschlussausschaltung	nein	f (Zustand)
Betriebsunterbrechung	ja	f (Zustand)
Wartungsaufwand	nein	f (Schaltzahl und Zustand)
Selektivität	ohne Aufwand	mit Aufwand
Austauschbarkeit	ja[5]	bei gleichem Fabrikat
Kurzschlussschutz		
Leitung	sehr gut	gut
Motor	sehr gut	gut
Überlastschutz		
Leitung	ausreichend	gut
Motor	nicht möglich	gut

[1] Bauart kann sein: Löschprinzip, Kurzschlussfestigkeit durch Eigenwiderstand, konstruktive Gestaltung
[2] z. B. mithilfe von berührungssicheren Sicherungslasttrennschaltern mit Schnelleinschaltung
[3] Mithilfe der Sicherungsüberwachung und des zugeordneten Leistungsschalters
[4] Mithilfe der Sicherungsüberwachung
[5] Da genormt

Vergleich der Schutzeigenschaften von Sicherung und Leistungsschalter.

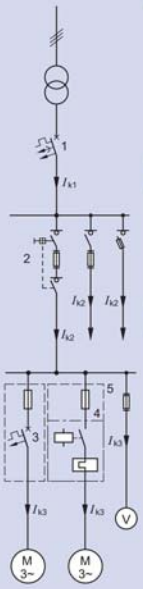
<u>Auswahl von Leistungsschaltern für Stromkreise mit und ohne Sicherungen</u>

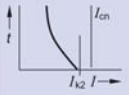
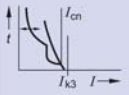
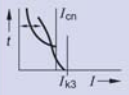
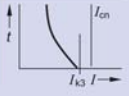
Stromkreise und Steuerungen kann man mit Sicherungen oder ohne Sicherungen bauen.

Stromkreise mit Sicherungen (sicherungsbehaftete Bauweise):
In der klassischen Bauweise mit Sicherungen werden für den Anlagenschutz Sicherungslasttrennschalter, Lasttrennschalter mit Sicherungen und Sicherungen mit Sockel eingesetzt.
Der Einspeiseschalter übernimmt den Überlast- und den selektiven Kurzschlussschutz des Transformators und Verteilers. Hierfür ist der Siemens-Leistungsschalter Sentron 3WL geeignet.

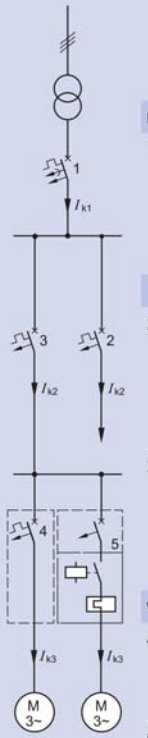
Für Transformatoren kleiner Bemessungsleistung und/oder wenn keine Selektivität gefordert wird, kann auch ein Kompaktleistungsschalter Sentron 3VL eingesetzt werden. Die Sicherung für den Anlagenschutz übernimmt den Überlast- und Kurzschlussschutz der Leitung sowohl zum Unterverteiler als auch zum nicht motorischen Endverbraucher. Die Schaltkombinationen aus Sicherung und Schalter für den Motorschutz sowie Sicherungen, Schütz und Überlastrelais übernehmen den Überlast- und Kurzschlussschutz der Motorzuleitung und des Motors.

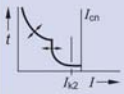
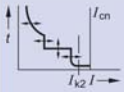
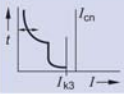
Stromkreise ohne Sicherungen (sicherungslose Bauweise):
Bei Verteilern ohne Sicherungen werden zum Kurzschlussschutz Leistungsschalter für den Anlagenschutz und als Verbraucherschalter, Leistungsschalter für den Motorschutz alleine oder für Starterkombinationen zusammen mit dem Schütz vorgesehen.



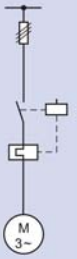
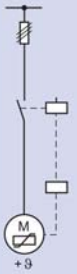
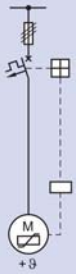
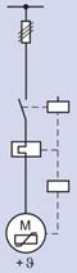
Nr.	Art der Leistungsschalter	Typ	Bemessungs-Kurzschluss-ausschaltvermögen I_{cn}	Typ des Auslösers bzw. Relais: L einstellbar	L fest eingestellt	S einstellbar	I fest eingestellt	I einstellbar	Sicherung I_{cn} > 100 kA	Auslösekennlinie ↕ Auslöser ↔ einstellbar
	Einspeiseschalter									
1	Leistungsschalter für den Anlagenschutz mit Forderung nach Selektivität	3WL	$\geq I_{k1}$	×	–	×	–	×	–	
	Verteilerschalter									
2	Sicherung für den Anlagenschutz	3NA	$\geq I_{k2}$	–	–	–	–	–	×	
	Verbraucherschalter									
3	Sicherung und Leistungsschalter für den Motorschutz	3NA 3RV1	$\geq I_{k3}$ $\leq I_{k3}$	– ×	– –	– –	– ×	– –	× –	
4	Sicherung und Direktstarter für den Motorschutz	3NA 3RB 3RT	$\geq I_{k3}$	– × –	– – –	– – –	– – –	– – –	× – –	
5	Sicherung für den Endverbraucher	3NA	$\geq I_{k3}$	–	–	–	–	–	×	

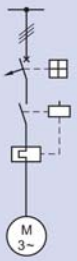
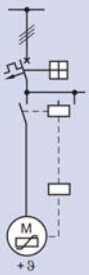
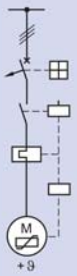
Verteiler mit Sicherungen und Leistungsschaltern.



Nr.	Art der Leistungsschalter	Typ	Bemessungs-Kurzschluss-ausschaltvermögen I_{cn}	Typ des Auslösers bzw. Relais L Einstellbar	L Fest eingestellt	S Einstellbar	I Fest eingestellt	I Einstellbar	Auslösekennlinie ↕ Auslöser ↔ einstellbar
Einspeiseschalter									
1	Leistungsschalter für den Anlagenschutz mit Forderung nach Selektivität	3WL	$\geq I_{k1}$	×	–	×	–	×	
Verteilerschalter									
2*	Leistungsschalter für den Anlagenschutz ohne Forderung nach Selektivität	3VL	$\geq I_{k2}$	– × ×	× – –	– – –	× × –	– – ×	 * 3 Varianten möglich, Variante 3 bildlich dargestellt
3	Leistungsschalter für den Anlagenschutz mit Forderung nach Selektivität	3WL 3VL	$\geq I_{k2}$	×	–	×	–	×	
Verbraucherschalter									
4	Leistungsschalter für den Motorschutz	3RV1	$\geq I_{k3}$	×	–	–	×	–	
5	Leistungsschalter und Direktstarter für den Motorschutz	3RA	$\geq I_{k3}$	×	–	–	×	–	

Energieverteilung mit Leistungsschalter ohne Sicherungen.

Schutzobjekte und Schalthäufigkeit	Schutzeinrichtungen mit Sicherungen						
	Sicherung Leistungsschalter Schütz Überlastschutz Thermistor-Motorschutz						
Überlastschutz							
– Leitung		++	++	+	+	++	++
– Motor (ständerkritisch)		++[1)]	++	++	++	++	++
– Motor (läuferkritisch)		++[1)]	++	+	+	++	++
Kurzschlussschutz							
– Leitung		++	++	++	++	++	++
– Motor		++	++	++	++	++	++
Schalthäufigkeit		–	++	–	++	–	++

Schutzobjekte und Schalthäufigkeit	Schutzeinrichtungen ohne Sicherungen						
	– Leistungsschalter Schütz Überlastschutz Thermistor-/ SIMOCODE-Motorschutz						
Überlastschutz							
– Leitung		++	++	++	++	++	+
– Motor (ständerkritisch)		++[1)]	++	++	++	++[1)]	++
– Motor (läuferkritisch)		++[1)]	++	++	++	++[1)]	++
Kurzschlussschutz							
– Leitung		++	++	++	++	++	++
– Motor		++	++	++	++	++	++
Schalthäufigkeit		+	+	+	+	–	–

[1)] Schutz mit geringer Einschränkung bei Ausfall eines Außenleiters
++ Sehr gut + Gut – Gering

Vergleich der Schutzeigenschaften von Schaltkombinationen (Prinzipschaltpläne).

Leitungsschutzschalter

Leitungsschutzschalter (LS-Schalter) dienen in erster Linie dem Schutz von Kabeln und Leitungen gegen Überlast und Kurzschluss. Damit übernehmen sie den Schutz elektrischer Betriebsmittel gegen zu hohe Erwärmung nach den relevanten Normen, z. B. IEC 60364-4-43 / DIN VDE 0100-430. Unter bestimmten Voraussetzungen gewährleisten LS-Schalter im TN-System auch den Schutz gegen elektrischen Schlag bei zu hoher Berührungsspannung durch Isolationsfehler, z. B. nach IEC 364-4-41 / DIN VDE 0100-410.

Einsatz

LS-Schalter werden in allen Verteilungsnetzen sowohl im Zweckbau als auch in der Industrie eingesetzt. Den vielfältigen Anforderungen der unterschiedlichen Anwendungsgebiete und -fälle werden sie durch verschiedene Ausführungen und mithilfe von umfassendem Zubehör gerecht, z. B. Hilfsstrom- und Fehlersignalschaltern, Arbeitsstromauslösern usw.

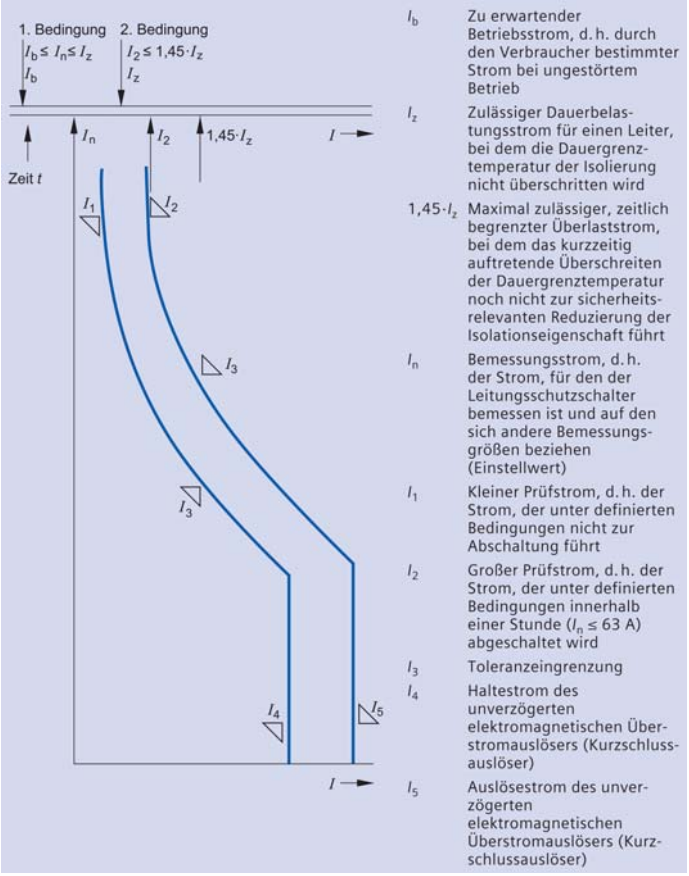
Auslösecharakteristik

Je nach Anwendungsfall, bezogen auf das im zu schützenden Stromkreis angeschlossene Betriebsmittel, stehen vier Auslösecharakteristiken (A, B, C und D) zur Verfügung.

- Auslösecharakteristik A eignet sich besonders für den Schutz von Wandlern in Messkreisen, für Stromkreise mit elektronischer Regelung sowie bei der Forderung nach Abschalten innerhalb 0,4 s nach IEC 60364-4-41 / DIN VDE 0100-410.
- Auslösecharakteristik B ist die Standardcharakteristik für Steckdosenstromkreise im Wohn- und Zweckbau.
- Auslösecharakteristik C ist von Vorteil beim Einsatz von Betriebsmitteln mit höheren Einschaltströmen, wie z. B. Lampen und Motoren.
- Auslösecharakteristik D ist angepasst an stark impulserzeugende Betriebsmittel wie Transformatoren, Magnetventile oder Kondensatoren.

Wirkungsweise

Leitungsschutzschalter sind Schutzschalter für Handbetätigung mit Überstrom-Fernauslösung (thermischer Überstrom-Schnellauslöser). Mehrpolige Geräte sind außen mechanisch über die Griffe und gleichzeitig innen über die Auslöser gekoppelt.



Prinzipdarstellung der Bezugswerte von Leitungen und Schutzeinrichtung.

Normen

Internationale Basis-Norm ist IEC 60898. Darauf beruht die nationale Norm DIN VDE 0641-11. Die Baugrößen sind in DIN 43880 beschrieben. Für den Personenschutz sind die relevanten Normen, z. B. für die Abschaltbedingungen nach IEC 60364-4-41 / DIN VDE 0100-410, einzuhalten.

Ausführungen

LS-Schalter gibt es in den verschiedensten Ausführungen: 1-polig, 2-polig, 3-polig und 4-polig sowie mit geschaltetem Neutralleiter 1-polig+N und 3-polig+N. Gemäß der Vorzugsreihe nach IEC 60898 und nach DIN 43880 sind den LS-Schaltern folgende Bemessungsströme zugeordnet:

- Geräte mit Bautiefe 55mm
  0,3 A bis 63 A
- Geräte mit Bautiefe 70mm
  0,3 A bis 125 A

Nachträglich anbaubar sind je nach Gerätebauart Hilfsstromschalter (HS), Fehlersignalschalter (FS), Arbeitsstromauslöser (AA), Unterspannungsauslöser (UA) und Fehlerstrom-Schutzeinrichtungsblock (FI-Block).

Durch den Anbau eines FI-Blocks an den LS-Schalter erhält man eine FI/LSKombination, die als komplettes System sowohl Leitungsschutz als auch Schutz gegen elektrisch gezündete Brände sowie Personenschutz beim indirekten und direkten Berühren bietet.
Hilfsstromschalter melden den Schaltzustand des LS-Schalters und geben Auskunft darüber, ob eine Hand- oder automatische Ausschaltung vorgenommen wurde. Fehlersignalschalter zeigen die Ausschaltung des LSSchalters durch Überlast oder Kurzschluss an. Arbeitsstromauslöser sind zur Fernschaltung von LS-Schaltern geeignet. Unterspannungsauslöser schützen im Stromkreis liegende Verbraucher gegen die Auswirkungen einer zu niedrigen Versorgungsspannung.
Durch Anschluss des Hilfsstromschalters und Fehlersignalschalters an einen instabus KNX/EIB-Binäreingang können die Signale auch in ein instabus KNX/EIB-System (z. B. GAMMA instabus) eingelesen werden. Mittels instabus KNX/EIB-Binärausgang kann über den Arbeitsstromauslöser der LS-Schalter auch über instabus KNX/EIB fernausgelöst werden.

Je nach Bauart haben Siemens-LSSchalter folgende weitere Merkmale:
- sehr gute Strombegrenzung und Selektivität
- beidseitig identische Klemmen zum wahlweisen Einspeisen oben oder unten
- werkzeuglose Montage und Demontage
- schnelles und einfaches Lösen aus dem Verbund möglich
- Finger- und Handrückensicherheit der Klemmen nach VDE 0106-100
- Kombiklemmen zum gleichzeitigen Anschließen von Sammelschienen und Zuleitungen
- Hauptschaltereigenschaften nach IEC 60204 / VDE 0113
- separate Schaltstellungsanzeige

LS-Schalter in Wechselstromausführung sind für alle Wechsel- und Drehstromnetze bis zu einer Spannung 240/415 V und alle Gleichstromnetze bis 60 V (1-polig) und 120 V (2-polig) geeignet. Die Bemessungsspannung der LS-Schalter beträgt AC 230/400 V. LS-Schalter in Allstromausführung sind auch für DC 220 V (1-polig) und DC 440 V (2-polig) einsetzbar.
Damit im Fehlerfall die Leiterisolierungen nicht beschädigt werden, dürfen die Temperaturen bestimmte Werte nicht überschreiten. Dies sind für PVC-Isolierungen dauernd 70 °C bzw. 160 °C für maximal 5 s (Kurzschlussfall).
Für den Überstromschutz der Leitungen haben die LS-Schalter üblicherweise zwei unabhängige Auslöser. Im Überlastfall schaltet ein Bimetall entsprechend der Stromstärke zeitverzögert ab. Ist jedoch ein bestimmter

Schwellwert im Kurzschlussfall überschritten, schaltet ein elektromagnetischer Überstromauslöser sofort ohne Verzögerung ab. Der Auslösebereich (Zeit-Strom-Grenzband) der LS-Schalter nach IEC 60898 / DIN VDE 0641-11 wird über Kenngrößen I_1 bis I_5 festgelegt. Die Kenngrößen I_b, I_z der Leitung stehen dazu in Beziehung.
Mit dem Erscheinen der Norm IEC 60898 sind international neue Charakteristiken B, C und D festgelegt worden. Diese wurden auch von DIN VDE 0641-11 übernommen. Die neuen Auslösebedingungen der LS-Schalter erleichtern die Zuordnung zu den Leiterquerschnitten. In den relevanten Normen, beispielsweise IEC 60364-4-43 / DIN VDE 0100-430, sind folgende Bedingungen aufgeführt:

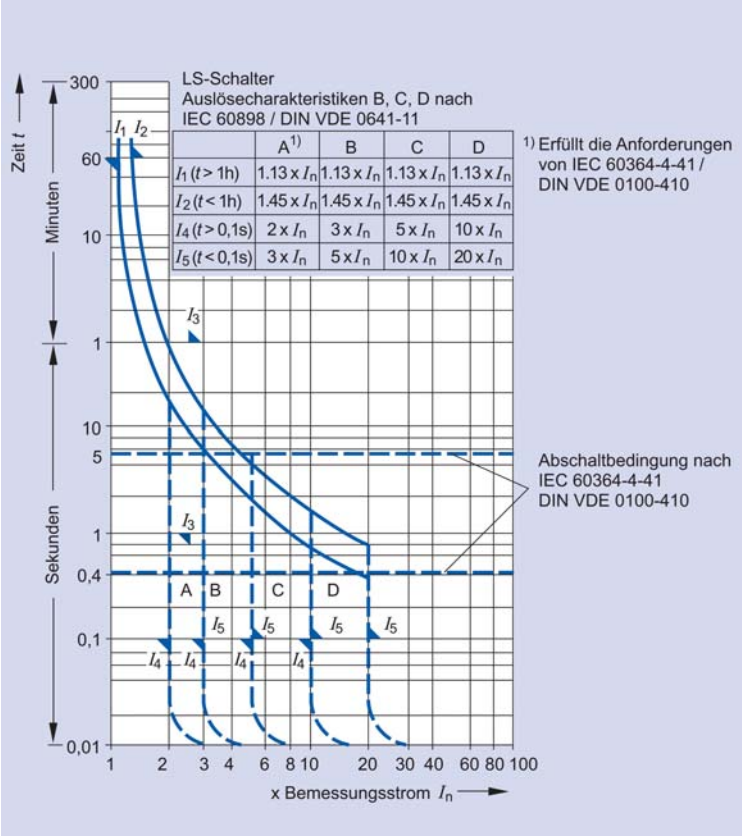
Bemessungsstromregel:

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

Auslösestromregel:

$$I_2 \leq 1{,}45 \bullet I_z$$

Da bei den neuen Kennlinien die zweite Bedingung durch die Kennlinienfestlegung automatisch erfüllt ist ($I_z = I_n$ gesetzt), braucht der LS-Schalter nur noch nach der vereinfachten Beziehung $I_n \leq I_z$ ausgewählt zu werden.



	A[1)]	B	C	D
I_1 (t > 1h)	1.13 x I_n	1.13 x I_n	1.13 x I_n	1.13 x I_n
I_2 (t < 1h)	1.45 x I_n	1.45 x I_n	1.45 x I_n	1.45 x I_n
I_4 (t > 0,1s)	2 x I_n	3 x I_n	5 x I_n	10 x I_n
I_5 (t < 0,1s)	3 x I_n	5 x I_n	10 x I_n	20 x I_n

Zeit-Strom-Grenzbereiche von LS-Schaltern.

Bemessungs-querschnitt q_n	Bemessungsstrom I_n des LS-Schalters bei Schutz von		I_z (Leitung) Zulässiger Dauerbelastungsstrom bei	
mm²	2 belasteten Leitern A	3 belasteten Leitern A	2 belasteten Leitern A	3 belasteten Leitern A
1,5	16	16	19,5	17,5
2,5	25	20	27	24
4	32	32	36	32
6	40	40	46	41
10	63	50	63	57
16	80	63	85	76
25	100	80	112	96
35	125	100	138	119

Zuordnung von Leitungsschutzschaltern zu Leiterquerschnitten
Beispiel: Stegleitung, mehradrige Leitung auf bzw. in der Wand, Verlegeart C) bei + 30 °C Umgebungstemperatur*

* *Verlegeart C nach IEC 60364-5-52 / DIN VDE 0298-4: Die Leitungen sind dabei so befestigt, dass der Abstand zwischen ihnen und der Wandoberfläche kleiner als der 0,3-fache Außendurchmesser der Leitungen ist.*

Daraus folgend kann eine neue Zuordnung zwischen Bemessungsströmen von LS-Schaltern und Leiterquerschnitten angegeben werden, bezogen auf eine Umgebungstemperatur von + 30 °C, wie sie nach IEC 60364-4-43 / DIN VDE 0100-430 gilt, und in Abhängigkeit der Verlegart und -häufung. Siemens-LS-Schalter stehen dem Anwender mit den Auslösecharakteristiken B, C und D unter anderem mit dem VDE-Zeichen auf Basis des CCA-Verfahrens (CENELEC-Certification-Agreement) zur Verfügung.
Aufgrund der Lage der Auslösebänder nimmt von Kennlinie A nach D

- die Strompulsfestigkeit zu,
- die zulässige Leitungslänge für den Personenschutz ab.

Temperatureinfluss

Die Auslösekennlinien sind nach den Normen bei einer Umgebungstemperatur von +30 °C definiert. Bei höheren Temperaturen verschiebt sich die thermische Auslösekennlinie in der Grafik nach links, bei tieferen Temperaturen nach rechts. Das bedeutet, dass die Auslösung schon bei niedrigeren Strömen (höhere Temperatur) oder erst bei höheren Strömen (niedrigere Temperatur) wirksam wird.
Dies ist besonders zu beachten in heißen Räumen bei Einbau in gekapselte Verteiler, in denen sich durch die Stromwärmeverluste der eingebauten Geräte höhere Temperaturen ergeben können, und bei im Freien stehenden Verteilern. LS-Schalter können bei Temperaturen von –25 °C bis +55 °C eingesetzt werden. Die relative Luftfeuchtigkeit darf 95 % betragen.

Klimabeständigkeit

Siemens-LS-Schalter sind gemäß der Norm IEC 68-2-30 klimabeständig. Sie wurden mit sechs Klimazyklen erfolgreich geprüft.

Schutzart

Da LS-Schalter vorwiegend in Verteiler eingebaut werden, muss ihre Schutzart den Anforderungen der jeweiligen Raumart entsprechen. LS-Schalter außerhalb einer Kapselung erreichen mit entsprechenden Klemmenabdeckungen die Schutzart IP30 nach IEC 60529 / DIN VDE 0470-1.
Alle LS-Schalter sind mit einer Schnappbefestigung für die schnelle Montage auf 45 mm breiten Hutschienen nach DIN EN 50022 ausgerüstet. EinigeAusführungen lassen zusätzlich das Aufschrauben auf Montageplatten zu.

Montage

Bei einigen Reihen steht ein werkzeuglos von Hand zu betätigendes Schnellmontage- und -lösesystem zur Verfügung, welches sogar das Lösen von einzelnen LS-Schaltern aus dem verschienten Verbund ermöglicht.

Bemessungsschaltvermögen

Ein wesentliches Leistungsmerkmal der LS-Schalter ist neben der Kennlinientreue das Bemessungsschaltvermögen. Die Einteilung erfolgt nach IEC 60898/DIN VDE 0641-11 in Schaltvermögensklassen und gibt Auskunft darüber, bis zu welcher Höhe Kurzschlussströme abgeschaltet werden können. Siemens-LSSchalter bieten je nach Ausführung Bemessungsschaltvermögenswerte bis zu 25.000 A mit VDE-Approbation.

Normen	Bemessungsschaltvermögensklassen
IEC 60898/ DIN VDE 0641-11	1500 A 3000 A 4500 A 6000 A 10000 A 15000 A 20000 A 25000 A

Bemessungsschaltvermögensklassen bei Leitungsschutzschaltern.

Energiebegrenzungsklassen

Als Aussage über die Selektivität zu vorgeschalteten Sicherungen werden LS-Schalter der Charakteristiken B und C bis 40 A entsprechend dem Grad ihrer Strombegrenzung in drei Energiebegrenzungsklassen eingeteilt.
Die zulässigen Durchlass-I^2t-Werte sind den Normen IEC 60898 / DIN VDE 0641-11 zu entnehmen. Laut den technischen Anschlussbedingungen (TAB) der deutschen Versorgungsnetzbetreiber (VNB) werden in Haushalts- und Zweckbauverteilern nach dem Zähler nur LS-Schalter mit einem Bemessungsschaltvermögen von mindestens 6.000 A

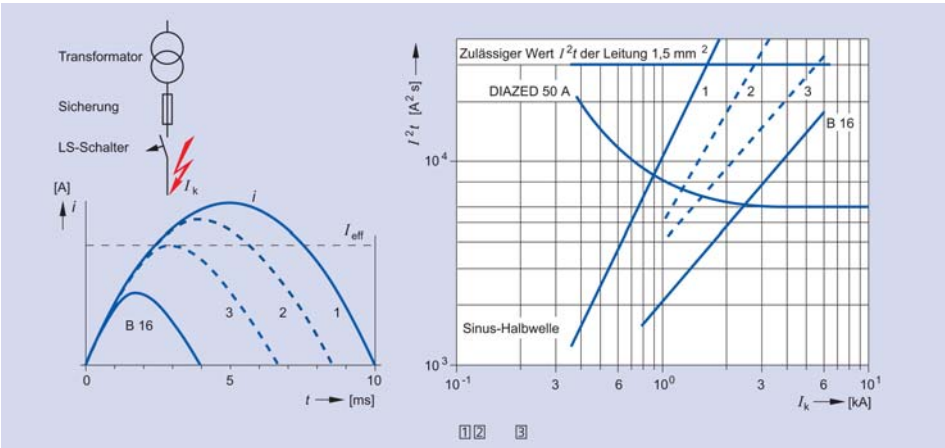
und der Energiebegrenzungsklasse 3 eingesetzt, da die Hausanschlusssicherung pro Wohneinheit immer ≤ 63 A ist und damit den Backup-Schutz gewährleistet.
Die Geräte müssen die Aufschrift

6000
3

tragen:

Selektivität

Selektivität bedeutet, dass im Fehlerfall nur das Schutzorgan abschaltet, welches dem Fehlerort im Verlauf des Strompfades am nächsten liegt. Damit kann in parallel liegenden Stromkreisen der Energiefluss aufrechterhalten werden. In der Grafik ist der Stromverlauf einer Abschaltung in Bezug auf die Energiebegrenzungsklassen schematisch dargestellt. Der Siemens-LS-Schalter B 16 begrenzt die Energie auf wesentlich niedrigere Werte als für die Energiebegrenzungsklasse 3 vorgeschrieben.
Die Grafik zeigt die Selektivitätsgrenzen von LS-Schaltern mit verschiedenen Energiebegrenzungsklassen durch den Schnittpunkt der LS-Abschaltkennlinie mit der Schmelzkennlinie der Sicherung. Auch wirkt sich die sehr wirksame Energiebegrenzung des LS-Schalters auf die bessere Selektivität zur vorgeschalteten Sicherung aus.
Kurve B 16 gilt für Siemens-LS-Schalter 16 A, Auslösecharakteristik B.



Selektivität von LS-Schaltern der Energiebegrenzungsklassen und zu Vorsicherungen. Kurve B16 gilt für Siemens-Schalter 16 A, Auslösecharakteristik B.

Backup-Schutz
Übersteigt der Kurzschlussstrom an der Einbaustelle des LS-Schalters dessen Bemessungsschaltvermögen, muss ihm ein weiteres Kurzschlussschutzorgan vorgeschaltet werden. Ohne die Funktionsfähigkeit des LS-Schalters in solchen Fällen zu beeinträchtigen, wird das Schaltvermögen der Kombination bis zu 50 kA erhöht.
In einigen Ländern werden zunehmend anstelle von NH-Sicherungen Leistungsschalter vorgeschaltet, wobei je nach Typ das gemeinsame Schaltvermögen stark reduziert wird. Obwohl Leistungsschalter hohes eigenes Bemessungsausschaltvermögen besitzen, schalten sie im Bereich des Grenzschaltvermögens der LS-Schalter (6 kA / 10 kA) noch nicht genügend strombegrenzend, sodass sie wenig Unterstützung bieten können. So sind die Leitungsschutzschalter der Bemessungsströme 6 A bis 32 A durch vorgeschaltete Leistungsschalter nur bis zum definierten Bemessungsschaltvermögen des LS-Schalters geschützt (Backup-Schutz).

Backup-Schutz bedeutet:
Zusammenwirken von zwei aufeinander abgestimmten, in Reihe geschalteten Überstromschutzeinrichtungen an Stellen, an denen ein Gerät (z. B. Leitungsschutzschalter) im Schadensfall den prospektiven Kurzschlussstrom allein nicht zu schalten vermag. Tritt ein entsprechend hoher Kurzschlussstrom auf, entlastet die vorgeordnete Überstromschutz-einrichtung die nächstliegende nachgeordnete und verhindert so deren übermäßige Beanspruchung. Die vorgeordnete Schutzeinrichtung muss ein entsprechendes Schaltvermögen besitzen. Die Schutzwirkung lässt sich durch Versuche ermitteln. Nach der Abschaltung sind beide Überstromschutzeinrichtungen voll funktionsfähig.

Blitzschutz/Erdungsanlagen

Normen, Vorschriften, Richtlinien, Planung
Direkte, schadensträchtige Auswirkungen von Blitzen und Überspannungen lassen sich durch Anwendung geeigneter Schutzmaßnahmen verhindern oder zumindest reduzieren. Diese Maßnahmen bewirken das gefahrlose Ableiten von Strömen und das Vermeiden der Einkopplung von Potenzialdifferenzen.

Es gelten die folgenden Normen:
- DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1): 2006-11 Blitzschutz Teil 1: Allgemeine Grundsätze
- DIN-EN 62305-2 (VDE 0185-305-2): 2006-11 Blitzschutz Teil 2: Risiko-Management: Abschätzung des Schadenrisikos für bauliche Anlagen
- DIN-EN 62305-3 (VDE 0185-305-3): 2006-11 Blitzschutz Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen
- DIN-EN 62305-4 (VDE 0185-305-4): 2006-11 Blitzschutz Teil 4: Elektrische und elektronische Systeme in baulichen Anlagen
- IEC 60364-4-44: 2001-08 Electrical installations of buildings; Part 4-44
- IEC 60362-5-53: 2001-08 Electrical installations of buildings; Part 5-53
- Verfahren zur Risikoabschätzung werden in der Norm IEC 62305-2 beschrieben.

Bereits in der Frühphase (Vorentwurf) des Bau- und Umbauvorhabens sollen Blitz- und Überspannungsschutz beachtet werden. Zum Schutz einer baulichen Anlage gegen die Auswirkung direkter Blitzeinschläge dient ein Blitzschutzsystem bestehend aus:
- äußerem Blitzschutz
- innerem Blitzschutz

Einbindung der Gewerke – Planung, Begleitung, Kontrolle
Aus den nachfolgend genannten Möglichkeiten kann eine individuell angepasste Kombination von einzelnen Schutzmaßnahmen ausgewählt werden, um eine bauliche Anlage mit installierten elektrischen und elektronischen Systemen gegen die Wirkungen des elektromagnetischen Impulses von Blitzen (LEMP; lightning electromagnetic pulse) zu schützen:
- Leitungsführung und -schirmung
- Potenzialausgleichsmaßnahmen
- Räumliche Schirmung
- Erdungsmaßnahmen

Die nachfolgende Tabelle zeigt beispielhaft für einzelne Gewerke Empfehlungen für Erdungs-, Potenzialausgleichs-, Blitzschutz- und Überspannungsschutzmaßnahmen. Zusätzliche Überspannungsschutzmaßnahmen für Energieversorgung und Informationstechnik können trotz Vorhandenseins einer Blitzschutzanlage erforderlich sein.
Grundlegend für Auslegung und Planung der Blitz- und Überspannungsschutzsysteme ist die Festlegung des Gefährdungspegels für das Bauwerk. Diese ist entsprechend DIN EN 50164-2 vorzunehmen.

Die Blitzschutzzonen (LPZ; lightning protection zone) müssen nach zeichnerischer Vorlage der Gebäudegrundrisse und der Einordnung der technischen Gebäudeausrüstung (TGA) definiert werden. An jedem Zonenübergang sind entsprechende Maßnahmen zum Schutz vor Blitz und/oder Überspannungen einzusetzen. Jede Schutzzone erhält hierzu eine eigene Potenzialausgleichsschiene. Diese ist über die geerdete Hauptpotenzialausgleichsschiene mit der Erdungsanlage zu verbinden.

Die wichtigsten Maßnahmen gelten dem Schutz des Menschen. Gebäudetechnische Systemfunktionen und nutzungsspezifische Anlagenverfügbarkeiten sind nachgeordnet zu betrachten. Anhand dieser Zuordnung ist für die bauliche Anlage das Schutzzonenkonzept entsprechend DIN EN 50164-3 und -4 aufzubauen.
Die charakteristischen Merkmale sind:

- Behandlung der Erdungsanlage
- Behandlung der Dach- und Fassadenflächen
- Einbindung der TGA
- Aufbau des Schutzzonenkonzepts innerhalb des Gebäudes mit jeweils schutzzonenspezifischem, mit der Erdungsanlage verbundenem Potenzialausgleichssystem

Neben der Einbindung der Bewehrungsstähle und sämtlicher Kanal-, Rohrleitungs- und Kabelträgersysteme aus elektrisch leitenden Werkstoffen in das Potenzialausgleichssystem ist eine EMV-gerechte Ausführung der gebäudetechnischen Installationen erforderlich.
Bei Neuanlagen ist grundsätzlich der Einbau eines Fundamenterders vorzunehmen (DIN 18014). Dieser ist in regelmäßigen Abständen von etwa 5 m mit der Bewehrung blitzstromtragfähig (durch Klemmen oder Schweißen) zu verbinden. Bestehende bauliche Anlagen ohne eigene Erdungsanlage sind mittels Ring- oder Tiefenerdern – auch in Kombination davon – nachzurüsten und in den Potenzialausgleich einzubinden.

Empfehlungen für Erdungs-, Potenzialausgleichs-, Blitzschutz- und Überspannungsschutzmaßnahmen

Kostengruppe nach DIN 276	Anlagenbezeichnung	Erdung/Potenzialausgleich	Blitzschutz (Typ 1)	ÜSS (Typ 2)	ÜSS (Typ 3)	ÜSS in IT-Anlagen
Sanitärtechnische Anlagen (KG 410)	Einspeisung Frischwasser (RTWK)	X				
	Einspeisung TWW	X				
	Einspeisung Regenwasser	X				
	Einspeisung Löschwasser	X				
	Entlüftung	X		X	X	X
	Hebeanlage	X		X	X	X
	Abscheideanlagen	X		X	X	X
	Entwässerungen	X		X	X	X
	Rohrleitungssystem	X				
Heizungstechnische Anlagen (KG 420)	Einspeisung Gas	X))				X
	Einspeisung Fernwärme	X))				X
	Solaranlage	X				
	Schornsteinanlage	X				
	Zuluftanlage	X				
	Außen liegende Sensoren/Aktoren	X	X)	X	X	X
	Außen liegende Tanks	X		X	X	X
	Luftwärmepumpen	X		X	X	X
	Rohrleitungssystem	X				
Lufttechnische Anlagen (KG 430)	Dachaufbauten	X	X	X	X	X
	Wandaufbauten	X	X	X	X	X
	Erdwärmetauscher	X		X	X	X
	Lichtkuppeln	X		X	X	X
	Entrauchungsanlagen	X	X	X	X	X
	RTL-Anlagen	X	X	X	X	X
	Kanalsystem	X				
Elektrotechnische Anlagen (KG 440)	Gebäudeeinspeisung MS	X				
	Gebäudeeinspeisung NS	X	X			
	Niederspannungsanlage	X	X)	X	X	X
	Photovoltaikanlagen	X	X)	X	X	X
	Wegeanlagen	X	X	X	X	X
	Externe Feuerlöscheinrichtung	X	X	X	X	X
	Werbeanlagen	X	X)	X	X	X
	Rollladenanlagen	X	X)	X	X	X
	Sonnensegel	X	X)	X	X	X
	Außen liegende Sensoren/Aktoren	X	X)	X	X	X
Fernmelde- und informationstechnische Anlagen	TK-Einspeisung	X	In Niederspannungsanlagen enthalten	In Niederspannungsanlagen enthalten	X	X
	RF-Einspeisung	X			X	X
	Satellitenanlage	X			X	X
	Antennenanlagen	X			X	X
	Mobilfunkanlage	X			X	X
	Einbruchmeldeanlage	X			X	X
	Gefahrenmeldeanlagen	X			X	X
	Klingel-/Gegensprechanlage	X			X	X
Förderanlagen (KG 460)	Aufzüge	X				X
	Fahrtreppen	X	X	X		X
			X	X		

x empfohlen x) erforderlich bei Vorhandensein einer Blitzschutzanlage

x)) kathodisch geschützte Tank- und Rohrleitungsanlagen dürfen nicht direkt geerdet werden und müssen über eine Funkenstrecke in die Potenzialausgleichs- und Erdungsanlage einbezogen werden.

Elektroverteilung:
Gemäß Schutzzonenbildung für alle Leitungssysteme, die Schutzzonengrenzen schneiden, sind anforderungsgerechte Überspannungsschutzmaßnahmen zu planen und umzusetzen.

Leitungsanlagen - Leitungsführung in Gebäuden:
Kabel und Leitung innerhalb eines Gebäudes müssen nach ihren Spannungsebenen getrennt voneinander geführt werden. Werden die Bezugspotenziale von Hilfsenergieversorgungen, z. B. DC-24-V-Systemen, betriebsmäßig dauerhaft geerdet, so ist pro System nur eine einzige Erdungsverbindung zulässig.
Bei mehr als einer Erdungsverbindung in solchen Systemen besteht die Gefahr von Funktionsstörungen oder gar Zerstörung. Werden solche an nur einer Stelle am zentralen Erdungspunkt (ZEP) geerdeten Systeme großflächig in der baulichen Anlage verteilt, so ist dieses Massepotenzial als aktiver Leiter isoliert zu behandeln.

Leitungsanlagen - Leitungsführung außerhalb von Gebäuden:
Leitungen und Kabel zu technischen Anlagen, die sich außerhalb der baulichen Anlage befinden, sind im Rahmen des Blitzschutzzonenkonzepts an den Schutzzonenübergängen des Gebäudes mittels Überspannungsschutzgeräten in den jeweiligen schutzzoneneigenen Potenzialausgleich einzubeziehen. Die hierfür erforderlichen Überspannungsschutzeinrichtungen sind für diesen Zweck nah am Einbauort mit dem Potenzialausgleichssystem des Gebäudes zu verbinden.

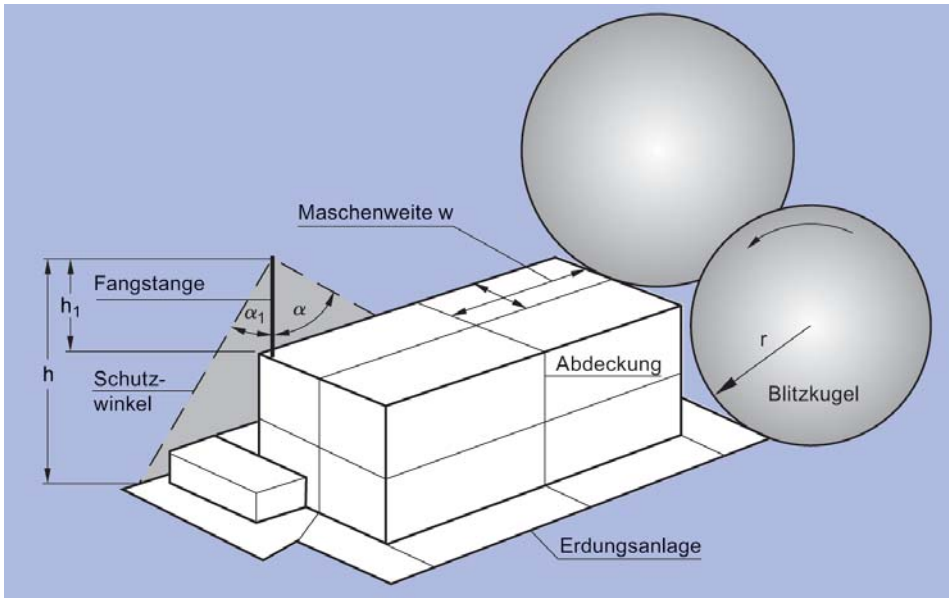
TIPP:

Es sollten möglichst wenige Eintrittsstellen von Leitungssystemen in das Gebäude geplant werden.

Errichtung von Blitz- und Überspannungsschutzeinrichtungen

Äußerer Blitzschutz:
Dachflächen werden vielfach als “Technikgeschosse” für großvolumige Einrichtungen genutzt. Diese Dachaufbauten werden nach DIN EN 50164-3 mit getrennten Fangeinrichtungen gegen direkte Blitzeinschläge geschützt. Es können drei Verfahren zur Bestimmung der Schutzklasse angewandt werden:

- Blitzkugelverfahren
- Maschenverfahren
- Schutzwinkelverfahren



Verfahren zur Bestimmung der Schutzklasse (Quelle: VDE).

Dachdurchführungen sind zu vermeiden. Deshalb ist die Führung von Versorgungsleitungen auf dem Dach über längere Strecken unvermeidbar. Die Leitungen müssen über die gesamte Länge durch Fangeinrichtungen vor direkten Blitzeinschlägen geschützt werden. Ein ausreichender Trennungsabstand untereinander ist einzuhalten. Die elektrischen Leitungen zu den Dachaufbauten müssen elektromagnetisch geschirmt ausgeführt sein. Dabei ist der Schirm beidseitig aufzulegen.

Verbindung von Ableitungen:
Erfolgt die Verbindung des Blitzschutzpotenzialausgleichs nur zu einem Einzelerder, so können hohe Potenzialdifferenzen zu den anderen Erdern auftreten.
Aus diesem Grund müssen Ableitungen in Höhe des Erdniveaus (erdnah) miteinander verbunden werden. Diese Verbindung soll außerhalb der baulichen Anlage erfolgen. Für Verbindungsleitungen gilt, dass die Länge der Stromwege so kurz wie möglich gehalten wird. Sie sollten nicht über 1m Höhe installiert werden.
Für oberirdisch verlegte Verbindungsleitungen außerhalb der baulichen Anlagen ergeben sich die Mindestmaße und Werkstoffe aus der DIN EN 62305-3.

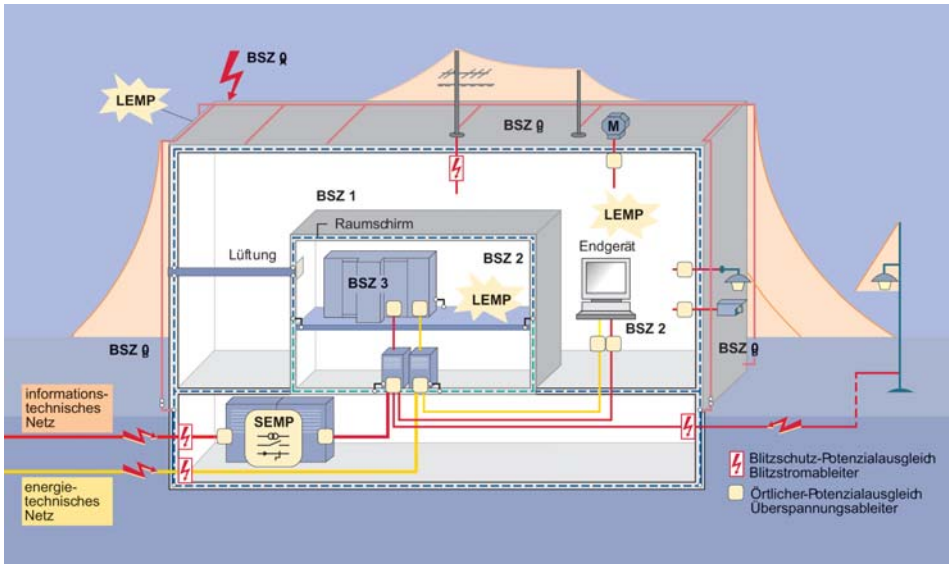
Potenzialausgleich:
Durch die technische Entwicklung kommt es in Gebäuden zu einer ständig steigenden Anzahl elektrischer Verbrauchsmittel, deshalb wird nach DIN VDE 0100-410 ein Potenzialausgleich gefordert.

Folgende leitfähige Teile sind miteinander zu verbinden:
- Anschlussfahne des Fundamenterders
- Hauptschutzleiter (PE-Leiter im TT-Netz, PEN-Leiter im TN-Netz)
- Wasserleitung
- Gasleitung (hinter dem Wassermesser)
- Luftleitungen aus Metall
- Abwasser- und Regenwasserleitungen aus Metall
- Heizungsleitungen
- Kühlleitung
- Andere metallene Rohrleitungen
- Metallschienen
- Antennenanlage
- Fernmeldeanlage
- Blitzschutzanlagen

Ein zusätzlicher Potenzialausgleichsleiter ist für Bade- und Duschräume erforderlich. Mehrere Rohrleitungen können untereinander verbunden werden und über einen gemeinsamen Hauptpotenzialausgleichsleiter an die Potenzialausgleichsschiene angeschlossen werden. Der Hauptpotenzialausgleichsleiter muss den halben Querschnitt des Hauptschutzleiters haben, mindestens jedoch 6 mm^2 Cu, Maximalquerschnitt 25 mm^2 Cu. Regionale Vorschriften sind zu beachten.
Die Hauptpotenzialausgleichsschiene soll im Hausanschlussraum angeordnet werden; dort werden die Hauptpotenzialausgleichsleiter und die Anschlussfahne des Fundamenterders angeschlossen. Nach DIN VDE 0100-7 wird in Räumen mit besonderer Personengefährdung ein zusätzlicher Potenzialausgleich gefordert.
Alle leitfähigen metallenen Rohrleitungen und der leitfähige Ablaufstutzen an Bade- und Duschwannen müssen mit einem Potenzialausgleichsleiter verbunden werden – Mindestquerschnitt 4 mm^2 Cu. Die Verbindung zur Potenzialausgleichsschiene erfolgt mit mindestens 6 mm^2 Cu. Parallel verlaufende, metallene Kabelträgersysteme sollten in regelmäßigen Abständen (ideal alle 5 m) miteinander verbunden werden.

Erdung:
Es wird zwischen der Erderanordnung Typ A und Typ B unterschieden. Die Erderanordnung Typ A besteht aus horizontalen oder vertikalen Einzelerdern. Für die Erderanordnung Typ A müssen mindestens zwei Erder verwendet werden. In der Praxis kommen in der Regel Tiefenerder zum Einsatz.
Die Erderanordnung Typ B besteht aus einem Ringerder außerhalb der baulichen Anlage, mit wenigstens 80 % seiner Gesamtlänge im Erdreich, oder aus einem Fundamenterder. Die Maschenweite eines Fundamenterders soll 20 m x 20 m nicht überschreiten.

Innerer Blitzschutz:
Die Blitzschutzzonen sind definierte Schutzbereiche, die nach der Art der Blitzgefährdung klassifiziert werden. An den Grenzen der Blitzschutzzonen muss der Potenzialausgleich für alle eintretenden metallenen Teile und elektrischen Versorgungsleitungen durchgeführt werden. Der Blitzschutzpotenzialausgleich von LPZ 0 auf LPZ 1 ist für alle metallenen Systeme sowie elektrischen Energie- und Datenleitungen durchzuführen.
Ziel des Blitzschutzpotenzialausgleichs ist es, die durch den Blitzstrom verursachten Potenzialunterschiede zu reduzieren. Die Anforderungen an den Blitzschutzpotenzialausgleich werden erfüllt durch den direkten Anschluss aller metallenen Systeme und den indirekten Anschluss aller unter Betriebsspannung stehenden Systeme über Überspannungsschutzgeräte Typ 1.
Der Blitzschutzpotenzialausgleich soll möglichst nahe an der Eintrittstelle in die bauliche Anlage erfolgen, um das Eindringen von Blitzteilströmen in das Gebäude zu verhindern.
An der Blitzschutzzone LPZ 2 (z. B. Unterverteilungen) müssen den Überspannungsschutzgeräten Typ 1 koordinierte Überspannungsschutzgeräte Typ 2 nachgeschaltet werden. DIN VDE 0100-534 fordert, dass die Anschlussleitungslänge zu Überspannungsschutzgeräten in Leitungsabzweigen nicht größer als 0,5 m ist.

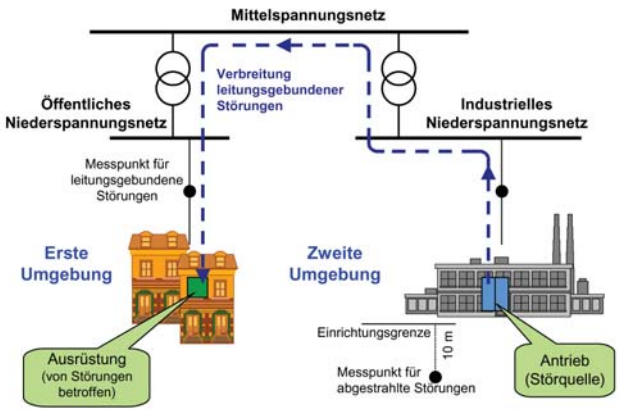


Das Blitzschutzzonenkonzept.

EMV im Endstromkreis

Die elektromagnetische Verträglichkeit beschreibt gemäß der Definition des EMV-Gesetzes (EMVG) die "Fähigkeit eines Geräts, in der elektromagnetischen Umwelt zufriedenstellend zu arbeiten, ohne dabei selbst elektromagnetische Störungen zu verursachen, die für andere in dieser Umwelt vorhandene Geräte unannehmbar wären".
Die EMV ist von zwei Eigenschaften der beteiligten Geräte abhängig. Dies ist zum einen die Störaussendung und zum anderen die Störfestigkeit. Elektrische Geräte werden eingeteilt in Störquellen (Sender) und Störsenken (Empfänger). Ein Gerät kann gleichzeitig Störquelle (Leistungsteil eines Umrichters) und Störsenke (Steuerteil des Umrichters) sein.
Elektromagnetische Verträglichkeit ist gegeben, wenn die vorhandenen Störquellen die Funktionen der Störsenken nicht beeinflussen. Um die größtmögliche Betriebssicherheit und Störfestigkeit einer Gesamtanlage (Umrichter, Automatisierung, Antriebsmaschine usw.) zu erreichen, sind Maßnahmen seitens Umrichterhersteller und Anwender notwendig. Nur wenn alle diese Maßnahmen eingehalten werden, können die einwandfreie Funktion des Umrichters garantiert und die vom Gesetzgeber vorgeschriebene Anforderungen (89/336/EWG) eingehalten werden.
Die Störaussendung von Frequenzumrichtern fällt unter die europäische Norm EN 61800-3. Dabei werden leitungsgebundene Störungen am Netzanschluss als Funkstörspannung unter genormten Bedingungen gemessen. Funkstörstrahlung in Form von elektromagnetisch abgestrahlten Störungen. In der Norm werden Grenzwerte für die "erste Umgebung" (öffentliche Netze) und "zweite Umgebung" (industrielle Netze) definiert.

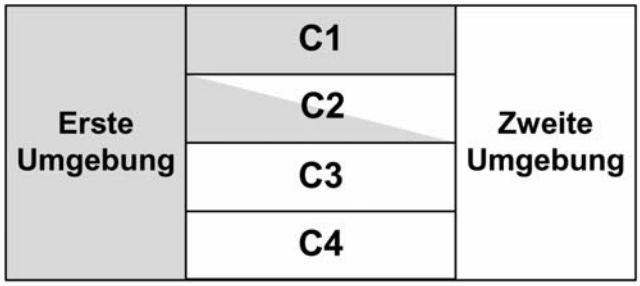
Die Störfestigkeit beschreibt das Verhalten eines Geräts unter dem Einfluss von elektromagnetischen Störungen. Die EMV-Anforderungen an "drehzahlveränderbare Antriebssysteme" werden in der Produktnorm EN 61800-3 beschrieben. Sie stellt Anforderungen an Umrichter mit Betriebsspannungen unter 1.000 V. Abhängig vom Aufstellungsort werden unterschiedliche Umgebungen und Kategorien definiert.



Definition der ersten und zweiten Umgebung

Definition der ersten und der zweiten Umgebung

- Erste Umgebung:
  Wohngebäude oder Standorte, an denen das Antriebssystem ohne Transformator am öffentlichen Niederspannungsnetz angeschlossen ist.
- Zweite Umgebung:
  Industriegebiete, die über einen eigenen Transformator aus dem Mittelspannungsnetz gespeist werden.



Definition der Kategorien C1 bis C4

- Kategorie C1:
  Nennspannung < 1.000 V uneingeschränkter Einsatz in der ersten Umgebung
- Kategorie C2:
  Ortsfeste Antriebssysteme Nennspannung < 1.000 V für den Einsatz in der zweiten Umgebung. Einsatz in erster Umgebung bei Vertrieb und Installation von Fachpersonal.
- Kategorie C3:
  Nennspannung < 1.000 V ausschließlich Einsatz in der zweiten Umgebung.
- Kategorie C4:
  Nennspannung = 1.000 V oder für Nennströme = 400 A in komplexen Systemen in der zweiten Umgebung.

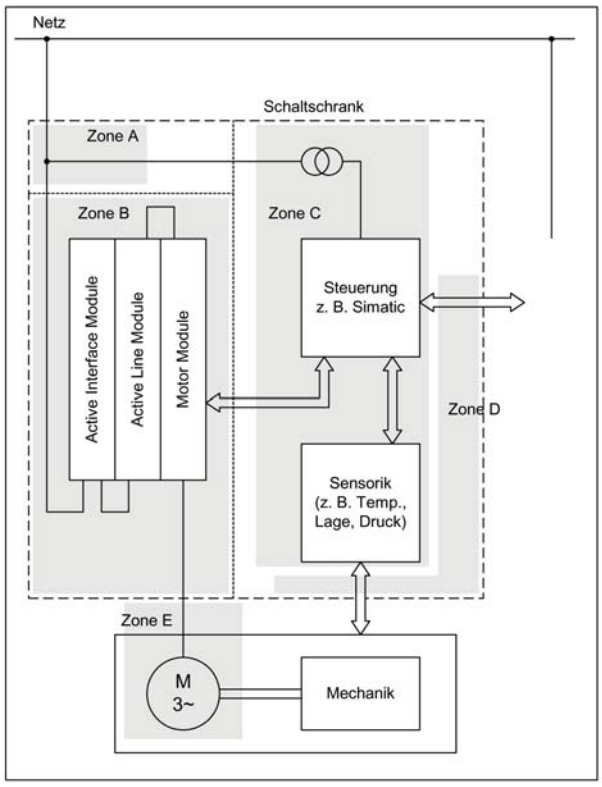
Die EMV-Entstörmaßnahme innerhalb des Schaltschranks lässt sich am kostengünstigsten dadurch bewerkstelligen, dass Störquellen (Sender) und Störsenken (Empfänger) räumlich voneinander getrennt aufgebaut werden. Dies lässt sich bereits während der Planungsphase berücksichtigen.

Hierbei wird unterteilt zwischen Störquellen, z. B. Active-Line-Module, Motor-Module und Störsenken, z. B. Automatisierungsgeräte, Sensoren und Geber.

Daran anschließend wird die Anlage in unterschiedliche EMV-Zonen unterteilt und die Geräte diesen Zonen zugeteilt. Innerhalb jeder Zone gelten verschiedene Anforderungen bezüglich Störaussendung und Störfestigkeit. Beim Aufbau des

Schaltschranks müssen die einzelnen Zonen räumlich voneinander getrennt werden. Die Trennung kann zum einen durch Metallgehäuse oder innerhalb eines Schaltschranks durch geerdete Trennbleche erreicht werden.

Eventuell müssen an den Schnittstellen der Zonen Filter eingesetzt werden. Innerhalb einer Zone können ungeschirmte Leitungen verwendet werden. Alle Bus- und Signalleitungen, die den Schaltschrank verlassen, müssen geschirmt sein.



Einteilung eines Antriebssystems in Zonen

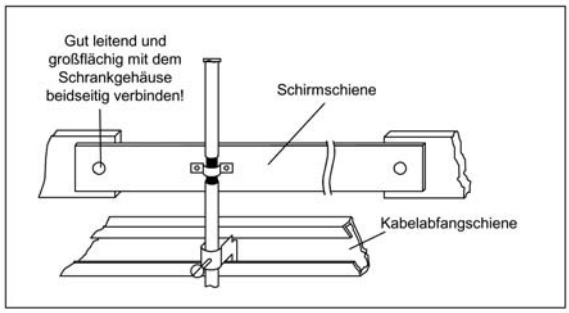
- Zone A ist der Netzanschluss des Schaltschranks. Die Störaussendung soll hier bestimmte Grenzen nicht überschreiten.
- Zone B beinhaltet das Active Interface Module, das Active-Line-Module und die Motor-Modules.
- Zone C bilden die Störsenken wie Steuerung und Sensorik
- Zone D bildet die Schnittstelle der Signal- und Steuerleitungen zur Peripherie. Hier wird ein bestimmter Störfestigkeitspegel verlangt.
- Zone E umfasst den Drehstrommotor und die Motorleitung.

Verlegung von Leitungen und Schirmung

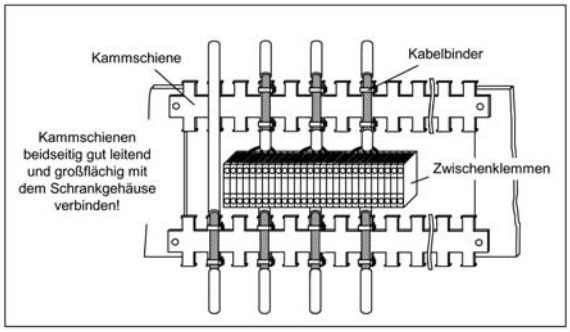
Um die Anforderung der EMV zu erfüllen, müssen unterschiedliche Arten von Leitungen hinreichend getrennt von anderen Leitungen verlegt werden. Um diese Forderungen zu erfüllen müssen nachfolgend genannte Leitungen geschirmt ausgeführt werden:

- Einspeiseleitungen zwischen der Netzanschlussstelle und dem Active Interface Module
- Alle Motorleitungen, wobei die Bremsleitungen eventuell in die Motorleitungen integriert sind
- Leitungen für digitale und analoge Ein- und Ausgänge
- Signalleitungen für Encoder, Resolver oder Tachos
- Leitungen für Temperatursensoren oder andere Messfühler

Koppelstrecken sind zu vermeiden. Daher ist es notwendig, Signalleitungen und Leistungskabel räumlich von einander getrennt zu verlegen. Dabei muss ein Mindestabstand von 20 cm eingehalten werden. Ist dies nicht möglich, sind Trennbleche zwischen Signal- und Leistungskabeln vorzusehen. Diese Trennbleche sind großflächig zu erden. Ist ein direktes Überkreuzen von Signal- und Leistungskabeln unvermeidbar, so darf dies ausschließlich rechtwinklig erfolgen. Um das Einkoppeln von Störungen von außerhalb in den Schaltschrank zu vermeiden sind die Schirme der verwendeten Leitungen möglichst in der Nähe des Eintritts in den Schaltschrank erstmals großflächig zu erden. Dies wird durch Verwendung entsprechender Schirmschienen oder Kammschienen erreicht. Diese Schienen müssen gut leitend und großflächig mit dem Schrankgehäuse verbunden werden.



Schirmanbindung der Motorleitung bei Einführung in den Schaltschrank



Schirmanbindung der Signalleitungen im Schaltschrank

Alle Leitungen innerhalb des Schaltschrankes sollen so nahe wie möglich an den mit Schrankmasse verbundenen (geerdeten) Konstruktionsteilen, wie Montageplatten oder Hüllteile des Schrankes, verlegt werden. Dies gilt auch für Reserveleitungen.

Bei gutem Potentialausgleich (alle metallischen Teile im Schaltschrank sind großflächig leitend miteinander verbunden) sind die Schirme von analogen Signalleitungen beidseitig auf Erde zu legen. Sollten niederfrequente Störungen auf Analogleitungen auftreten, so ist der Schirm nur einseitig am Umrichter aufzulegen. Die andere Seite des Schirms sollte über einen Kondensator (z. B. 10 nF/100 V, Type MKT) geerdet werden.

Bei digitalen Signalleitungen müssen die Schirme großflächig und gut leitend auf beiden Seiten (Sender und Empfänger) aufgelegt werden. Ein mehrmaliges Auflegen der Schirme innerhalb und außerhalb des Schaltschranks ist zulässig. Ein Ausgleichsleiter von mindestens 10 mm² ist bei schlechtem Potentialausgleich parallel zum Schirm zu verlegen.

TIPP:

Signalleitungen möglichst nur von einer Seite in den Schaltschrank führen.

Leitungen von Encodern, Resolvern oder Tachos müssen über einen Schirm verfügen. Der Schirm ist am Tacho, Resolver oder Encoder und am Motor Module großflächig aufzulegen.
Der Schirm darf nicht unterbrochen werden. Für Encoder und Resolver sollten fertig konfektionierte Leitungen mit Mehrfachschirmung verwendet werden.
Bei Verwendung von ungeschirmten Leitungen ist es zu vermeiden, diese in unmittelbarer Nähe von Störquellen, z. B. Transformatoren, zu verlegen.
Signalleitungen (geschirmt und ungeschirmt) müssen weit entfernt von starken Fremdmagnetfeldern (Transformatoren, Drosseln) verlegt werden. In beiden Fällen sollte ein Mindestabstand von 30 cm eingehalten werden.
Ungeschirmte Leitungen des gleichen Stromkreises (Hin- und Rückleiter) sind zu verdrillen, um unnötige Rahmenantennen zu vermeiden.

Zur Verringerung von Koppelkapazitäten und -induktivitäten sind unnötig lange Leitungen zu vermeiden. Durch das beidseitige Erden von Reserveadern wird eine zusätzliche Schirmwirkung erreicht.

Beachte:

Angeschlossene Leistungs- und Signalleitungen dürfen keine Lüftungsöffnungen verdecken. Signalleitungen dürfen nicht parallel zu Leistungskabeln verlegt werden.
Im Schaltschrank sind alle metallischen Teile flächig und gut leitend (nicht Lack auf

Lack!) zu verbinden. Geeignete Kontakt- oder Zahnscheiben sind gegebenenfalls zu verwenden. Schaltschranktüren sind mittels möglichst kurzer Massebänder mit dem Schaltschrank zu verbinden.

In erster Linie ist die Erdung von Anlagen/Maschinen eine Schutzmaßnahme. Die Störaussendung und Störfestigkeit von Antrieben wird jedoch dadurch beeinflusst. Ein Antriebssystem kann sternförmig oder flächig geerdet werden. Bei Antrieben ist die flächige Erdung vorzuziehen, d. h. alle zu erdende Teile werden flächig oder maschenförmig miteinander verbunden.
Ist der Antriebsverband auf einer gemeinsamen metallisch blanken Montageplatte, z. B. mit verzinkter Oberfläche, angeordnet oder sind mehrere verwendete Montageplatten flächig leitend miteinander verbunden, so ist innerhalb des Antriebsverbands kein zusätzlicher Potentialausgleich erforderlich da alle Teile der Schaltgerätekombination mit dem Schutzleitersystem verbunden sind.
Alle Verbindungen von Montageplatten mit dem externen Schutzleitersystem erfolgen bis einschließlich einem Außenleiterquerschnitt von 16 mm² Kupfer außenleitergleich mit einem feinadrigen Leiter. Ab einem Querschnitt von 25 mm² Kupfer gilt für feinadrige Leiter die Hälfte des Außenleiterquerschnitts.
Werden die Geräte anderweitig im Schaltschrank montiert, muss der Potentialausgleich jeder einzelnen Komponente getrennt erfolgen. Dabei ist auf einen ausreichenden Außenleiterquerschnitt zu achten.

Anforderungen zur EMV können der EN 61800-3, EN 60439-1 und Empfehlungen der EN60204-1 entnommen werden. Für den Einbau von Komponenten in Schaltschränke müssen zur Erfüllung der EMV-Richtlinie weitere Gesichtspunkte berücksichtigt werden:

- Anwendung der empfohlenen Leistungs- und Signalleitungen
- Berücksichtigung der Hinweise zur Schirmung von Leitungen und zum Potentialausgleich

In Abhängigkeit vom Aufstellungsort des Antriebssystems gibt es unterschiedliche Grenzwerte. Durch Netzfilter, die die Abstrahlung reduzieren, werden auch die Netzrückwirkungen begrenzt. Wichtig für deren optimale Wirkung ist die EMV-gerechte Installation.

Die Active Interface Module zur Einspeisung aus dem Netz bzw. zur Rückspeisung ins Netz bei Bremsbetrieb der Antriebe verfügen über einen Clean Power Filter sowie eine Netzdrossel.
Damit werden die Störaussendungsgrenzwerte nach EN 61800-3 für die zweite Umgebung (Industriebereich) eingehalten. Mit Hilfe des Clean Power Filters werden die sonst üblichen Netzoberschwingungen weitestgehend unterdrückt, wodurch die Grenzwerte der Klasse 3 nach IEC 61000-2-4 eingehalten werden. Somit sind netzseitig in der Regel keine weiteren Entstörmaßnahmen notwendig.

Fehlerstrom Schutzeinrichtungen

Bei der Anwendung geeigneter Schutzmaßnahmen haben Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (FI-Schutzeinrichtungen) wegen ihrer hohen Schutzwirkung erhebliche Bedeutung. Hinzu kommt, dass die Qualität bzw. Sicherheit der eingesetzten Komponenten entsprechend hoch sein muss. Ansonsten kann es zu Fehlerzuständen kommen, die zusätzliche Schutzmaßnahmen gegen zu hohe Körperströme (Personenschutz) erfordern.

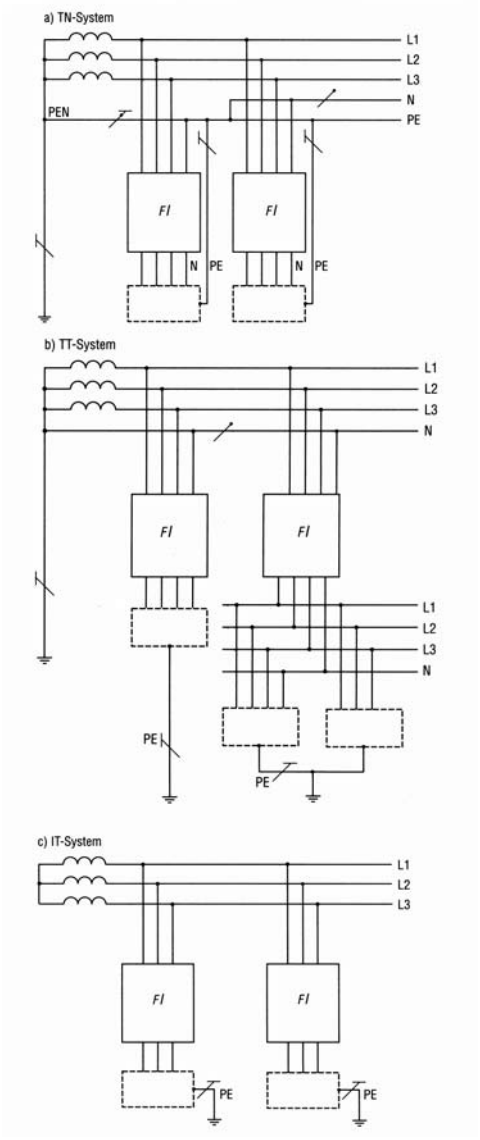
Isolationsfehler können folgende Auswirkungen haben:

- Körperschluss
- Kurzschluss
- Erdschluss

Jede der drei Auswirkungen kann als vollkommener oder unvollkommener, also widerstandsbehafteter Lichtbogenschluss auftreten. Der Körperschluss gilt als "unfallgefährdend", Kurzschluss und Erdschluss als "brandgefährdend".

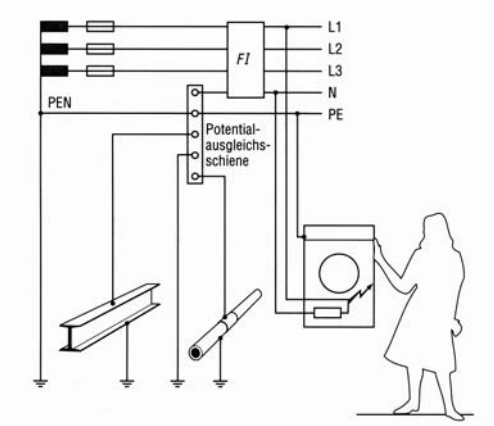
Hinweis:

FI-Schutzeinrichtungen können in allen Netzsystemen eines Wechsel- bzw. Drehstromnetzes eingesetzt werden.



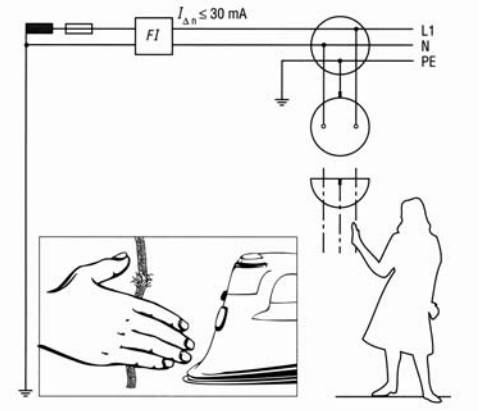
Einbau von FI-Schutzeinrichtungen im
a) TN-System
b) TT-System
c) IT-System

Beim Schutz gegen gefährliche Körperströme wird zwischen indirektem und direktem Berühren unterschieden. Beim indirekten Berühren fließt der Fehlerstrom bei defekter Isolierung eines Geräts über den Schutzleiter (PE-Leiter) zur Erde ab. Ein Mensch, der gleichzeitig beim Auftreten des Fehlers das schadhafte Gerät berührt, ist parallel zum Fehlerstrom geschaltet. Aufgrund des Widerstandsverhältnisses "Schutzleiter/Mensch" wird der größte Teil des Stroms über den Schutzleiter fließen.



Indirektes Berühren: Der Fehlerstrom fließt über den Schutzleiter zur Erde ab.

Anders ist es beim unbeabsichtigten direkten Berühren betriebsmäßig spannungsführender Teile oder fremder, nicht geerdeter leitfähiger Teile, die im Fehlerfall Spannung führen. Der Mensch übernimmt hier die Funktion des Schutzleiters. Der über seinen Körper fließende Fehlerstrom kann zu einem tödlichen Unfall führen.



Direktes Berühren: Der Mensch übernimmt die Funktion des Schutzleiters, was zu einem tödlichen Unfall führen kann.

TIPP:

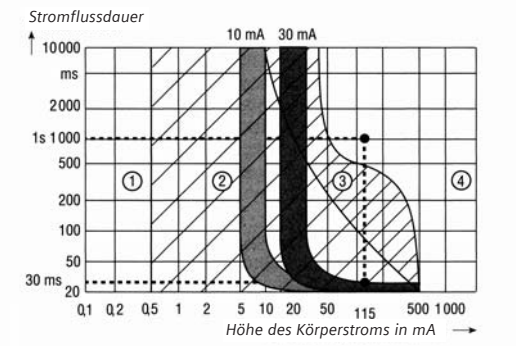
Die anzuwendende Schutzmaßnahme ist deshalb möglichst so auszuwählen, dass sowohl Schutz bei indirektem als auch bei direktem Berühren gegeben ist.

Den höchsten Schutzwert aller vergleichbaren Schutzmaßnahmen bieten FI-Schutzeinrichtungen mit Bemessungsfehlerstrom 30 mA und kleiner. Sie lösen aus, sobald ein gefährlicher Strom über den menschlichen Körper fließt. Dessen Höhe wird vom Innenwiderstand des Menschen und dem Standortübergangswiderstand bestimmt.

Beachte:

Für die Unfallbetrachtung muss der ungünstigste Fall angenommen werden, d. h. Standortübergangswiderstand nahe Null.

Zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen Stromhöhe und physiologischer Reaktion wurden viele Fälle ausgewertet. Die Stromzeitwerte wurden durch Kurven in vier Bereiche unterteilt. Gefährlich sind Stromzeitwerte des Bereichs 4, weil bei diesen Werten Herzkammerflimmern auftreten kann.

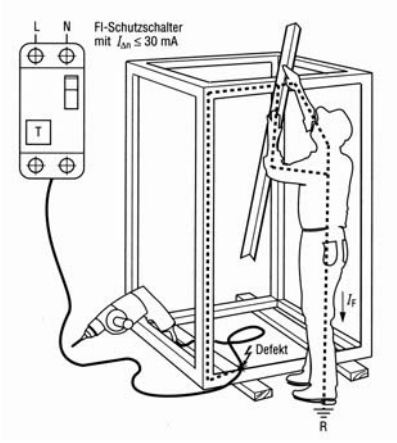


Stromstärkebereiche für Wechselstrom 50/60 Hz nach IEC 479 und Auslösestreubänder der FI-Schutzeinrichtungen mit Bemessungsfehlerstrom $I_{\Delta n}$=30 mA und 10 mA.

Bereich 1: Normalerweise keine Einwirkungen wahrnehmbar
Bereich 2: Normalerweise keine schädigenden Einwirkungen
Bereich 3: Muskelverkrampfungen, Unregelmäßigkeiten beim Herzschlag möglich
Bereich 4: Gefahr des Herzkammerflimmerns

$$I_F = U_0/R$$

Beispiel: Ein Metallgestell steht isoliert auf einem Holzboden. Die Leitung einer Bohrmaschine als elektrischer Verbraucher ist beschädigt, was den Rahmen unter eine Spannung von 230 V gegenüber dem isolierten Fußboden setzt. Bei direkter Berührung des Gestells fließen 115 mA Fehlerstrom durch den Körper.
Bei Verwendung eines Leitungsschutzschalters kann dieser Stromfluss über eine Sekunde betragen und ist somit im Bereich 4 (evtl. tödlich).
Bei Verwendung einer FI-Schutzeinrichtung liegt die Gefährdung im Stromstärkenbereich 2.



Präventivmaßnahmen für Brandschutz

Kurzschlüsse bzw. Erdschlüsse sind vor allem dann brandgefährdend, wenn an der Lichtbogenstelle relativ hohe Widerstände im Fehlerkreis auftreten (unvollkommen). Eine Abschaltung des Fehlers durch vorgeschaltete Überstrom-Schutzeinrichtungen wie Sicherungen oder Leistungsschalter ist aufgrund der teilweise sogar weit unter den Nennströmen der Überstrom-Schutzeinrichtungen liegenden Fehlerströme nicht gegeben.

Bei Strömen, die nur geringfügig über dem Bemessungsstrom der Überstrom-Schutzeinrichtungen liegen, erfolgt die Abschaltung erst nach langer Zeit. Dem Schutz vor Bränden, hervorgerufen durch Erdschlussströme, sind dadurch Grenzen gesetzt.

Fehler, die zu Erdschlussströmen und zur Lichtbogenbildung führen können, sind:

- Beschädigung der Isolierung einer Leitung bzw. eines Betriebsmittels.
- Schmorstellen mit Verkohlung der Umgebung an Klemmen von Geräten oder Motoren.
- Windungsschlüsse durch Überlastung von Motoren oder Alterung von Drosselspulen.
- Feuchtigkeit oder Kondenswasser in Betriebsmitteln oder Teilen der Installation.
- Leitfähige Stäube oder Ablagerungen in elektrischen Betriebsmitteln.

Derartige Fehler können unvollkommene Kurz- bzw. Erdschlüsse hervorrufen und zu Bränden führen.

Hinweis:

Dabei auftretende Wärmeleistungen zwischen 60 W und 100 W sind bereits brandgefährdend, wenn sie auf einer Fläche von wenigen Quadratmillimetern freigesetzt werden. Wesentlich ist auch die Zeit, in der die Wärmeleistung auftritt.

TIPP:

Von den im Fehlerfall abschaltenden Schutzeinrichtungen bieten auch hier nur FI-Schutzeinrichtungen umfassenden Schutz. Für erhöhten Brandschutz werden FI-Schutzeinrichtungen mit Bemessungsfehlerströmen ≤ 0,3 A von den Sachversicherern empfohlen.

Der Aufbau einer FI-Schutzeinrichtung sieht folgendermaßen aus, dass durch den hochpermeablen Kern des Summenstromwandlers W alle stromführenden Leiter einer Anlage geführt werden.

Im fehlerfreien Betrieb ist die vektorielle Summe der zu- und abfließenden Ströme gleich Null. Tritt in der elektrischen Anlage durch eine fehlerhafte Isolation ein Fehlerstrom auf, wird das Stromgleichgewicht im Summenstromwandler gestört. Entsprechend der Höhe des Fehlerstroms wird der Wandlerkern magnetisiert und eine Spannung in der Sekundärwicklung induziert. Diese bewirkt einen Strom durch

die Erregerwicklung des Auslösers A. Bei Erreichen des Auslösestroms I_a der FI-Schutzeinrichtung spricht der Auslöser A an, was zur Abschaltung des gefahrbringenden Anlagenteils führt.

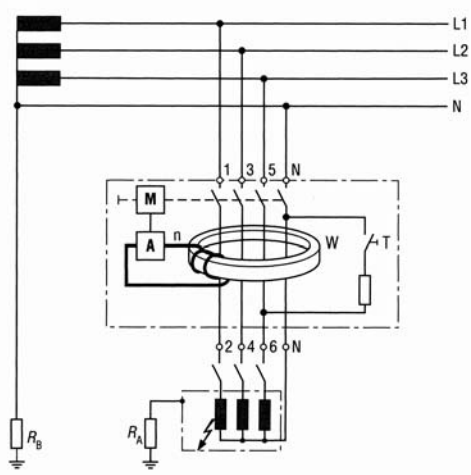
Hinweis:

Das Auslöseprinzip von FI-Schutzeinrichtungen arbeitet unabhängig von der Netzspannung oder einer Hilfsenergie.

Beachte:

Zur Prüfung der ordnungsgemäßen Funktion haben FI-Schutzeinrichtungen eine Prüfeinrichtung T, die zur Sicherstellung der Funktionssicherheit halbjährlich betätigt werden soll.

Prinzipschaltbild der FI-Schutzeinrichtung mit netzspannungsunabhängiger Auslösung, z. B. im TT-System.



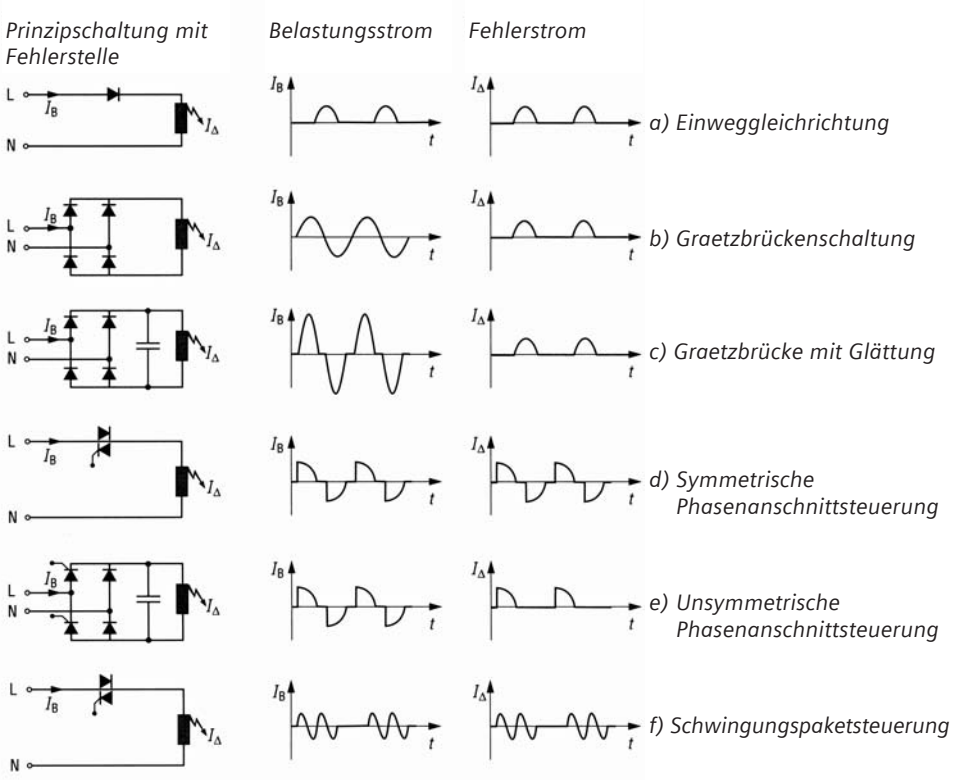
A Auslöser
T Prüfeinrichtung
M Mechanik des Schutzschalters
n Sekundärwicklung
W Summenstromwandler
R_B Erdungswiderstand Betriebserde
R_A Erdungswiderstand Verbraucher

FI-Schutzeinrichtungen für Wechsel- und pulsierende Gleichfehlerströme nach DIN VDE 0664

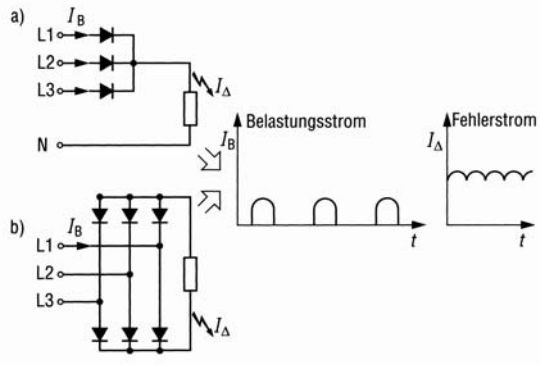
Früher gebräuchliche FI-Schutzeinrichtungen lösten gemäß den praktischen Anforderungen nur bei sinusförmigen Wechselfehlerströmen aus. Aufgrund der Zunahme von elektronischen Bauelementen wurde eine neue Generation von FI-Schutzeinrichtungen notwendig. Diese lösen sowohl bei Wechsel- als auch bei pulsierenden Gleichfehlerströmen aus.

Allstromsensitive FI-Schutzeinrichtungen für Industrieanwendungen

In elektrischen Verbrauchsmitteln der Industrie werden vermehrt Schaltungsarten angewendet, bei denen im Fehlerfall glatte Gleichfehlerströme oder solche mit geringer Restwelligkeit auftreten.
Wechsel- und pulsstromsensitive FI-Schutzeinrichtungen können derartige Gleichfehlerströme nicht erfassen und nicht abschalten. Deshalb dürfen elektrische Verbrauchsmittel, die im Fehlerfall solche Fehlerströme erzeugen, nur mit allstromsensitiven FI-Schutzeinrichtungen betrieben werden.



Form des Belastungsstroms I_B und des Fehlerstroms I_Δ von Schaltungsarten, die im Fehlerfall Wechsel- oder pulsierende Gleichfehlerströme erzeugen.

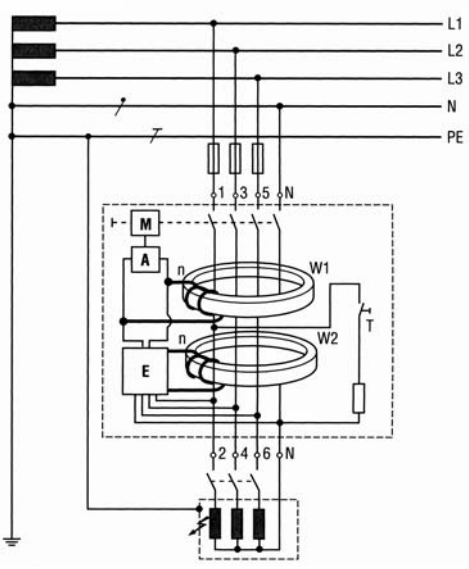


a) Drehstrom-Sternschaltung
b) Drehstrom-Brückenschaltung, sechspulsig

Form des Belastungsstroms I_B und des Fehlerstroms I_Δ von Schaltungsarten, die bei Fehlern Gleichfehlerströme mit geringer Restwelligkeit erzeugen können.

Grundlage der allstromsensitiven FI-Schutzeinrichtungen bildet ein pulsstromsensitives Schutzschaltgerät mit netzspannungsunabhängiger Auslösung, ergänzt um eine Zusatzeinheit für die Erfassung von glatten Gleichfehlerströmen. Der Summenstromwandler W1 überwacht die elektrische Anlage auf wechsel- und pulsstromartige Fehlerströme. Der Summenstromwandler W2 erfasst nach dem Funktionsprinzip der gesteuerten Induktivität die glatten Gleichfehlerströme und gibt bei einem Fehler den Abschaltbefehl über eine Elektronikeinheit E, bestehend aus Stromversorgung und Auswertemodul, an den Auslöser A weiter.

A Auslöser
M Mechanik der Schutzeinrichtung
E Elektronik für Auslösung bei glatten Gleichfehlerströmen
T Prüfeinrichtung
n Sekundärwicklung
W1 Summenstromwandler zur Erfassung der sinusförmigen Fehlerströme
W2 Summenstromwandler zur Erfassung der glatten Gleichfehlerströme



Prinzipschaltbild der allstromsensitiven FI-Schutzeinrichtung, z.B. im TN-S-System.

Die Auslösestrombereiche für die allstromsensitiven FI-Schutzeinrichtungen sind für Wechsel- und pulsierende Gleichfehlerströme aus DIN VDE 0664 übernommen und bezüglich der Auslösung bei glatten Gleichfehlerströmen gemäß IEC 479 erweitert.

Stromart	Bildzeichen	Auslösestrom
Wechselfehlerströme		0,5 bis 1 • $I_{\Delta n}$
Pulsierende Gleichfehlerströme (pos. und neg. Halbwellen), Halbwellenstrom		0,35 bis 1,4 • $I_{\Delta n}$
Angeschnittene Halbwellenströme: Anschnittwinkel 90° el 135° el		 0,25 bis 1,4 • $I_{\Delta n}$ 0,11 bis 1,4 • $I_{\Delta n}$
Halbwellenstrom bei Überlagerung mit glattem Gleichstrom von 6 mA		max 1,4 • $I_{\Delta n}$ + 6 mA

Auslösestrombereiche für wechsel- und pulsstromsensitive FI-Schutzeinrichtungen

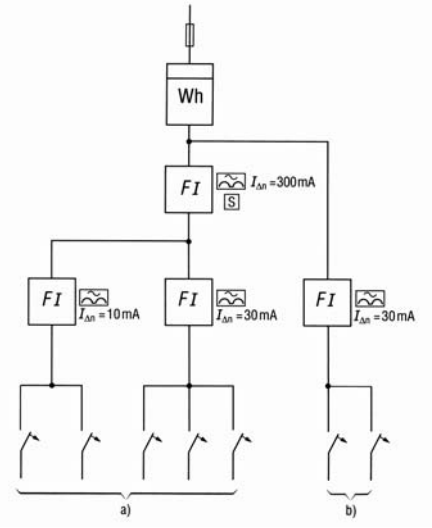
Stromart	Bildzeichen	Auslösestrom
Wechselfehlerströme		0,5 bis 1 • $I_{\Delta n}$
Pulsierende Gleichfehlerströme (pos. und neg. Halbwellen), Halbwellenstrom		0,35 bis 1,4 • $I_{\Delta n}$
Angeschnittene Halbwellenströme: Anschnittwinkel 90° el 135° el		 0,25 bis 1,4 • $I_{\Delta n}$ 0,11 bis 1,4 • $I_{\Delta n}$
Halbwellenstrom bei Überlagerung mit glattem Gleichstrom von 6 mA		max 1,4 • $I_{\Delta n}$ + 6 mA
Glatter Gleichfehlerstrom		0,5 bis 2 • $I_{\Delta n}$

Auslösestrombereiche für allstromsensitive FI-Schutzeinrichtungen

Beachte:

Bei der Projektierung und Errichtung elektrischer Anlagen ist zu beachten, dass elektrischen Verbrauchsmitteln, die im Fehlerfall glatte Gleichfehlerströme erzeugen, einem eigenen Stromkreis mit einer allstromsensitiven FI-Schutzeinrichtung zugeordnet werden.
Nicht zulässig ist das Abzweigen von solchen Stromkreisen nach pulsstromsensitiven FI-Schutzeinrichtungen gemäß DIN VDE 0664, da glatte Gleichfehlerströme über 6 mA die pulsstromsensitiven FI-Schutzeinrichtungen in ihrer Auslösung beeinträchtigen.

Allstromsensitive FI-Schutzeinrichtungen eignen sich wie die pulsstromsensitiven FI-Schutzeinrichtungen gemäß DIN VDE 0664 für den Einsatz in Wechsel oder Drehstromnetzen.
Allstromsensitive FI-Schutzeinrichtungen sind mit einem vom VDE-Prüf- und Zertifizierungsinstitut erteilten Überwachungszeichen in Form einer VDE-Registernummer versehen.



a) Stromkreise mit elektrischen Verbrauchsmitteln, bei denen im Fehlerfall Wechselfehlerströme oder/und pulsierende Gleichfehlerströme auftreten können.

b) Stromkreise mit elektrischen Verbrauchsmitteln, bei denen im Fehlerfall Wechselfehlerströme oder/und pulsierende Gleichfehlerströme oder/und glatte Gleichfehlerströme auftreten können.

Allstromsensitive FI-Schutzeinrichtungen

FI-Schutzeinrichtungen haben normalerweise eine unverzögerte Auslösung. Das bedeutet, dass eine Reihenschaltung solcher Geräte mit dem Ziel einer selektiven Abschaltung im Fehlerfall nicht funktioniert.
Allerdings gibt es selektive FI-Schutzeinrichtungen, die mit dem Zeichen S versehen sind.
Bei elektrischen Verbrauchern, die beim Einschalten kurzzeitig hohe Ableitströme verursachen (z. B. über Entstörkondensatoren zwischen Außenleiter und PE-Leiter abfließende, transiente Fehlerströme), kann es zum unerwünschten Auslösen unverzögerter FI-Schutzeinrichtungen kommen. Das gilt, wenn der Ableitstrom den Bemessungsfehlerstrom $I_{\Delta n}$ der FI-Schutzeinrichtung überschreitet.
Kurzzeitverzögerte FI-Schutzeinrichtungen sind mit dem Kennzeichen K versehen.

Hinweis:

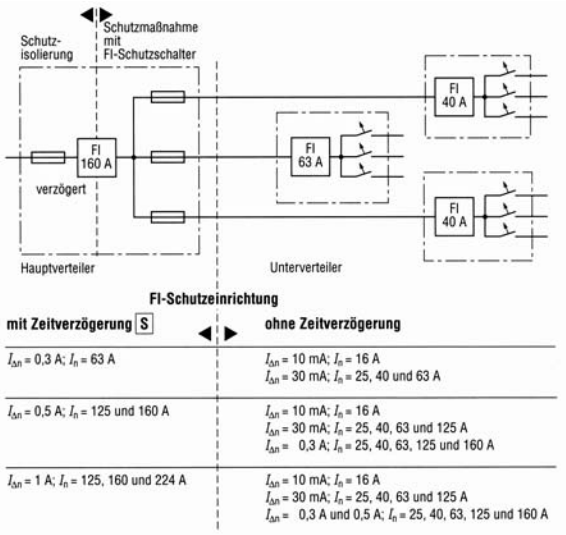
Fehlerströme können durchaus Werte im Bereich von Kurzschlussströmen erreichen.

Das passiert zum Beispiel bei einem Isolationsfehler in einem gut geerdeten Gerät, z. B. einem Warmwasserspeicher.
Sogar durch eine Lichtbogenbeeinflussung kann ein Erdschluss gleichzeitig zu einem Kurzschluss führen.
Aus diesem Grund müssen FI-Schutzeinrichtungen über ein ausreichend hohes Bemessungsschaltvermögen verfügen und kurzschlussfest ausgeführt sein.

Hinweis:

In TN-Systemen können bei Verwendung des Neutralleiters als Schutzleiter im Fehlerfall kurzschlussartige Fehlerströme auftreten.

In diesem Fall müssen FI-Schutzeinrichtungen zusammen mit der Vorsicherung ein entsprechendes Bemessungsschaltvermögen und eine ausreichende Bemessungskurzschlussfestigkeit haben. Die Bemessungskurzschlussfestigkeit der Kombination muss auf den Geräten angegeben werden.



Mögliche Staffelung von FI-Schutzeinrichtungen für selektives Abschalten am Beispiel einer Industrieanwendung.

Eine Auslösung der FI-Schutzeinrichtung kann viele Ursachen haben. In diesem Fall ist besonders zu überprüfen, dass nach der FI-Schutzeinrichtung keine elektrische Verbindung zwischen dem Neutralleiter N und dem Schutzleiter PE bzw. den Neutralleitern N zweier oder mehrerer Schutzeinrichtungen besteht.
Ungewollte Abschaltungen von FI-Schutzeinrichtungen können auch infolge von Gewitter und Schaltüberspannungen auftreten. Dies passiert vorwiegend in elektrischen Verbraucheranlagen, in denen überhaupt keine oder keine geeigneten Überspannungsschutzmaßnahmen angewendet werden bzw. keine EMV-gerechten Verbrauchergeräte eingesetzt worden sind.

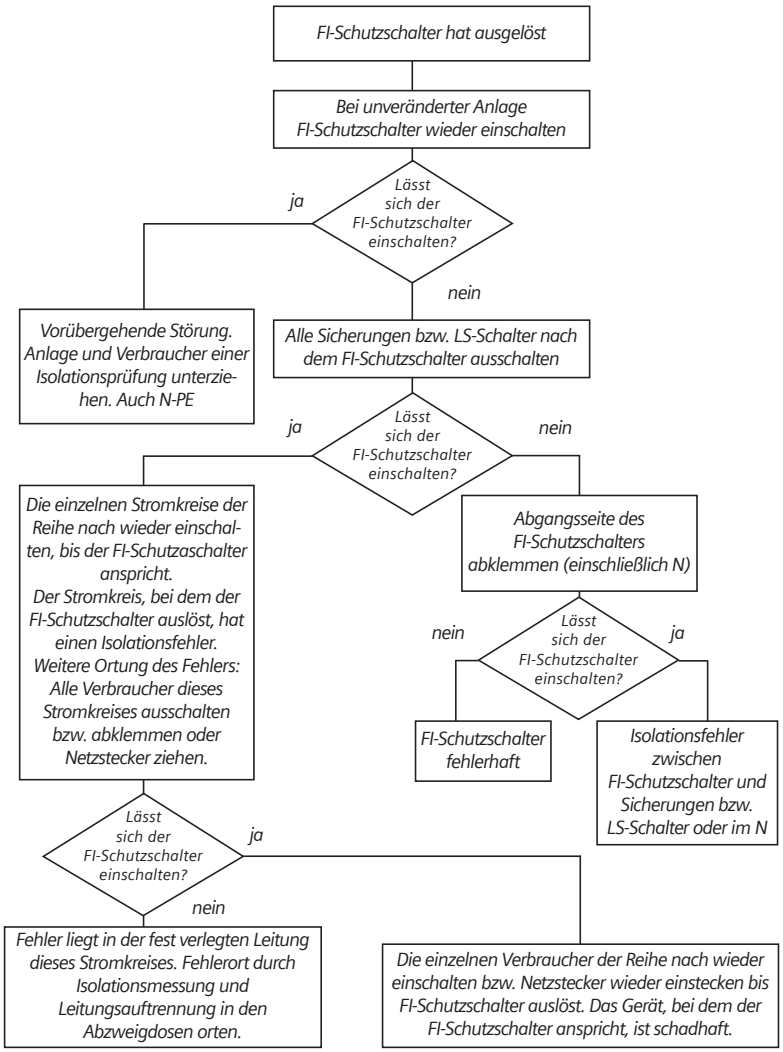
Ungewollte Abschaltungen können auch auftreten, wenn häufige betriebsmäßige Ableitströme aufgrund einer hohen Anzahl von elektrischen Verbrauchsmitteln auftreten und der Auslösestrom der vorgeschalteten FI-Schutzeinrichtung erreicht bzw. überschritten werden kann. Zur Feststellung gibt es Ableitstrommessgeräte mit entsprechenden Eichkurven.

TIPP:

Untersuchungen haben gezeigt, dass ungewollte Abschaltungen durch den Einsatz von pulsstromsensitiven FI-Schutzeinrichtungen, die weitgehend stoßstromfest sind, meist hätten vermieden werden können.

Beachte:

Bei zusätzlichem Einsatz von Überspannungsableitern ist zu beachten, dass diese vor der FI-Schutzeinrichtung gegen Erde angeordnet werden, damit ungewollte Abschaltungen aufgrund von defekten Überspannungsableitern vermieden werden.



Vorgehensweise bei der Fehlerortung, wenn die FI-Schutzeinrichtung anspricht.

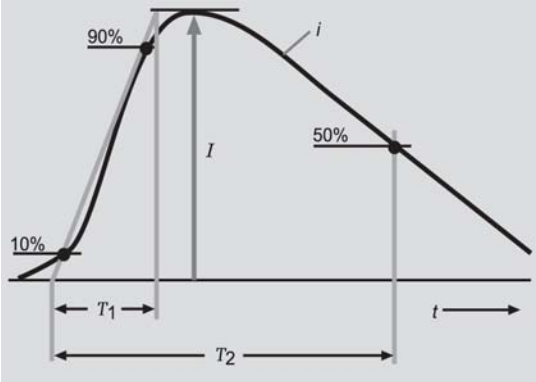
Netz-Schutz- und -Sicherungssysteme

Grundlagen
Überspannungen schädigen in erheblichem Maße elektrische und elektronische Einrichtungen. Hierzu genügen oftmals schon kleine Spannungsspitzen auf der Versorgungsleitung. Das zeigen die Schadensbilder von zerstörten Leitungen, Platinen oder Schaltgeräten. Diese Schäden können mit geeigneten Überspannungsschutz-Maßnahmen verhindert werden. Etwa ein Drittel aller Sachschäden, für die Wohngebäudeversicherer aufkommen müssen, sind auf Blitzschlag und Überspannungen zurückzuführen. Bei der Hausratversicherung beträgt der Schadensanteil sogar 45 Prozent.
Überspannungen entstehen durch Blitzentladungen (LEMP – Lightning Electromagnetic Pulse), Schalthandlungen (SEMP – Switching Electromagnetic Pulse) und elektrostatische Entladungen (ESD – Electro Static Discharge). Sie treten nur für den Bruchteil einer Sekunde auf. Man nennt sie deshalb auch transiente Spannungen oder Transienten (Transient (engl.): vorübergehend, kurzzeitig). Sie haben sehr kurze Anstiegszeiten von wenigen Mikrosekunden, bevor sie dann relativ langsam über einem Zeitraum von bis zu mehreren 100 Mikrosekunden wieder abfallen.
Zur Realisierung eines umfassenden Schutzkonzepts, bestehend aus Leitungsschutz, Personen- und Brandschutz sowie Blitzstrom- und Überspannungsschutz, gehört ein rundum abgestimmtes Spektrum von Schutzgeräten. BETA Niederspannungs-Schutzgeräte basieren auf nationalen und internationalen Normen und bieten Sicherheit und Schutz auf höchstem Niveau für alle Netzsysteme der Installationstechnik (TNC-, TNS- und TT-System).

Hinweis:

Für den Begriff Überspannungsschutzgerät wird im deutschen Sprachgebrauch die Abkürzung "SPD" (Surge Protective Device) verwendet.

Dem in der Norm IEC 62305-2 beschriebenen Risikomanagement geht eine Risikoanalyse voraus, um zuerst die Notwendigkeit des Blitzschutzes zu ermitteln und dann die technisch und wirtschaftlich optimalen Schutzmaßnahmen festzulegen, die in IEC 62305-3 und DIN EN 62305-4 beschrieben sind.
Dazu wird das zu schützende Objekt in eine oder mehrere Blitzschutzzonen (LPZ – Lightning Protection Zone) unterteilt. Ausgehend vom ungeschützten Zustand des Objekts wird das angenommene Risiko so lange durch die Anwendung von (weiteren) Schutzmaßnahmen vermindert, bis nur noch ein akzeptierbares Restrisiko bestehen bleibt.



Impulsform eines Stoßstroms.

Blitzschutzklasse	I	II	III + IV
I (kA)	200	150	100
T_1 (µs)	10	10	10
T_2 (µs)	350	350	350
Q_s (As)	100	75	50
W/R (MJ/Ω)	10	5,6	2,5

Blitzstromparameter des ersten Stoßstroms innerhalb der verschiedenen Blitzschutzklassen.

*I (kA) = Stromscheitelwert (*1)*
*T_1 (µs) = Stirnzeit (*2)*
*T_2 (µs) = Rückenhalbwertszeit (*3)*
Q_s (As) = Ladung
W/R (MJ/Ω) = Spezifische Energie
Blitzströme werden mit einem Stoßstrom der Wellenform 10/350 µs nachgebildet.
*(*1) = Höchster Wert des Stoßstroms*
*(*2) = Anstiegzeit des Stoßstroms vom 10-%-Wert bis zum 90-%-Wert des Stromscheitelwerts*
*(*3) = 50-%-Wert des Stromscheitelwerts in der Abklingphase, gemessen vom Punkt des 10-%-Werts des Stromscheitelwerts*

Bei einem Blitzeinschlag ist gemäß der Norm IEC 62305 davon auszugehen, dass ca. 50 % des Blitzstroms über das äußere Blitzschutzsystem (Blitzableiter) in die Erde abgeführt werden.
Bis zu 50 % des verbleibenden Blitzstroms fließen über elektrisch leitfähige Systeme wie den Hauptpotenzialausgleich in das Gebäude hinein. Deshalb ist es beim Vorhandensein eines äußeren Blitzschutzsystems immer notwendig, auch ein inneres Blitzschutzsystem zu installieren.

Summen-Blitzstrom (10/350 µs)	Blitzschutzklasse
100 kA	I
75 kA	II
50 kA	III + IV

Die in der Norm festgelegten Blitzschutzklassen definieren den maximal zu erwartenden Summen-Blitzstrom innerhalb des Gebäudes:
Einteilung der Blitzschutzklassen.

Hinweis:

Es ist davon auszugehen, dass sich der Summen-Blitzstrom gleichmäßig auf die Leiter des Stromversorgungssystems aufteilt. Deshalb sind die Blitzströme auf den einzelnen Leitern deutlich kleiner als der Summen-Blitzstrom.

Anzahl der "aktiven" Leiter	Max. zu erwartende Blitzströme pro Leiter, (10/350) µs	Blitzschutzklasse
4	25,0 kA	I
	18,7 kA	II
	12,5 kA	III + IV
3	33,3 kA	I
	25,0 kA	II
	16,6 kA	III + IV

Maximal zu erwartende Blitzströme pro Leiter.

Hinweis:

Jedes Gebäude benötigt ein abgestimmtes Schutzkonzept. Wichtig hierbei ist die Staffelung des Schutzes. Nur wenn diese Staffelung eingehalten wird, ist ein ausreichender Schutz gewährleistet.

TIPP:

Im Rahmen des Blitzschutzzonen-Konzepts werden Geräte oder Bereiche zusammengefasst, die das gleiche Gefährdungspotenzial aufweisen und mit Ableitern des gleichen Typs beschaltet werden können.

Zone 0 (LPZ 0)	Außerhalb des Gebäudes/Direkte Blitzeinwirkung – Keine Abschirmung gegen Blitzeinschlag (LEMP) – Blitzschutzzone 0A: einschlaggefährdet – Blitzschutzzone 0B: einschlaggeschützt
Zone 1 (LPZ 1)	Innerhalb des Gebäudes/Energiereiche Transienten durch – Schalthandlungen (SEMP) – Blitzströme
Zone 2 (LPZ 2)	Innerhalb des Gebäudes/Energieärmere Transienten durch – Schalthandlungen (SEMP) – Elektrostatische Entladungen (ESD)
Zone 3 (LPZ 3)	Innerhalb des Gebäudes – Kein Generieren von transienten Strömen oder Spannungen über die Störgrenze hinaus – Schirmung und separate Verlegung von Stromkreisen, die sich gegenseitig beeinflussen könnten

An den Übergängen der Blitzschutzzonen sind je nach Anforderung Blitzstrom- oder Überspannungs-Schutzgeräte einzusetzen, die an einem entsprechenden Einbauort wie in der Haupt- oder Unterverteilung installiert werden.

Alle Betriebsmittel einer elektrischen Anlage sind gemäß ihrer Bestimmung und ihres Einsatzorts einer Überspannungskategorie zugeordnet. Aus dieser Zuordnung ergibt sich die erforderliche Bemessungsstoßspannung (Isolationsfestigkeit). Hieraus lassen sich die erforderlichen Leistungsparameter für die einzusetzenden Überspannungsschutzeinrichtungen ableiten.

Überspannungskategorie I	Betriebsmittel zum Anschluss an Stromkreise, in denen Maßnahmen zur Begrenzung der transienten Überspannungen auf einen geeigneten niedrigen Wert getroffen worden sind. Beispiel: Betriebsmittel mit elektronischen Schaltungen und entsprechend niedrigem Schutzpegel.
Überspannungskategorie II	Energie verbrauchende Betriebsmittel, die von der festen Installation gespeist werden. Beispiel: Betriebsmittel wie Haushaltsgeräte, tragbare Werkzeuge und andere Hausgeräte sowie ähnliche Geräte.
Überspannungskategorie III	Betriebsmittel in festen Installationen und für solche Fälle, in denen besondere Anforderungen an die Zuverlässigkeit und die Verfügbarkeit der Betriebsmittel gestellt werden. Beispiel: Betriebsmittel wie Schalter in festen Installationen und Betriebmittel für industriellen Einsatz mit dauerndem Anschluss an die feste Installation.
Überspannungskategorie IV	Betriebsmittel für den Einsatz am Anschlusspunkt der Installation. Beispiel: Betriebsmittel wie Elektrizitätszähler und primäre Überstromschutzmodule.

Nennspannung des Stromversorgungs-systems (Netz) nach IEC 60038 (V)		Spannung Leiter zu Neutralleiter abgeleitet von der Nennwechsel oder Gleichspannung bis einschließlich (V)	Bemessungsstoßspannung (V)			
			Überspannungskategorie			
3-phasig	1-phasig		I	II	III	IV
	120-240	50	330	500	800	1500
		100	500	800	1500	2500
		150	800	1500	2500	4000
230/400 277/480		300	1500	2500	4000	6000
400/690		600	2500	4000	6000	8000
1000		1000	4000	6000	8000	12000

Überspannungskategorien und Bemessungsstoßspannungen.

Die Isolationskoordination nach DIN EN 60664-1 und IEC 60364-4-44beschreibt die Spannungsfestigkeit der Isolation eines Betriebsmittels. Hierbei sind zu berücksichtigen:

- Die zu erwartenden Überspannungen und die Kenngrößen der eingesetzten Überspannungsschutzgeräte.
- Die zu erwartenden Umgebungsbedingungen und die Schutzmaßnahmen gegen Verschmutzung der Betriebsmittel.

Die Spannungsfestigkeit der Isolation für alle elektrotechnischen Betriebsmittel in den verschiedenen Anlagenbereichen beträgt:

- 6 kV in der zentralen Stromversorgung (Hauptverteilung)
- 4 kV im Bereich der Stromkreisverteilung (Unterverteilung)
- 2,5 kV am Endgerät
- 1,5 kV an besonderen Endgeräten

Aufbau und Wirkungsweise von Überspannungsschutzgeräten
Um zu verhindern, dass Überspannungen empfindliche elektrische Anlagen zerstören, müssen die Leiter, an denen solch hohe Spannungen auftreten, in sehr kurzer Zeit mit dem Potenzialausgleich kurzgeschlossen werden. Dafür stehen verschiedene Bauelemente zur Verfügung. Sie werden in Überspannungsschutzgeräten einzeln oder in komplexen Schutzschaltungen kombiniert verwendet, um die unterschiedlichen Vorteile gleichzeitig nutzen zu können.
Je nach Anwendungsfall kommen Funkenstrecken, gasgefüllte Überspannungsableiter, Varistoren und Suppressordioden zum Einsatz. Diese Bauelemente unterscheiden sich im Wesentlichen durch:

- Ableitvermögen (Stromtragfähigkeit)
- Ansprechverhalten (Reaktionszeit beim Auftreten einer Überspannung)
- Löschverhalten (Übergang vom niederimpedanten Ableitzustand in den hochimpedanten Ruhezustand nach einem Ableitvorgang)
- Spannungsbegrenzung (Restspannung/Schutzpegel für das zu schützende Gerät)

Blitzstromableiter Typ 1
Blitzstromableiter stellen die erste und leistungsstärkste Schutzstufe für die Stromversorgung dar. Der aus technischer Sicht bevorzugte Einbauort ist direkt hinter dem Hausanschlusskasten. Je nach System der Stromversorgung (TN-C-, TN-S- oder TT-System) wird der passende Blitzstromableiter in einem separaten Gehäuse in die Hauptleitung vor dem Zähler eingebaut. Dafür ist der zuständige Versorgungsnetzbetreiber (VNB) hinzuzuziehen oder eine entsprechende Zustimmung einzuholen. Blitzstromableiter, die aus reinen Funkenstrecken bestehen, können im Vorzählerbereich installiert werden. Ist die Installation vor dem Zähler nicht möglich, wird der Blitzstromableiter in der Hauptverteilung hinter dem Zähler eingebaut.

Summenstoßstrom und N-PE-Funkenstrecke:
In Stromversorgungssystemen mit getrennt verlegten N- und PE-Leitern wird z. B. für dreiphasige Einspeisungen eine so genannte 3+1-Schaltung aufgebaut. In dieser Schaltungsart ist jeweils ein Schutzgerät zwischen jeden Aussenleiter und den Neutralleiter geschaltet. Die Strecke zwischen Neutralleiter und Erde wird mit einer Summenstrom-Funkenstrecke oder auch N-PE-Funkenstrecke beschaltet.
Die Summe aus allen Teilstoßströmen, die sich aufgrund einer Überspannungseinkopplung in die aktiven Leitungen ergibt - das heißt in die Außen- und den Neutralleiter - muss nun vollständig von der Summenstrom-Funkenstrecke beherrscht werden. Diese Schaltungsart ist leckstromfrei gegen Erde. Sie erfordert jedoch den Einsatz einer

leistungsstarken Summenstrom-Funkenstrecke. Solche Schutzgeräte verfügen üblicherweise über ein Ableitvermögen in Höhe von 100 kA (10/350 µs) und erfüllen damit die Anforderungen gemäß Blitzschutzklasse I.

Überspannungsableiter Typ 2
Der Überspannungsableiter Typ 2 ist die zweite Schutzstufe in der Stromversorgung. Er senkt die Restspannung unter die Spannungsfestigkeit der Betriebsmittel und Leitungen im Bereich der Festinstallation zwischen Stromkreisverteilung und Stromanschluss für Endgeräte. Bei Anlagen mit einer Betriebsspannung von z. B. 230 V sind das 2,5 kV. Meistens sind Schutzgeräte für diese Betriebsspannung so ausgelegt, dass sogar ein Schutzpegel in Höhe von nur 1,5 kV erreicht wird. Die Schutzschaltung besteht aus temperaturüberwachten Varistoren mit hohem Ableitvermögen bis zu 40 kA (8/20 µs) (Stoßstrom mit der Wellenform 8/20 µs. Der Energieinhalt dieses Impulses ist deutlich geringer als bei einem Blitzstoßstrom (Wellenform 10/350 µs)).
Bei einem temperaturüberwachten Varistor sinkt bei einer spannungsbedingten Überlastung der Innenwiderstand des Varistors, und der Leckstrom im Varistor steigt. Es kommt zu einer Erwärmung, die auf eine Abtrennvorrichtung wirkt. Bei Erreichen eines definierten Grenzwerts wird der Varistor mechanisch vom Netz getrennt, bevor gefährliche Temperaturen erreicht werden.

Eine weitere Variante stellen die N-PE-Funkenstrecken als Überspannungsableiter Typ 2 dar. Sie besitzen einen gasgefüllten Überspannungsableiter mit besonders hohem Ableitvermögen. Als Summenstrom-Funkenstrecke werden sie in so genannten 3+1-Schaltungen zwischen Neutral- und Schutzleiter geschaltet.

Blitzstrom-/Überspannungsableiter-Kombination Typ 1+2
Ableiterkombinationen Typ 1+2 erfüllen die Anforderungen der ersten und zweiten Schutzstufe. Als sehr leistungsfähig haben sich Ableiterkombinationen bewährt, die nach dem AEC-Prinzip arbeiten. Der aus technischer Sicht bevorzugte Einbauort ist die Gebäudeeinspeisung. Je nach System der Stromversorgung (TN-C-, TN-S- oder TT-Netz), wird die passende Ableiterkombination in die Hauptverteilung direkt hinter dem Stromzähler eingebaut.

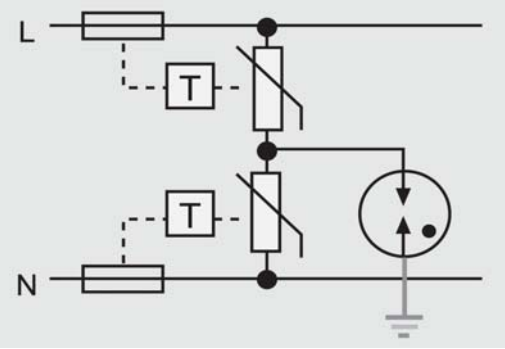
AEC heißt Active Energy Control und bedeutet aktive Energiesteuerung zwischen Ableitern Typ 1 und Ableitern Typ 2. Dabei erfolgt eine angemessene Lastverteilung des Stoßstromes, so dass der niedrige Schutzpegel des Typ-2-Ableiters und das hohe Ableitvermögen des Typ-1-Ableiters genutzt werden kann.

Beachte:

Ableiterkombinationen mit Varistoren führen im ungestörten Betrieb einen geringen Betriebsstrom (Leckstrom) von wenigen mA. Deshalb dürfen solche Geräte grundsätzlich nicht im Vorzählerbereich installiert werden. Die Anschluss- und Installationsbedingungen für diese Schutzgeräte entsprechen denen der Blitzstromableiter Typ 1.

Überspannungsableiter Typ 3 (Geräteschutz)

Der Überspannungsableiter Typ 3 ist die dritte Schutzstufe in der Stromversorgung und senkt die Restspannung unter die Spannungsfestigkeit des Endgeräts. Bei Geräten mit einer Betriebsspannung von z. B. 230 V sind das ≤ 1,5 kV.
Die Schutzschaltung besteht im Allgemeinen aus einer Reihenschaltung von zwei Varistoren, die zwischen Außen- und Neutralleiter liegen. Ein Gasableiter greift mit einem Anschlussbein auf den Verbindungspunkt zwischen den Varistoren und mit dem anderen Anschlussbein auf Erde. Damit ergibt sich jeweils zwischen L – Erde und N – Erde eine leckstrom-freie Reihenschaltung aus Varistor und Gasableiter. Auch diese Varistoren sind temperaturüberwacht. Hierbei wirkt die durch eine Überlastung verursachte Erwärmung des Varistors auf eine Abtrennvorrichtung, die den Varistor mechanisch vom Netz trennt, bevor gefährliche Temperaturen erreicht werden.



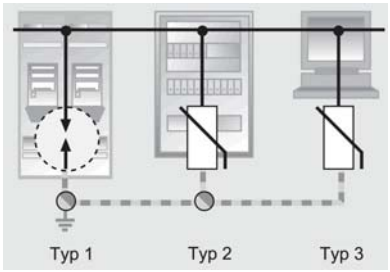
Typische Schutzschaltung eines Überspannungsableiters Typ 3.

Schutzstufenkonzept

Mit dem Begriff "Wirkungsvoller Schutzkreis" wird eine lückenlose Maßnahme zum Schutz vor Überspannungen bezeichnet. Der erste Schritt zur Erarbeitung eines solchen Schutzkonzepts ist die Erfassung aller schutzbedürftigen Geräte und Anlagenbereiche. Dann folgt die Bewertung des erforderlichen Schutzniveaus der erfassten Geräte. Grundsätzlich werden die verschiedenen Stromkreisarten nach folgenden Bereichen unterschieden: Stromversorgung, Mess-, Steuer-, Regeltechnik (MSR), Datenverarbeitung und Telekommunikation (Sende-/Empfangsgeräte).

Die zu schützende Anlage oder das zu schützende Gerät muss man sich innerhalb eines Schutzraums vorstellen. An allen Schnittpunkten "Leitung – Schutzkreis" sind SPDs (Überspannungsschutzeinrichtungen) zu installieren, die den Nenndaten des jeweiligen Stromkreises, bzw. der Schnittstelle des zu schützenden Gerätes entsprechen. Damit ist der Bereich innerhalb des Schutzkreises so gesichert, dass leitungsgebundene Überspannungseinkopplungen nicht mehr möglich sind.

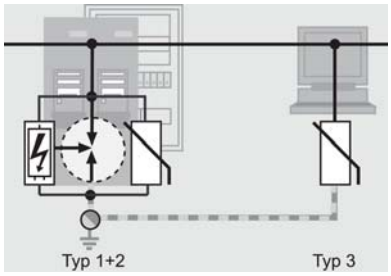
Dreistufiger Schutz für die Stromversorgung – Schutzstufen 1 und 2 getrennt installiert



Schutz-stufe	Bezeichnung	SPD Typ	Schutz-pegel	Üblicher Einbauort
1	Blitzstrom-ableiter	1	≤ 4 kV	Hauptverteilung
2	Überspan-nungsableiter	2	≤ 2,5 kV	Unterverteilung
3	Geräteschutz	3	≤ 1,5 kV	vor dem Endgerät

Für ein dreistufiges Konzept, bei dem alle SPDs an verschiedenen Einbauorten installiert werden, ergibt sich folgender Aufbau.

Dreistufiger Schutz für die Stromversorgung – Schutzstufen 1 und 2 kombiniert



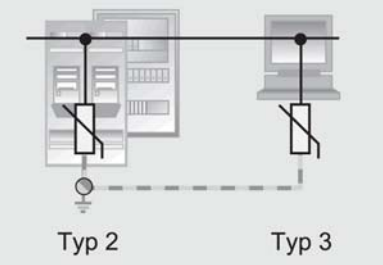
Schutz-stufe	Bezeichnung	SPD Typ	Schutz-pegel	Üblicher Einbauort
1+2	Ableiter-kombination	1+2	≤ 2,5 kV	Hauptverteilung
3	Geräteschutz	3	≤ 1,5 kV	vor dem Endgerät

Für einen dreistufigen Schutz, bei dem die erste und zweite Schutzstufe in einem Gerät kombiniert sind, ergibt sich folgender Aufbau. (nach dem AEC-Prinzip koordiniert)

Zweistufiger Schutz für die Stromversorgung bei geringem Gefährdungspotenzial

Das Gefährdungspotenzial in Bezug auf Blitzentladungen ist für niedrige Gebäude, die sich mitten in Wohnsiedlungen befinden und bei denen keine Blitzschutzanlage oder andere geerdete Metallkonstruktionen auf dem Dach installiert sind, relativ gering. Ein direkter Blitzeinschlag ist

hier, statistisch gesehen, nicht zu erwarten. Wenn diese Bedingungen nach gewissenhafter Prüfung und Beurteilung des Gefährdungspotenzials für das Objekt zutreffen, kann auf die Installation eines Blitzstromableiters Typ 1 verzichtet werden.



Schutz-stufe	Bezeichnung	SPD Typ	Schutz-pegel	Üblicher Einbauort
2	Überspan-nungsableiter	2	≤ 2,5 kV	Haupt- oder Unterverteilung
3	Geräteschutz	3	≤ 1,5 kV	vor dem Endgerät

Zweistufiger Schutz mit begrenztem Ableitvermögen ohne Blitzstromableiter.

Netzsysteme

Das Netzsystem der Stromversorgung bestimmt, welche Schutzgeräte erforderlich sind, um einen wirkungsvollen Schutz zu erreichen. Die Netzsysteme unterscheiden sich in erster Linie dadurch, ob der Sternpunkt des Versorgungstrafos geerdet ist, der PE-Leiter getrennt oder zusammen mit dem N-Leiter als PEN-Leiter mitgeführt wird. Weitere Unterscheidungen ergeben sich durch die Anzahl der Phasen, Spannungs- und Stromart, Frequenz und die Spannungshöhe.

Netzsysteme nach DIN VDE 0100-300:

- TN-S-System
- TN-C-System
- TT-System
- IT-System

Das TN-S-System

TN-S-System dreiphasig.

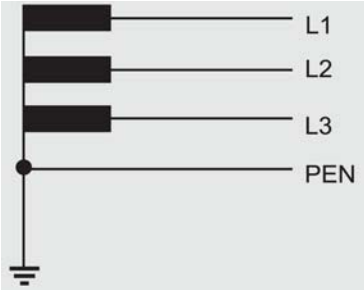
In diesem Netzsystem werden Neutralleiter (N) und Schutzleiter (PE) in jeweils einem separaten Leiter geführt. Eine dreiphasige Stromversorgung besteht also aus den fünf Leitungen: L1, L2, L3, N und PE.

Abhängig von den Verbraucheranforderungen werden Systeme mit 1 bis 3 Phasen aufgebaut.

TIPP:

Systeme, in denen N und PE getrennt werden, gelten aus Sicht der elektromagnetischen Verträglichkeit als weniger störanfällig als Systeme, in denen PEN-Leiter verwendet werden.

Das TN-C-System



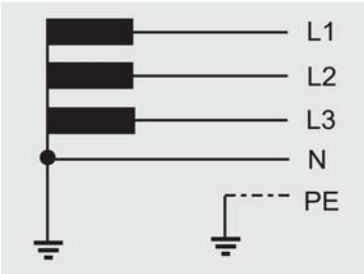
TN-C-System 3-phasig.

In diesem Netzsystem werden Neutralleiter (N) und Schutzleiter (PE) in einem Leiter (PEN) geführt. Eine 3-phasige Stromversorgung besteht also aus den vier Leitungen: L1, L2, L3 und PEN.
Zur Verwendung eines Leiters für Schutzzwecke und die Stromrückführung, also als PEN-Leiter, muss der Querschnitt dieses Leiters mindestens 10 mm^2 Cu oder 16 mm^2 Al betragen. Der Aufbau eines TN-C-Systems begrenzt sich dadurch schon auf Anwendungen mit hohen elektrischen Anschlusswerten, wie z. B. leistungsstarke Maschinen oder die zentrale Stromversorgung von Anlagen und Gebäuden.

Hinweis:

Aus Sicht der elektromagnetischen Verträglichkeit ist dieses System störanfälliger als Systeme, in denen N und PE getrennt verlegt sind, wie z. B. beim TN-S-System.

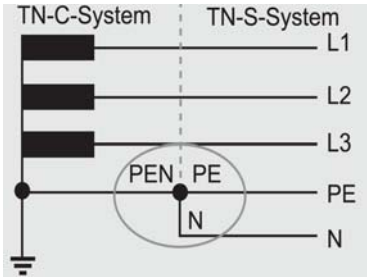
Das TT-System



TT-System 3-phasig.

In diesem Netzsystem ist ein Punkt, im Allgemeinen der Sternpunkt des Transformators, direkt geerdet (Betriebserder). Der geerdete Punkt wird in den meisten Fällen als N-Leiter in die Anlage geführt. Die Körper der elektrischen Anlage sind mit Erdern verbunden, die vom Betriebserder getrennt sind. Das heißt, direkt an einer Anlage oder einem Gebäude wird eine lokale Erdung aufgebaut. Diese Erdung dient als Hauptpotenzialausgleich.
In diesem Netzsystem werden Neutralleiter (N) und Schutzleiter (PE) in jeweils einem separaten Leiter geführt. Eine 3-phasige Stromversorgung besteht also aus den fünf Leitungen: L1, L2, L3, N und dem PE aus der lokalen Erdung.
Abhängig von den Verbraucheranforderungen werden Systeme mit 1 bis 3 Phasen aufgebaut.

Wandlung von Netzsystemen innerhalb einer Anlage



Wandlung eines 3-phasigen TN-C-Systems in ein 3-phasiges TN-S-System.

In der Praxis kommt es häufig vor, dass Netzsysteme innerhalb einer Anlage wechseln.
Beispiel: Wandlung eines TN-C-Systems in ein TN-S-System. In diesem Fall wird der PEN-Leiter in jeweils einen separaten PE-Leiter und einen N-Leiter aufgeteilt. Aus einem 4-Leiter-T-N-C-System (L1, L2, L3, PEN) wird somit ein 5-Leiter-TN-S-System (L1, L2, L3, N, PE).

Tipps zur Installation

Tipps zur Installation für Blitzstromableiter Typ 1
Der typische Einbauort für Blitzstromableiter Typ 1 als erste Schutzstufe ist die zentrale Stromversorgung von Gebäuden oder Anlagen. Der Anschlussquerschnitt gem. DIN EN 62305-1 beträgt min. 16 mm^2. Die Absicherung der Schutzgeräte ist nach den angegebenen Anschlusswerten des Herstellers auszulegen. Typisch für diese SPDs sind Sicherungswerte in Höhe von max. 250 A gG bis 315 A gG. Sind die Anlagen-Vorsicherungen größer ausgelegt, müssen den SPDs entsprechend kleinere, selektiv auf die Anlagensicherung abgestimmte Sicherungen vorgeschaltet werden.

Installationshinweise für Überspannungsableiter Typ 2
Der typische Einbauort für Überspannungsableiter Typ 2 als zweite Schutzstufe ist die Stromkreisverteilung/Unterverteilung oder die Einspeisung von Schaltschränken und Steuerungen an Maschinen. Die Schutzgeräte sind vor den Fehlerstromschutzeinrichtungen zu installieren. So werden die Kontakte des FI-Schutzschalters nicht durch die hohen Ableitströme belastet und unnötige Abschaltungen des sensiblen Summenstromwandlers vermieden.
Der Anschlussquerschnitt gem. DIN EN 62305-1 beträgt min. 6 mm^2. Die Absicherung der Schutzgeräte ist nach den angegebenen Anschlusswerten des Herstellers auszulegen. Typisch für diese SPDs sind Sicherungswerte in Höhe von max. 125 A gG. Sind die Anlagenvorsicherungen größer ausgelegt, müssen den SPDs entsprechend kleinere, selektiv auf die Anlagensicherung abgestimmte Sicherungen vorgeschaltet werden.

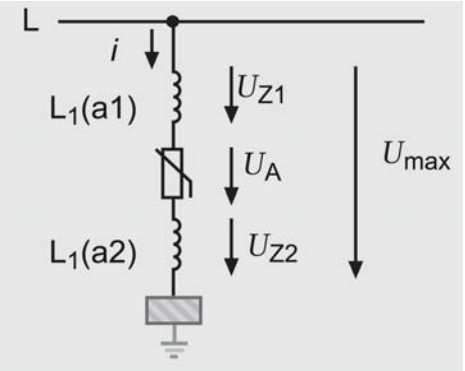
Installationshinweise für Überspannungsableiter Typ 3 (Geräteschutz)

Die Überspannungsableiter Typ 3 werden unmittelbar vor dem zu schützenden Gerät installiert. Damit wird verhindert, dass erneut Überspannungen in die bereits geschützte Leitung einkoppeln. Aus diesem Grund ist auch darauf zu achten, dass bereits geschützte lose Anschlussleitungen des Geräts nicht parallel mit ungeschützten Leitungen geführt werden.

Bei der Absicherung eines Stromkreises ist auch der Nennstrom der installierten Überspannungsschutzgeräte zu berücksichtigen. Im Allgemeinen ist der Nennstrom der Schutzgeräte den praktischen Anwendungsfällen so angepasst, dass übliche Stromkreissicherungen verwendet werden können, wie z. B. 16 A.

Leitungslängen und Zusatzspannung

Zusatzspannungen entstehen aufgrund von Stoßströmen bzw. Blitzteilströmen über den Anschlussleitungen der Schutzgeräte. Der ohmsche Widerstand einer Leitung spielt beim Überspannungsschutz nur eine untergeordnete Rolle. Der induktive Anteil der Leitungen wirkt sich jedoch aus. Die großen Stromänderungen in kürzester Zeit verursachen im induktiven Anteil einer Leitung Spannungen bis zu einigen kV. Bei objektiver Beurteilung der Gefährdung des betreffenden Anlagenteils sind die Zusatzspannungen zu ermitteln und zur Begrenzungsspannung des Schutzgeräts zu addieren.



Spannungen über den Anschlussleitungen des SPDs. Darstellung der Zusatzspannung.

UA = Restspannung
U_{Z1} und U_{Z2} = induktive Zusatzspannungen
U_{max} = maximale Überspannung zwischen stromführendem Leiter und Potenzialausgleichschiene
i = Blitzteilstrom

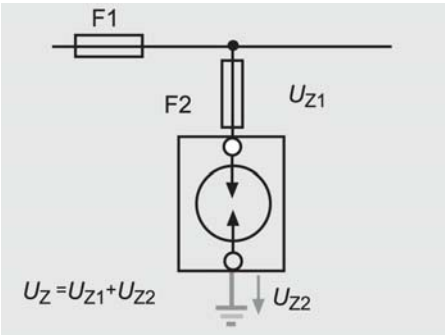
Absicherung von Überspannungsschutzgeräten

Die Absicherung der Schutzgeräte ist nach den angegebenen Anschlusswerten des Herstellers auszulegen. Sind die Anlagen-Vorsicherungen größer ausgelegt, müssen den Ableitern entsprechend kleinere, selektiv auf die Anlagensicherung abgestimmte Sicherungen vorgeschaltet werden.

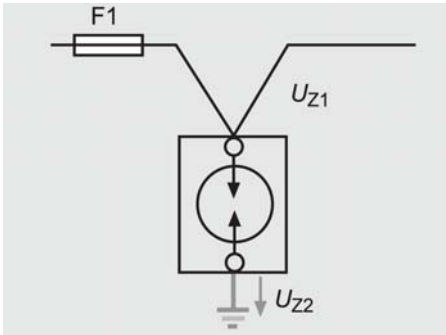
Stichleitung und V-förmiger Anschluss, T- / V- Verdrahtung

Man unterscheidet insbesondere bei Blitzstromableitern Typ 1 zwischen Stichleitungsanschluss und V-förmigem Anschluss. Beim Stichleitungsanschluss werden über eine Leitung die Ableiteranschlüsse mit dem Hauptstromversorgungssystem verbunden. Es ergibt sich eine T-förmige Anschlussgeometrie. Bei dieser Anschlussart kann die Anlagenvorsicherung F1 größer sein, als die max. zulässige Vorsicherung des Ableiters F2. Der Ableiter wird zusätzlich im Leitungsstich entsprechend separat abgesichert. Wenn die Vorsicherung F2 abschaltet, ist der zugehörige Schutzpfad und damit die Schutzwirkung vom Netz getrennt. Darum sollte F2 gegen Ausfall überwacht werden, damit der Fehler schnell erkannt und behoben werden kann. Gleichzeitig sollte die Funktionsfähigkeit des SPDs überprüft werden.

Beim V-förmigen Anschluss werden die kommenden und abgehenden Leitungen jeweils direkt an einer Klemme des Schutzgerätes angeschlossen. Mögliche Zusatzspannungen U_z werden damit auf ein Minimum begrenzt. In diesem Fall darf die Anlagensicherung die max. Vorsicherung des Ableiters nicht überschreiten. Diese Anschlussmöglichkeiten können auch auf Ableiterkombinationen Typ 1+2 und auf Überspannungsableiter Typ 2 angewendet werden.



Stichleitungsanschluss (T-förmiger Anschluss)



V-förmiger Anschluss

Fernmeldung

Viele Schutzgeräte verfügen zusätzlich über einen Fernmeldekontakt. Dieser Kontakt kann dazu benutzt werden, ein Signal an eine zentrale Meldestelle oder Steuerung zu leiten. Der Betriebszustand des Schutzgeräts kann damit permanent überwacht werden.

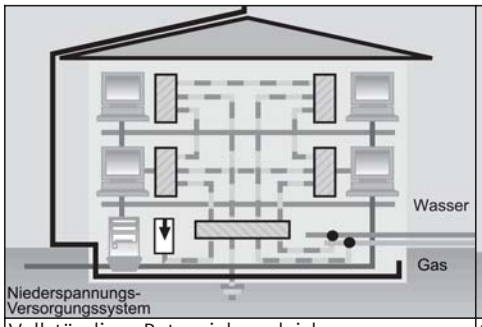
Potenzialausgleich

Möglichkeiten eines wirkungsvollen Überspannungsschutzes:

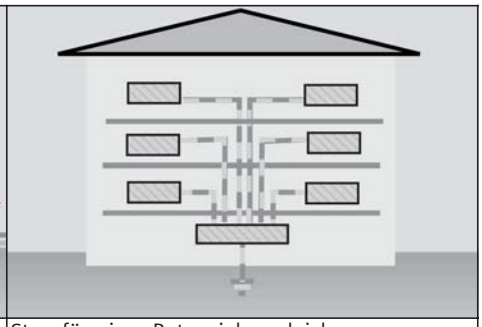
- vollständige Isolierung gegen Erde
- vollständiger Potenzialausgleich (nach Gefährdungsanalyse):
  - äußerer Blitzschutz (Blitzableiter) plus innerer Blitzschutz (Blitzstrom- und Überspannungsableiter)
  - innerer Blitzschutz (Blitzstrom- und Überspannungsableiter)
  - innerer Überspannungsschutz (Überspannungsableiter)

Eine vollständige Isolierung gegen Erde ist für viele praktische Anwendungen nicht möglich. Deshalb wird im Regelfall ein vollständiger Potenzialausgleich aufgebaut. Beim vollständigen Potenzialausgleich werden alle elektrisch leitfähigen Teile (mit Ausnahme der betriebsmäßig Spannung führenden Teile) direkt mit Potenzialausgleichsleitungen verbunden. Die elektrisch aktiven Teile (mit Netzspannung, MSR-Signalen, Datensignalen, etc.) werden mit Hilfe von Überspannungsschutzgeräten an das Potenzialausgleichsystem angeschlossen. Im normalen Betriebszustand sind Überspannungsschutzgeräte hochohmig. Wenn es zu einer transienten Überspannung kommt, werden die Schutzgeräte kurzzeitig niederohmig, d.h. leitfähig. So werden alle elektrisch leitfähigen Teile und alle elektrisch aktiven Teile auf annähernd gleiches Potenzial gebracht und Überspannungsschäden wirkungsvoll verhindert.
Basis für einen wirkungsvollen Potenzialausgleich ist ein niederohmiges bzw. niederimpedantes Potenzialausgleichsystem. Bei Potenzialausgleichsystemen unterscheidet man:

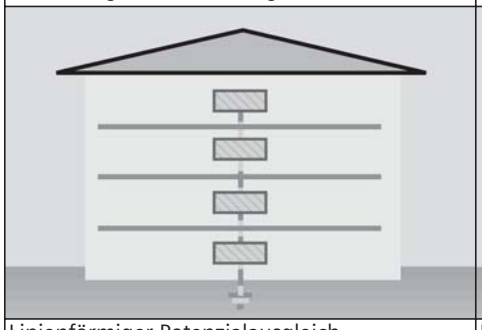
- linienförmiger Potenzialausgleich
- sternförmiger Potenzialausgleich
- maschenförmiger Potenzialausgleich



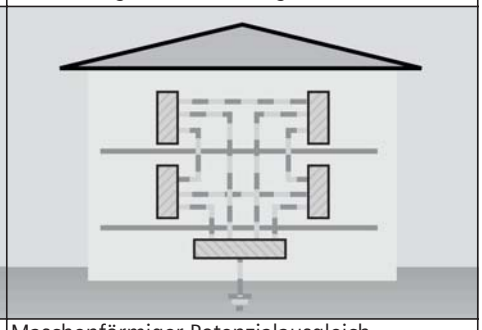
Vollständiger Potenzialausgleich



Sternförmiger Potenzialausgleich



Linienförmiger Potenzialausgleich



Maschenförmiger Potenzialausgleich

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen

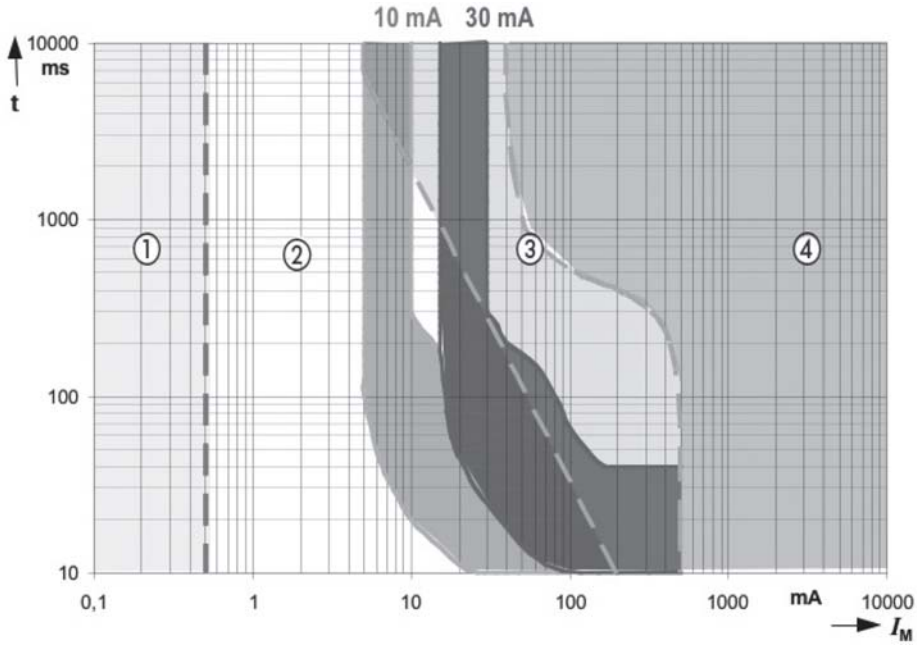
Schutz durch Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen

Beachte:

In Verbraucheranlagen ist in punkto Sicherheit den Fehlerstrom-(FI-)Schutzeinrichtungen uneingeschränkt der Vorzug gegenüber alternativen Schutzeinrichtungen zu geben.

Über den Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) hinaus bieten FI-Schutzeinrichtungen mit Bemessungsdifferenzströmen bis 30 mA auch den "zusätzlichen Schutz" (Schutz bei direktem Berühren). Auch Brände durch Erdschlussströme können im Entstehen verhindert werden.
Bei Ausführung der Schutzmaßnahme "Automatische Abschaltung der Stromversorgung" mit einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung ist die Grundvoraussetzung, dass ein entsprechend geerdeter Schutzleiter an die zu schützenden Anlagenteile und Betriebsmittel geführt ist. Ein Stromfluss über einen Menschen kann dann nur beim Auftreten von zwei Fehlern (zusätzlich zum Isolationsfehler auch Unterbrechung des PE-Leiters) oder beim unbeabsichtigten Berühren aktiver Teile auftreten.

Zusätzlicher Schutz (Schutz bei direktem Berühren) mit $I_{\Delta n} \leq 30$ mA
Unter direktem Berühren versteht man den direkten Kontakt eines Menschen mit einem betriebsmäßig unter Spannung stehenden aktiven Teil. Sofern ein Mensch aktive Teile berührt, bestimmen zwei in Reihe liegende Widerstände die Höhe des fließenden Stroms – der Innenwiderstand des Menschen R_m und der Standortübergangswiderstand R_{st}.
Für die Unfallbetrachtung muss der ungünstigste Fall mit Standortwiderstand nahe null angenommen werden. Der Körperwiderstand ist abhangig vom Stromweg und dem Übergangswiderstand der Haut. Messungen ergaben z. B. ca. 1.000 Ω für den Stromweg Hand/Hand oder Hand/Fuß.
Unter diesen Annahmen ergibt sich bei einer Berührungsspannung von 230 V ein gefährlicher Körperstrom von 230 mA. Gefährlich sind Stromstärken und Einwirkungsdauern, die in den Bereich 4 des Diagramms reichen. Hier kann es durch Herzkammerflimmern zum Tod des Betroffenen kommen. Eingetragen sind auch die Auslösebereiche von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit Bemessungsdifferenzstrom von 10 mA und 30 mA. Dabei sind die max. zulässigen Auslösezeiten nach VDE 0664-10 eingetragen. Wie aus den Auslösekurven zu entnehmen ist, begrenzen Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen nicht die Höhe des Fehlerstroms, sondern erzielen die Schutzwirkung durch die rasche Abschaltung und damit geringe Einwirkungsdauer des Stroms.



Wirkungsbereiche von Wechselstrom 50/60 Hz auf den Menschen

Bereich 1: Einwirkungen sind üblicherweise nicht wahrnehmbar.
Bereich 2: Medizinisch schädliche Einwirkungen und Muskelverkrampfungen treten üblicherweise nicht auf.
Bereich 3: Muskelverkrampfungen können auftreten. Die Gefahr des Herzkammerflimmerns besteht üblicherweise nicht.
Bereich 4: Herzkammerflimmern kann auftreten.

Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit einem Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} \leq 10$ mA liegen mit der Auslösekennlinie im Bereich 2 unterhalb der Loslassgrenze. Medizinisch schädliche Einwirkungen und Muskelverkrampfungen treten üblicherweise nicht auf. Sie sind damit besonders für sensitive Bereiche wie Badezimmer geeignet.
Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit einem Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} \leq 30$ mA erfüllen die Bedingungen zum zusätzlichen Schutz gegen elektrischen Schlag:

- bei unbeabsichtigtem, direktem Berühren betriebsmäßig unter Spannung stehender Teile (z. B.: Versagen der Basisisolierung, nicht bestimmungsgemäßer Betrieb, Unwirksamkeit des Basisschutzes)
- bei Sorglosigkeit des Benutzers (z. B. Verwendung defekter Geräte, unsachgemäße Reparaturen an Anlagen und Betriebsmitteln),
- beim Berühren fehlerhaft unter Spannung stehender Teile (z. B. Versagen des Fehlerschutzes bei Unterbrechung des Schutzleiters)

Der Einsatz von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit einem Bemessungsdifferenzstrom bis 30 mA hat sich dabei als zusätzlicher Schutz beim Versagen der Basisschutzvorkehrung (Schutz gegen direktes Berühren) und/oder Fehlerschutzvorkehrung (Schutz bei indirektem Berühren) ebenso wie bei Sorglosigkeit des Benutzers im Umgang mit elektrischen Betriebsmitteln bewahrt. Allerdings darf dies nicht das

alleinige Mittel des Schutzes gegen elektrischen Schlag sein. Die Anwendung einer nach DIN VDE 0100-410 geforderten weiteren Schutzmaßnahme wird damit nicht ersetzt. Die Forderung des "zusätzlichen Schutzes" mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen nach den Abschnitten 411.3.3 und 415.1 in DIN VDE 0100-410 bedeutet nicht, dass die Anwendung dieses Schutzes dem Anwender freigestellt ist. Vielmehr kann dieser zusätzliche Schutz unter bestimmten äußeren Einflüssen und in bestimmten speziellen Bereichen gemeinsam mit weiteren Schutzmaßnahmen gefordert sein.
In mehreren Teilen der Normen der Gruppen 4 und 7 von DIN VDE 0100 wird dieser zusätzliche Schutz gefordert oder ausdrücklich empfohlen. Beispielhaft werden hier einige bedeutsame Anforderungen näher erläutert.

In der allgemein gültigen Errichtungsnorm für den Schutz gegen elektrischen Schlag DIN VDE 0100-410:2007-06 wird für den zusätzlichen Schutz der Einsatz von FI-Schutzeinrichtungen mit Bemessungsdifferenzstrom ≤ 30mA gefordert für

- alle Steckdosen mit einem Bemessungsstrom ≤ 20 A, wenn diese für die Benutzung durch Laien und zur allgemeinen Verwendung bestimmt sind.
- Endstromkreise für im Außenbereich verwendete tragbare Betriebsmittel mit einem Bemessungsstrom ≤ 32 A .

Hinweis:

In DIN VDE 0100-410:06-2007 werden zu diesen Forderungen zwar zwei Ausnahmen genannt, diese sind aber für die Mehrzahl der Anwendungen üblicherweise nicht zutreffend. Nur bei Steckdosen, die ausschließlich durch Elektrofachkräfte und elektrotechnisch unterwiesene Personen benutzt werden (z.B. in elektrischen Betriebsstatten) oder wenn sichergestellt ist, dass die Steckdose dauerhaft nur für ein "bestimmtes Betriebsmittel" genutzt wird, darf von der normativen Forderung des zusätzlichen Schutzes abgewichen werden.

In der Norm DIN VDE 0100-723:2005-06 "Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art - Unterrichtsräume mit Experimentiereinrichtungen" müssen zur Versorgung der Experimentiereinrichtungen und deren Stromkreise in TN- oder TT-Systemen Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen des Typs B mit einem Bemessungsdifferenzstrom ≤ 30mA vorgesehen werden.

Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren)
Unter indirektem Berühren versteht man den Kontakt eines Menschen mit einem betriebsmäßig nicht unter Spannung stehenden, elektrisch leitfähigen Teil. Gefordert ist in diesen Fällen die automatische Abschaltung der Stromversorgung, wenn durch einen Fehler aufgrund der Größe und Dauer der auftretenden Berührungsspannung ein Risiko entstehen kann. Hierzu sind auch Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit Bemessungsdifferenzströmen über 30 mA geeignet. Um die Schutzwirkung zu erzielen, sind die Abschaltbedingungen einzuhalten. Hierzu darf die gefährliche Berührungsspannung unter Berücksichtigung des Erdungswiderstands und Bemessungsdifferenzstroms nicht unzulässig lange anstehen.

Brandschutz
DIN VDE 0100-482 fordert für "feuergefährdete Betriebstätten" Maßnahmen zur Verhütung von Bränden, die durch Isolationsfehler entstehen können. Danach müssen Kabel- und Leitungsanlagen in TN- und TT-Systemen mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit einem Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} \leq 300$ mA geschützt werden.

TIPP:
Ausgenommen sind davon mineralisierte Leitungen und Stromschienensysteme.

Bei Anwendungen, in denen widerstandsbehaftete Fehler einen Brand entzünden können (z. B. bei Deckenheizungen mit Flächenheizelementen), muss der Bemessungsdifferenzstrom $I_{\Delta n} \leq 30$ mA betragen. Der Schutz vor Bränden durch Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen sollte aber nicht nur auf die feuergefährdeten Betriebsstätten beschränkt bleiben, sondern grundsätzlich genutzt werden.

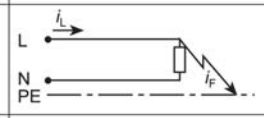
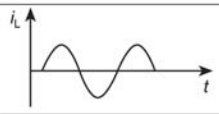
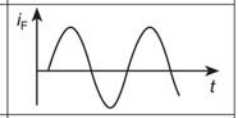
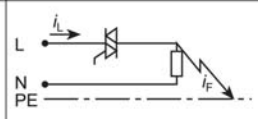
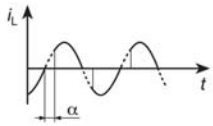
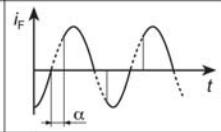
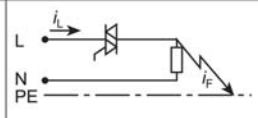
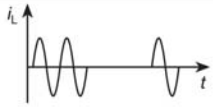
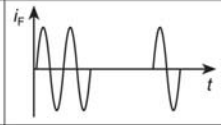
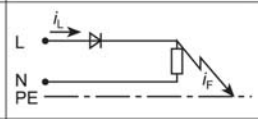
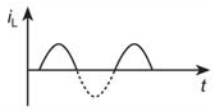
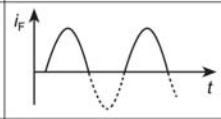
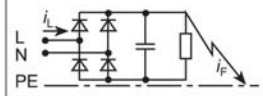
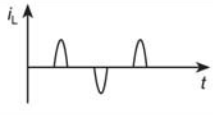
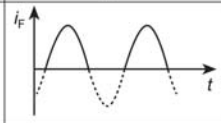
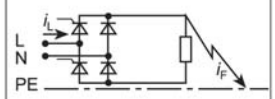
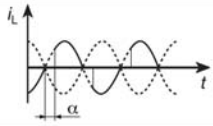
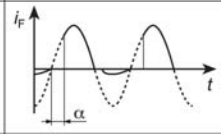
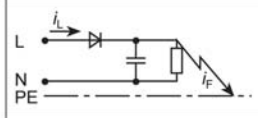
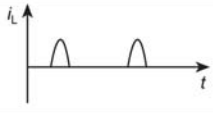
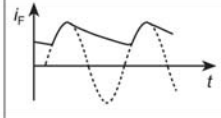
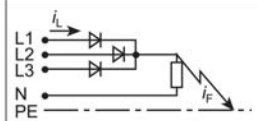
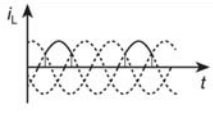
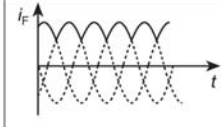
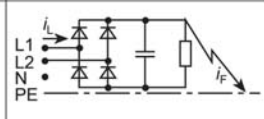
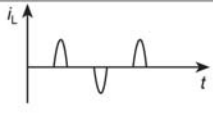
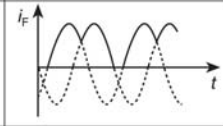
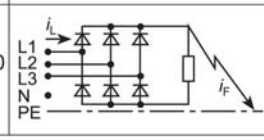
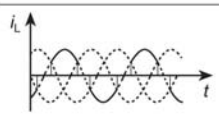
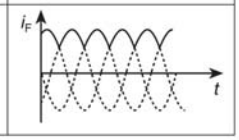
Fehlerstromschutzeinrichtungen

Je nach elektronischer Schaltung im Stromkreis können unterschiedliche Fehlerstromformen auftreten. Da sich FI-Schutzeinrichtungen in ihrer Eignung für die Erfassung von Fehlerstromformen unterscheiden, ist bei ihrer Auswahl der entsprechende Verbrauchereingangskreis zu berücksichtigen.

Einteilung der Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen in unterschiedliche Typen mit Auslösebereichen.

Stromform	Ordnungsgemäße Funktion von FI-Schutzeinrichtungen des Typs AC	A	B	Auslösestrom
~	•	•	•	0,5 bis 1,0 $I_{\Delta n}$
	–	•	•	0,35 bis 1,4 $I_{\Delta n}$
	–	•	•	Anschnittwinkel 90°: 0,25 bis 1,4 $I_{\Delta n}$
		•	•	Anschnittwinkel 135°: 0,11 bis 1,4 $I_{\Delta n}$
	–	•	•	max. 1,4 $I_{\Delta n}$ + 6 mA
⎓	–	–	•	0,5 bis 2,0 $I_{\Delta n}$

Mögliche Fehlerstromformen und geeignete Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen

Geeigneter FI-Typ				Schaltung	Laststrom	Fehlerstrom
B	A	AC	1			
			2			
			3			
			4			
			5			
			6			
			7			
			8			
			9			
			10			

Typ AC:
Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen Typ AC sind lediglich zur Erfassung von sinusförmigen Wechselfehlerströmen geeignet. Dieser Gerätetyp ist in Deutschland entsprechend DIN VDE 0100-530 nicht zur Realisierung der Schutzmaßnahme mit FI-Schutzeinrichtung zugelassen und kann kein VDE-Zeichen erhalten.

Typ A:
Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen Typ A erfassen neben sinusförmigen Wechselfehlerströmen auch pulsierende Gleichfehlerströme. Dieser Gerätetyp ist in Deutschland die üblicherweise eingesetzte pulsstrom-sensitive Fehlerstrom-Schutzeinrichtung. Damit werden auch die bei einphasigen Verbrauchern mit elektronischen Bauteilen im Netzteil (z. B. EVG, Dimmer) möglichen Fehlerstromformen beherrscht. Dieser Typ von FI-Schutzeinrichtungen ist geeignet für elektronische Betriebsmittel mit Eingangsstromkreisen Nr. 1 bis 6 in der Tabelle.

Typ B:
Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen Typ B dienen, neben der Erfassung der Fehlerstromformen des Typs A, auch zur Erfassung von glatten Gleichfehlerströmen. Die Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen dieses Typs sind für den Einsatz im Drehstromsystem mit 50/60 Hz auch vor den Eingangsstromkreisen Nr. 7 bis 10 in der Tabelle und damit für alle dargestellten Stromkreise geeignet.

Einteilung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen
FI-Schutzeinrichtungen werden entsprechend ihrer unterschiedlichen Ausführung unterteilt.

- RCD ist der Oberbegriff für alle Arten von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (MRCD, CBR, RCCB, RCBO, PRCD, SRCD).
- RCCB sind die in Deutschland unter dem Namen Fehlerstrom-Schutzschalter (FI-Schutzschalter) bekannten Geräte ohne eingebaute Überstrom-Schutzeinrichtung.

RCBO:
RCBO sind Geräte, die neben dem Schutz vor Fehlerströmen auch eine eingebaute Überstrom-Schutzeinrichtung für den Überlast- und Kurzschlussschutz in einem Gerät vereinen (FI/LS-Schalter). Eine weitere Version in dieser Gerätegruppe sind die Fehlerstrom-Blöcke (FI-Blöcke, RC units). An diese FI-Blöcke können dann vom Kunden die für den Anwendungsfall gewünschten Ausführungen von Leitungsschutzschaltern (Charakteristik, Bemessungsstrom, Schaltvermögen) angebaut werden. Nach diesem Zusammenbau bieten

diese Geräte die gleichen Funktionen wie die FI/LS-Schalter. Dabei beinhaltet der FI-Block die Fehlerstromerfassung, aber keine eigenen Kontakte, sondern löst über die Kopplung im Fehlerfall den Leitungsschutzschalter aus, der die Kontakte öffnet und den Stromkreis trennt.

Hinweis:

RCCB und RCBO sind bezüglich der Auslösebedingungen für wechsel- und pulsierende Fehlerströme (Typ A) in Deutschland und in den meisten europäischen Ländern für die Schutzmaßnahme mit Abschaltung nur in netzspannungsunabhängiger Ausführung zugelassen. Nur derartige RCCB und RCBO können das VDE-Zeichen erhalten.

CBR:
CBR sind Leistungsschalter mit Fehlerstromschutz nach DIN EN 60947-2 (VDE 0660-101) Anhang B. Hier wird die Fehlerstrom-Erfassung fest an einen Leistungsschalter angebaut und stellt so den Fehlerstromschutz sicher.

MRCD:
MRCD sind Geräte, die modular aufgebaut sind, das heißt Fehlerstrom-Erfassung (über Wandler), Auswertung und Auslösung (über Leistungsschalter) erfolgen in getrennten Baugruppen (entsprechend DIN EN 60947-2 (VDE 0660-101) Anhang M).

Hinweis:

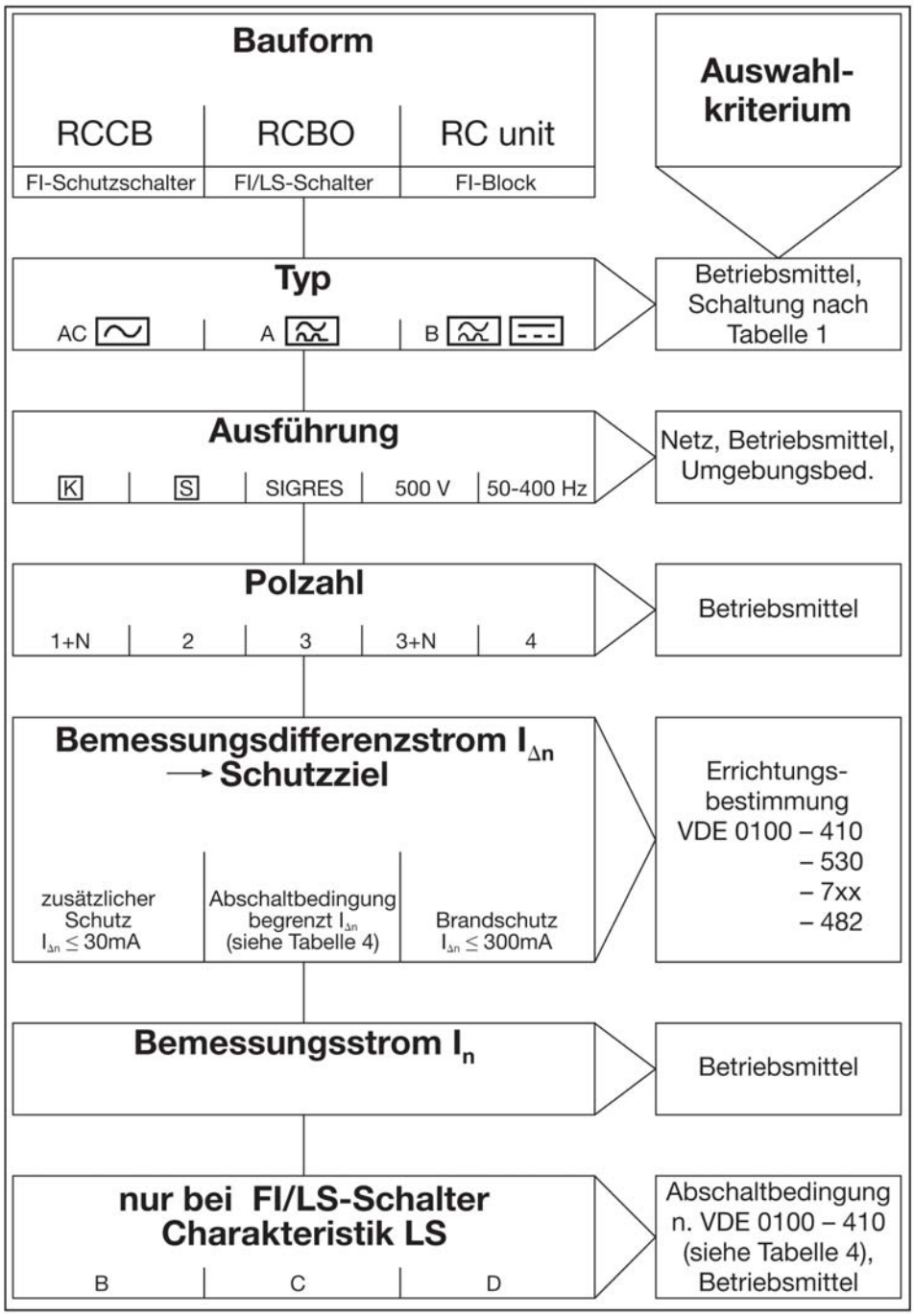
CBR und MRCD sind insbesondere für Anwendungen mit höheren Bemessungsströmen (> 125 A) vorgesehen.

PRCD:
PRCD sind ortsveränderliche Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen, die z. B. in Stecker oder in Steckdosenleisten integriert sind.

SRCD:
SRCD nach DIN VDE 0662 sind ortsfeste Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen, die in eine Steckdose eingebaut sind bzw. mit einer Steckdose eine Baueinheit bilden.

Hinweis:

PRCD und SRCD sind zur Schutzpegelerhöhung bei Anwendungen, in denen die geforderte Schutzmaßnahme auf andere Weise sichergestellt ist, einsetzbar. Für die Realisierung einer Schutzmaßnahme mit Abschaltung sind sie nicht zugelassen.



Auswahl der geeigneten Fehlerstrom-Schutzeinrichtung.

Installations- und Anwendungstipps

Ableitströme

Unter Ableitströmen versteht man Ströme, die zur Erde abfließen, ohne dass ein Isolationsfehler vorliegt. Sie können als statische oder dynamische Ableitströme auftreten und bei Überschreitung des Auslösewerts den FI-Schutzschalter zum Abschalten veranlassen. Sie sind deshalb bei der Auswahl des Bemessungsdifferenzstroms $I_{\Delta n}$ des FI-Schutzschalters zu berücksichtigen und erforderlichenfalls so zu minimieren, dass das gewünschte Schutzziel zu erreichen ist.

- Statische Ableitströme
  Statische Ableitströme fließen beim Betrieb des Verbrauchers ohne Vorliegen eines Isolationsfehlers ständig gegen Erde/PE-Leiter ab. Häufig handelt es sich dabei zu einem hohen Anteil um Ableitströme über Leitungs- und Filterkapazitäten. In bestehenden Anlagen kann der stationäre Ableitstrom mithilfe eines Ableitstrom-Messgeräts gemessen werden. Für einen problemlosen Betrieb von FI-Schutzeinrichtungen im praktischen Einsatz sollte der stationäre Ableitstrom $\leq 0{,}3 \bullet I_{\Delta n}$ sein.

- Dynamische Ableitströme
  Bei dynamischen Ableitströmen handelt es sich um kurzzeitig auftretende Ströme gegen Erde/PE-Leiter. Insbesondere beim Schalten von Geräten mit Filterbeschaltungen treten diese Ableitströme im Bereich von wenigen µs bis in den ms-Bereich auf. Die Zeitdauer hängt neben der Zeitkonstante, die sich aus Impedanzen des Stromkreises ergibt, insbesondere vom Schaltgerät ab, mit dem der Filter an Spannung gelegt wird. Durch die ungleichmäßige Kontaktgabe der einzelnen Schaltkontakte ergeben sich je nach Aufbau der Filterbeschaltung kurzzeitig große Kapazitätswerte gegen PE, die sich nach vollständigem Einschalten durch Sternschaltung der Kapazitäten auf kleine Restkapazitäten gegen PE verringern.
  Die Höhe dieser dynamischen Ableitströme kann einige Ampere betragen und somit auch unverzögerte FI-Schutzschalter mit $I_{\Delta n}$ = 300 mA zum Auslösen bringen. Der Spitzenwert des dynamischen Ableitstroms ist oszilloskopisch im PE-Leiter zu ermitteln. Dabei ist auf eine isolierte Aufstellung der Betriebsmittel zu achten, so dass der gesamte Ableitstrom über den Messpfad zurückfließen kann. Um ungewünschte Auslösungen in diesen Anwendungsfällen zu vermeiden, wird der Einsatz von superresistenten FI-Schutzeinrichtungen (Typ K) empfohlen.

Hohe Lastströme

Auch ohne Ableitströme kann es zu ungewollten Auslösungen eines FI-Schutzschalters durch hohe Lastströme (> 6-facher I_n) kommen. Durch diese hohen Laststromspitzen kann es aufgrund der nicht absolut symmetrisch angeordneten Primärleiter und nicht vollständig geschlossenen Sekundärwicklung auf dem Umfang des FI-Summenstromwandlers zu unterschiedlichen Magnetisierungen im magnetischen Bandkern kommen, die ein Auslösesignal erzeugen. Auch direkte Einstrahlungen des magnetischen Felds um den stromführenden Leiter auf den Haltemagnet-Auslöser können zur Auslösung führen. FI-Schutzschalter sind nach Produktnorm bis zum 6-fachen Bemessungsstrom gegen ungewolltes Auslösen resistent.

Hinweis:

Hohe Laststromspitzen werden insbesondere beim Direktanlauf von Motoren, Lampenlasten, Heizwicklungen, kapazitiven Lasten (Kapazitäten zwischen L und N) und beim Betrieb von medizinischen Geräten wie Kernspintomograf, Röntgenanlagen erzeugt.

Überspannungen und Stoßstrombelastung

Bei Gewittern können atmosphärische Überspannungen in Form von Wanderwellen über das Versorgungsnetz in die Installation einer Anlage eindringen und dabei Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen ungewollt auslösen. Zur Vermeidung dieser unerwünschten Abschaltungen werden Siemens Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen einer Prüfung mit der genormten Stromform 8/20 µs unterzogen. Diese Prüfung ist in den Gerätebestimmungen DIN EN 61008 (VDE 0664) nur für selektive Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (i = 3 kA) gefordert. Siemens Fehlerstrom-Schutzschalter des Typs A und B bieten in allen Ausführungen eine deutlich höhere Stoßstromfestigkeit. Dadurch sinkt die Neigung zu Fehlauslösungen in der Praxis deutlich.

Ableitstrommessung

Wenn durch eine nicht fachgerechte Anlagenprojektierung, d. h. aufgrund einer hohen Anzahl an elektrischen Verbrauchern, eine Häufung der betriebsmäßigen Ableitströme auftritt oder elektrische Verbraucher mit hohen Ableitströmen eingesetzt sind, kann je nach Betriebszustand der elektrischen Anlage der Auslösestrom der vorgeschalteten Fehlerstrom-Schutzeinrichtung überschritten werden. Diese Auslösungen sind ungewollt.
Als Empfehlung für den praktischen Betrieb ohne ungewollte Auslösungen von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen gilt, dass der im ungestörten Betrieb in der Anlage fließende Ableitstrom kleiner als der

0,3-fache Bemessungsdifferenzstrom sein soll. Um den Anlagenzustand einfach erfassen und gegebenenfalls auch überwachen zu können, lässt sich ein Ableitstrom-Messgerät in Reihe zur Fehlerstrom-Schutzeinrichtung in die Anlage schalten. Mit diesem Gerät kann der in der Anlage während des normalen Betriebs fließende Ableitstrom gemessen werden. Die Funktion des Ableitstrom-Messgeräts ist dabei dieselbe wie bei der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung. Es erfolgt lediglich keine Abschaltung, sondern der Ableitstrom wird über die von vorne zugänglichen Messbuchsen in eine Spannung umgewandelt, die über einem hochohmigen Spannungsmessgerät abgelesen werden kann. Die mitgelieferte Eichkurve erlaubt den Rückschluss auf den Ableitstrom.

Hinweis:

Aus Gründen des grundsätzlichen Brandschutzes wird der Einsatz von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit maximal 300 mA Bemessungsdifferenzstrom empfohlen.

Errichtungsbestimmungen für Installationsanlagen mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen

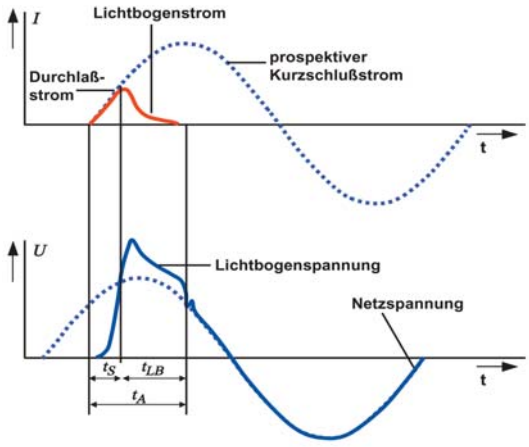
Bestimmung (DIN VDE ... oder BGI ...)	Anwendungsbereich	Geforderter $I_{\Delta n}$ (mA)	Empfohlene Siemens FI-Schutzeinrichtung		
			5SM... (Typ A)	5SM3 SIQUENCE (Typ B)	5SM...-KK12 SIGRES
0100-410	Schutz gegen elektrischen Schlag	30 ... 500	+	+	+
	Steckdosen bis 20 A, Anlagen im Freien	10 ... 30	+		
0100-482	Brandschutz bei besonderen Risiken oder Gefahren	30 und 300	+	+	
0100-551	Niederspannungs-Stromerzeugungsanlagen	10 ... 30	+		
0100-701	Räume mit Badewanne oder Dusche, Steckdosen im Bereich 3	10 ... 30	+		
0100-702	Becken von Schwimmbädern und andere Becken	10 ... 30	+		+
0100-703	Räume und Kabinen mit Saunaheizungen	10 ... 30	+		+
0100-704 und BGI 608	Baustellen, Steckdosenstromkreise bis 32 A und für handgehaltene Betriebsmittel, Steckvorrichtungen $I_n > 32$ A	≤ 30 mA ≤ 500 mA	+ +	+ +	+ +
0100-705	Landwirtschaftliche und gartenbauliche Anwesen allgemein, Steckdosenstromkreise	≤ 300 10 ... 30	+ +		+ +
0100-706	Leitfähige Bereiche mit begrenzter Bewegungsfreiheit festangebrachte Betriebsmittel	10 ... 30	+		
0100-708	Elektrische Anlagen auf Campingplätzen, jede Steckdose einzeln	10 ... 30	+		+
0100-710	Medizinisch genutzte Bereiche im TN-S-System je nach Anwendungsgruppe 1 oder 2 und nach Betriebsmittel	10 ... 30 oder ≤ 300	+ +	+ +	
0100-712	Solar-PV-Stromversorgungssysteme (ohne einfache Trennung)	≤ 300		+	
0100-723	Unterrichtsräume mit Experimentierständen	10 ... 30		+	
0100-739	Zusätzlicher Schutz bei direktem Berühren in Wohnungen	10 ... 30	+		
DIN EN 50178 (VDE 0160)	Ausrüstung von Starkstromanlagen mit elektronischen Betriebsmitteln	Allgemeine Anforderungen an korrekte Auswahl	+	+	
0832-100	Straßenverkehrs-Signalanlagen Klasse T1 Klasse U1	 ≤ 300 ≤ 30	 + +		 + +
	Nahrungsmittel- und chemische Industrie	empfohlen ≤ 30 mA	+		+

Grundlagen von Sicherungssystemen

Funktion, Technische Daten und Kennlinien
Sicherungen oder genauer, die Engstellen im Schmelzleiter, sind die "Sollbruchstellen" des Stromkreises. Sie erwärmen sich schneller und stärker als alle anderen Stellen im Leitungszug und schmelzen bei richtiger Dimensionierung bevor andere Komponenten durch einen Überstrom Schaden nehmen können. Der Restquerschnitt (Summe aller parallelen Engstellen) einer Sicherung für den Kabel- und Leitungsschutz (gG-Sicherung) beträgt nur etwa 1 bis 2 % des Querschnitts der angeschlossenen zu schützenden Leiter.
Bei Sicherungen für den Halbleiterschutz (aR oder gR-Sicherung) liegt er sogar noch deutlich darunter. Es lässt sich leicht erkennen, dass für die Herstellung der Engstellen und des gesamten Schmelzleiters größte Präzision der Fertigungseinrichtungen und enge Toleranzen des Schmelzleitermaterials erforderlich sind. Temperaturmessungen an den Engstellen der Schmelzleiter sind technisch sehr aufwändig und wenig genau. Deshalb werden in den Siemens Entwicklungslabors numerische Berechnungen der Temperaturverteilung im Schmelzleiter durchgeführt, die besonders im Kurzzeitbereich eine sehr gute Vorhersage des Schmelzverhaltens ermöglichen. Sobald ein unzulässiger Überstrom lange genug fließt, um die Engstellen zu schmelzen, bilden sich dort Lichtbögen und die Stromunterbrechung wird eingeleitet.

Bei Kurzschlussströmen (sehr großen Überströmen) erwärmen sich alle Engstellen gleichzeitig so schnell, dass sie explosionsartig verdampfen. Der Metalldampf wird mit hohem Druck in die Zwischenräume zwischen den Sandkörnern gepresst und an deren Oberfläche intensiv gekühlt. Hierdurch wird der Druck im Inneren der Sicherung begrenzt. Die Korngröße des Sandes und der Füllfaktor spielen dabei eine ausschlaggebende Rolle für den erfolgreichen Verlauf des Ausschaltvorgangs.
Ist der Sand zu dicht gepackt (durch hohen Staubanteil), entsteht ein extrem hoher Druck, der den Sicherungskörper zum Bersten bringen kann. Ist zwischen den Sandkörnern zu viel Hohlraum, kann sich der Lichtbogen bis zur Keramikoberfläche oder zu den Abdeckplatten ausbreiten und diese zerstören. Bei richtiger Auslegung und sorgfältiger Fertigung kühlt der Sand durch seine Schmelzwärme den Lichtbogen so intensiv, dass seine Brennspannung die Netzspannung überschreitet und der Strom bereits vor dem natürlichen Nulldurchgang eines 50 Hz-Wechselstroms erlischt. Der Scheitelwert des unbeeinflussten Kurzschlussstroms (ohne Schutz durch Sicherungen) wird erst gar nicht erreicht. Die strombegrenzende Wirkung ist die wertvollste Eigenschaft von Schmelzsicherungen, denn in Bezug auf Strombegrenzung übertreffen sie alle anderen Überstromschutzeinrichtungen.

Kurzschlussstrombegrenzung



t_s *Schmelzzeit*
t_{LB} *Lichtbogenzeit*
t_A *Ausschaltzeit*

Kurzschlussströme weisen häufig einen sehr hohen ersten Scheitelwert auf, den Stoßkurzschlussstrom I_p. Dessen magnetische Kraftwirkung steigt mit dem Quadrat des Stromwerts ($K \sim Ip^2$) und kann zu extrem hohen Beanspruchungen der stromführenden Leiter, deren Isolierungen und Befestigungseinrichtungen führen. Sicherungen begrenzen den Kurzschlussstrom auf ihren Durchlassstrom, der in der Regel weit unter dem zu erwartenden Stoßkurzschlussstrom liegt. Die magnetischen Kurzschlusskräfte und der Aufwand für die mechanische Konstruktion der Anlage bleiben dadurch sehr gering.
Nicht nur der Durchlassstrom, sondern auch die Durchlassenergie, ausgedrückt in I^2t-Werten, wird durch strombegrenzende Sicherungen deutlich reduziert. Das betrifft besonders die bei einem Lichtbogenfehler an der Fehlerstelle freigesetzte zerstörerische Energie. Strombegrenzung ist daher gleichbedeutend mit Schadensbegrenzung, d. h. Verminderung von direkten und indirekten Schäden durch Hitzeeinwirkung und Verminderung der Gefährdung von Personen bei Arbeiten unter Spannung.

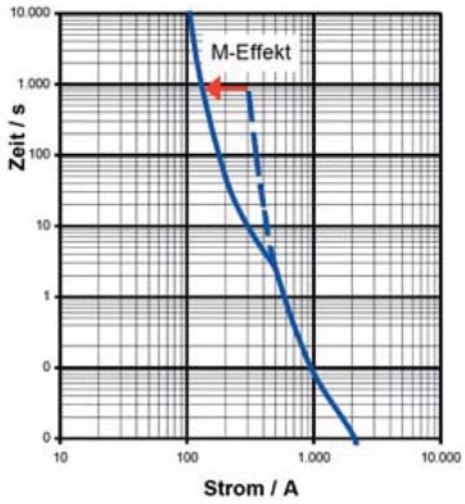
Hinweis:

Strombegrenzende Sicherungen können bei Lichtbogenstörungen Sachschäden nicht völlig verhindern und das Verletzungsrisiko von Personen nicht ausschließen. Sie vermindern jedoch die Auswirkungen solcher Störungen in höchstem Maße.

Schmelzleiter aus Kupfer haben eine Schmelztemperatur von 1.080 °C, Silberschmelzleiter von 960 °C. Sie eignen sich deshalb in reiner Form nur für das Abschalten hoher Überströme, bei denen die Schmelztemperaturen sehr schnell erreicht werden. Lang anhaltende Überströme, bei denen die Schmelztemperaturen nicht ganz oder nur schleichend erreicht werden, erwärmen den Sicherungseinsatz so stark, dass die Kontakte ausglühen und benachbarte Anlagenteile zerstört werden können.

Reine Silber- oder Kupferschmelzleiter ohne Zusätze zum Herabsetzen des Schmelzpunkts haben deshalb immer einen “verbotenen” Strombereich, in dem ein Betrieb nicht zulässig ist. Sie können nur als Teilbereichssicherungen für den Kurzschlussschutz eingesetzt werden. Sind kleinere Überströme nicht auszuschließen, müssen Teilbereichs-sicherungen stets mit zusätzlichen Schutzeinrichtungen für diesen Strombereich kombiniert werden.

Zum Abschalten von Überlasten (relativ kleiner Überströme) wird ein Material mit niedrigem Schmelzpunkt, meistens Zinn oder Zinnlegierungen, als Reaktionslot an der wärmsten Stelle des Schmelzleiters aufgetragen. Diese befindet sich in der Regel an einer Engstelle in der Schmelzleitermitte. Sobald das Lot schmilzt, reagiert es mit dem Schmelzleitermaterial der benachbarten Engstelle und löst diese auf. Dieser Effekt des Lots wird auch “M-Effekt” genannt. Der M-Effekt bewirkt ein Verschieben der Strom/Zeit-Kennlinie zu kleineren Strömen im oberen Zeitbereich und ermöglicht damit das Abschalten von Überlast-strömen, ohne dass eine unzulässige Erwärmung auftritt.



Der M-Effekt: Wirkung des Lots auf die Zeit/Strom-Kennlinie.

Nach dem Durchschmelzen der Engstelle bildet sich ein Lichtbogen, der in beiden Richtungen weiterbrennt, bis er in einem periodischen Stromnulldurchgang erlischt. Der schmelzende Quarzsand kühlt den Lichtbogen so intensiv, dass die erneute Zündung bei wiederkehrender Spannung wirksam verhindert wird. Im Einflussbereich des Lichtbogens entsteht ein nicht leitender Sinterkörper aus Schmelzleitermetall, Lot und Quarz, der wegen seiner Erscheinungsform auch “Schmelzraupe” genannt wird. Bei sehr großen Strömen schmelzen alle Engstellen praktisch gleich-zeitig, wodurch sich mehrere Teillichtbögen entsprechend der Zahl der Engstellen in Serie bilden und eine für Kurzschlussabschaltungen typische, gleichmäßig über die gesamte Schmelzleiterlänge ausgedehnte

Schmelzraupe entsteht. Anhand der Form der Schmelzraupe können die Siemens-Sicherungsexperten recht genau die Stromstärke rekonstruieren, die zum Abschalten der Sicherung führte. Die Analyse abgeschalteter Sicherungen kann damit für die Ermittlung von Störungsursachen wertvolle Aufschlüsse geben.
Entsprechend der gewünschten Sicherungsfunktion muss das sehr komplexe Zusammenwirken von Schmelzleiterwerkstoff, Engstellengeometrie, Reaktionslot und Quarzsand optimiert werden.

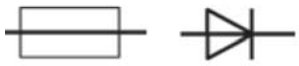
Kennzeichnung von Sicherungen

NH-Sicherungseinsätze enthalten eine Fülle aufgedruckter Information, die sich auch Fachleuten nicht sofort erschließt. Beispiel NH-Sicherungen von oben nach unten:

- Hersteller und Typbezeichnung
- Bemessungswechselspannung (~ 400 V zukünftige Schreibweise 400 V a.c.)
- Baugröße (NH 00) und Betriebsklasse (gG)
- Bemessungsstrom (100 A)
- Symbol "Spannungsfreie Grifflasche"
- VDE-Zeichen (bzw. weitere Prüfzeichen)
- Zutreffende Norm (IEC 60269)
- Bemessungsausschaltvermögen (120 kA)
- Ursprungsland (Germany)
- EU-Konformitätszeichen (CE)
- NH-Recycling-Zeichen
- Fertigungsdatum /-code

NH-Sicherung mit Bedruckung.

Auf manchen DIAZED-Sicherungen findet sich noch das Symbol einer Schnecke für "träge" Charakteristik. Es ist nach Norm nur noch in VDE 0635 für TNDz-Sicherungen vorgesehen.
Halbleiterschutzsicherungen tragen zusätzlich die Kombination der Schaltungszeichen von Sicherung und Diode. Kennmelder sind bei NH-Sicherungen vorgeschrieben. Die Lage kann jedoch sowohl vorn mittig als auch stirnseitig oben sein. Es gibt auch beide Ausführungen als sogenannter "Kombimelder". Üblich ist auch ein Datumscode, der die Rückverfolgbarkeit zum Fertigungsdatum ermöglicht. Die Betriebsklasse gL wurde inzwischen durch gG abgelöst, taucht aber in der Bedruckung einiger Sicherungen immer noch auf. Nach und nach wird sie durch die international genormte Betriebsklasse gG ersetzt.



Halbleiterschutzsicherungen tragen zusätzlich die Schaltzeichen für Sicherung und Diode.

Bedruckung DIAZED-Sicherung.

Sicherungshalter (beinhalten auch Sicherungsunterteile und Sicherungssockel) müssen mit dem Namen des Herstellers und einer Typnummer zur eindeutigen Identifikation gekennzeichnet sein. Wichtig für den Anwender sind die Angaben von Bemessungsstrom für die thermische Belastbarkeit und Bemessungsspannung für die Isolation. Sicherungshalter sind in der Regel für Gleich- und Wechselspannung geeignet. In der Kennzeichnung gibt es daher keine Unterscheidung.

Hinweis:

Die aufnehmbare Leistung eines Sicherungsunterteils oder Sicherungshalters entspricht der größten Verlustleistung (Bemessungsleistungsabgabe) einer gG-Sicherung der jeweiligen Baugröße. Werden Sicherungseinsätze mit anderen Betriebsklassen, z. B. aR, gR, gS verwendet, sind unter Umständen Reduktionsfaktoren zu berücksichtigen. Das gilt auch für D-Sicherungen, die nur in der Betriebsklasse gG genormt sind, aber von Siemens für industrielle Anwendungen auch als gR-Sicherungen SILIZED angeboten werden.

Farbkennzeichnung

Verwechslungen beim Sicherungsaustausch können zu Fehlfunktion, Überhitzung oder gar zu Schaltversagen führen. Zur besseren Unterscheidung sind deshalb in den einschlägigen Normen Farbkennzeichnungen zusätzlich zu den aufgedruckten Sicherungsdaten vorgeschrieben. Sie betreffen

- Betriebsklassen und Bemessungsspannungen bei NH-Sicherungen und
- Bemessungsströme bei Schraubsicherungen.

gG	aM	gTr	gB
400 V *)	400 V	400 V	
500 V	500 V		500 V
690 V	690 V		690 V
1.000 V	1.000 V		1.000 V
*) alternativ schwarz			

Farbkennzeichnung NH-Sicherungen.

Bei NH-Sicherungseinsätzen werden die Bemessungsspannung 500 V als Positivdruck in der vorgesehenen Farbe und die Bemessungsspannungen 400 V und 690 V als Negativdruck in einem entsprechenden Farbbalken aufgebracht, gTr-Sicherungen werden braun und gBSicherungen rot bedruckt (Tabelle 4.2.1). 400 V gG-Sicherungen können alternativ blaue oder schwarze Farbbalken haben.

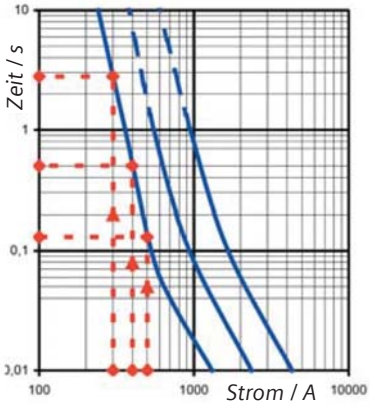
Bei DIAZED- und NEOZED-Sicherungen sind die Kennmelder und Passeinsätze in den Farben des Nennstroms des Sicherungseinsatzes gekennzeichnet.

I_N (A)	2	4	6	10	13	16	20	25	35	50	63	80	100
Farbe	rosa	braun	grün	rot	schwarz	grau	blau	gelb	schwarz	weiß	kupfern	silbern	rot

Kennlinien

Zeit/Strom-Kennlinien:

Zeit/Strom-Kennlinien sind charakteristische Merkmale von Sicherungen und bestimmen deren Anwendungsbereich. Die Zeit/Strom-Kennlinien sollen der Belastbarkeit der zu schützenden Einrichtungen möglichst gut angepasst sein, um einerseits eine optimale Auslastung zu ermöglichen, andererseits schädliche Überbeanspruchungen wirksam zu unterbinden. Im Unterschied zu elektromechanischen oder elektronischen Überstrom-Schutzeinrichtungen haben Sicherungen keinen festen Auslösestrom, ab dem die Schutzwirkung eintritt. Bei Sicherungen ist die Zeit bis zum Aufschmelzen der Engstellen des Schmelzleiters (Schmelzzeit) und damit dem Auslösen des Abschaltvorgangs abhängig von der Größe des Überstroms. Zu jedem Überstrom, der eine Sicherung auslöst, ergibt sich daher eine für die Sicherung charakteristische Schmelzzeit. Die Wertepaare von Strömen und dazugehörenden Schmelzzeiten werden in Zeit/Strom-Kennlinien dargestellt.



Zeit/Strom-Kennlinien.

Beachte:

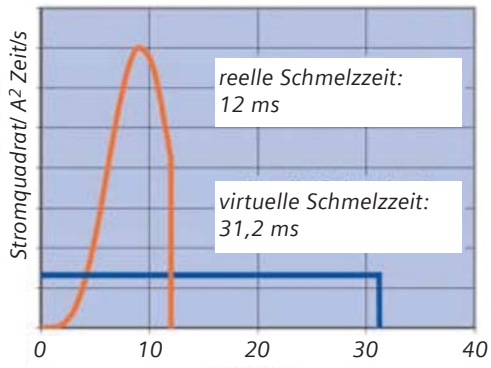
Gestrichelt dargestellte Kennlinienabschnitte kennzeichnen Bereiche, in denen die Sicherung zwar schmilzt, aber kein Ausschaltvermögen besitzt (Teilbereichssicherung). Überströme in diesem Bereich sind unzulässig und müssen durch geeignete Maßnahmen vermieden oder durch andere Schutzelemente abgeschaltet werden.

Zur besseren Vergleichbarkeit der Kurven sind die doppellogarithmischen Skalen der Diagramme international genormt. Üblich ist die Darstellung von mittleren Zeit/Strom-Kennlinien. Entsprechend der Norm für Niederspannungssicherungen IEC 60269 dürfen die Abweichungen von diesen Kennlinien in Stromrichtung ± 10 % betragen. Bei Siemens-Sicherungen liegen diese Abweichungen in einem wesentlich engeren Toleranzband von ± 5 %, wodurch sich für den Anwender zusätzliche Vorteile ergeben.

Zeit/Strom-Kennlinien stellen virtuelle Schmelzzeiten dar, d. h. Zeitwerte, die rein rechnerisch aus gemessenen Integralwerten (I^2t-Werten) ermittelt werden:

$$t_{vs} = \int i^2 dt \,/\, I_{eff}^2$$

Die virtuelle Schmelzzeit t_{vs} wird ermittelt, indem die Fläche unter der quadrierten Stromkurve über die Schmelzzeit integriert wird und dieses Integral dann in ein flächengleiches Rechteck mit der Höhe des Effektivwertquadrats des Kurzschlussstroms umgerechnet wird. Das Schmelzintegral $\int i^2 dt$ wird aus Schaltversuchen oszillografisch ermittelt und zum Effektivwert des Kurzschlusswechselstroms I_{eff} ins Verhältnis gesetzt. Die virtuellen Schmelzzeiten können je nach zeitlichem Verlauf des Kurzschlussstroms erheblich von der reellen Schmelzzeit abweichen. Im Schmelzzeitbereich über 100 ms ist der Unterschied zwischen reellen und virtuellen Zeiten vernachlässigbar. Bei kürzeren Schmelzzeiten (Kurzschlussströmen) ist der Unterschied zu beachten.



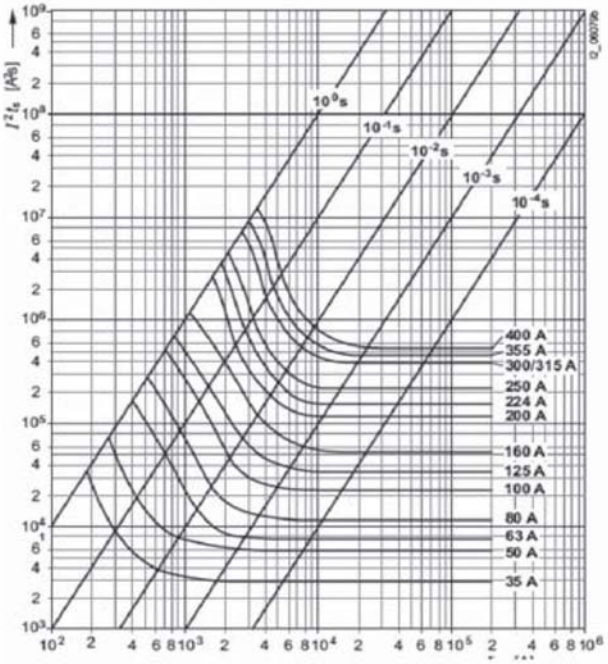
Reelle und virtuelle Zeiten.

Erläuterung: Zur Definition der virtuellen Schmelzzeit nimmt man an, dass der Strom bei Eintritt eines Kurzschlusses unverzögert auf den Effektivwert des Kurzschlusswechselstroms springt (Rechtecksprung) und dann wie ein Gleichstrom unverändert fließt, bis die Engstellen schmelzen.
Besonders bei hohen, Stoßkurzschlussströmen mit Gleichstromglied ergeben sich naturgemäß große Abweichungen zwischen reellen und virtuellen Schmelzzeiten. Bei längeren Schmelzzeiten verringern sich die Abweichungen und ab 100 ms sind sie vernachlässigbar. Es ist leicht einzusehen, dass im Kurzzeitbereich die virtuellen Zeiten aus Sicherungskennlinien nicht vergleichbar sind mit den tatsächlichen (reellen) Öffnungszeiten von mechanischen Schaltern oder den Betätigungszeiten von Auslösern. Dasselbe gilt auch für Sicherungen in verschiedenen Stromkreisen, z. B. in verschiedenen Phasen eines Drehstromnetzes, da diese von verschiedenen Strömen durchflossen werden.

Beachte:

Virtuelle Zeiten aus Sicherungskennlinien dürfen im Zeitbereich unter 100 ms nicht zur Koordination von Sicherungen mit Schaltgeräten verwendet werden. In diesem Bereich müssen I^2t-Werte als Vergleichsbasis herangezogen werden.

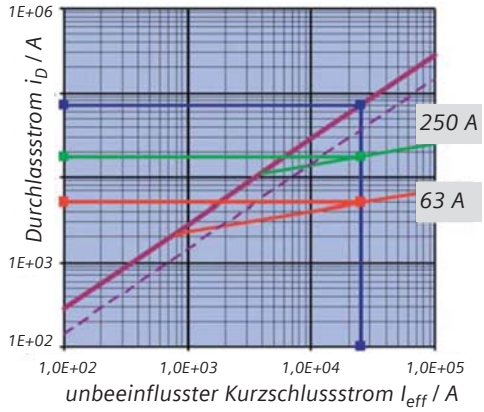
I^2t-Kennlinien:
I^2t-Werte (Joule-Integrale) sind durch die Sicherungskonstruktion bestimmt und beschreiben somit echte physikalische Sicherungseigenschaften. Die (reellen) Schmelzzeiten werden dagegen entscheidend vom zeitlichen Stromverlauf bestimmt, der durch den Einschaltwinkel und die Netzimpedanz maßgeblich beeinflusst wird. Daraus errechnete virtuelle Zeiten aus Zeit/Strom-Kennlinien dürfen folglich nicht mit echten Zeiten, z. B. Öffnungszeiten von Schaltkontakten verglichen, werden. Zur Koordination von Sicherungen mit anderen Schutzeinrichtungen enthalten die Siemens-Produktunterlagen auch I^2t-Kennlinien.
Diese Integralwerte stehen für die Wärmewirkung des Stroms, die die Sicherung auslöst und werden deshalb auch “Joule-Integral”-Werte genannt. Bei Schmelzzeiten ≤ 1 ms haben die Joule-Integrale konstante Werte, die sich allein aus dem Engstellenquerschnitt und dem Schmelzleitermaterial ergeben.



I^2t-Kennlinien.

Durchlasskennlinie:
Große Kurzschlussströme werden durch Sicherungen auf wesentlich kleinere Werte, die Durchlassströme, begrenzt, da die Sicherung den Strom bereits vor Erreichen des ersten Scheitelwerts unterbricht. Die größten Augenblickswerte, die ein durch Sicherungen begrenzter Kurzschlussstrom erreichen kann, werden als Durchlassstromkennlinien dargestellt und von Sicherungsherstellern bereitgehalten.
Durchlasskennlinien werden für die Koordination von Sicherungen mit stromempfindlichen oder dynamisch beanspruchten Komponenten benötigt wie zum Beispiel:

- Halbleiterbauteile
- Relais
- Schütze
- Leistungsschalter
- Sammelschienen



Durchlassstrom-Kennlinien.

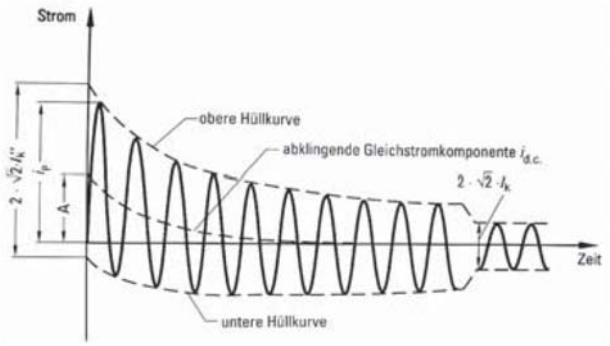
Aus den Durchlassstromkennlinien kann abgelesen werden, auf welche Werte die Sicherung den zu erwartenden Kurzschlussstrom begrenzt.
Beim Arbeiten mit Durchlassstromkennlinien ist zu beachten, dass in den Diagrammen

- auf der Abszisse der unbeeinflusste (prospektive) Kurzschlussstrom aus Kurzschlussberechnungen als Effektivwert des 50 Hz Wechselstroms abgelesen wird (Dieser unbeeinflusste Strom würde ohne Schutz durch die Sicherungen an der Fehlerstelle fließen), und
- auf der Ordinate der Durchlassstrom als Augenblickswert abgelesen wird.

Beispiel:

Obige Grafik zeigt, dass bei einem unbeeinflussten Kurzschlusswechselstrom von 25 kA (Effektivwert) ein maximaler Stoßkurzschlussstrom I_p von 70 kA (obere Begrenzungslinie) auftreten kann. Eine 250 A gG-Sicherung würde den Strom auf ihren Durchlasswert von I_D = 17 kA begrenzen und eine 63 A-Sicherung sogar nur 5 kA durchlassen.

Erläuterung: Die Größe des Stoßkurzschlussstroms i_p variiert um den Faktor 2 (Stoßfaktor) abhängig vom Zeitpunkt des Kurzschlusseintritts (Einschaltwinkel) und vom Leistungsfaktor (cos φ) des Kurzschlusskreises. Die obere Begrenzungslinie im Diagramm entspricht dem größtmöglichen Scheitelwert im Außenleiter mit dem ungünstigsten Schaltaugenblick (Spannungsnulldurchgang) und rein induktivem Stromkreis (cos φ = 0) bei symmetrischem dreipoligem Kurzschluss. Die darunter liegende, gestrichelte Linie entspricht dem günstigsten Fall bei Kurzschlussbeginn im Stromnulldurchgang und cos φ = 1. Ohne strombegrenzende Schutzeinrichtung muss von einem Stoßkurzschlussstrom entsprechend der oberen, durchgezogenen Linie ausgegangen werden.



Kurzschlussstromverlauf im Drehstromnetz.

Leistungsabgabe (Verlustleistung)

Elektrische Schmelzsicherungen funktionieren auf dem Prinzip der Eigenerwärmung durch Ströme. Genau definierte Stellen des Schmelzleiters werden durch Überströme bis zu ihrer Schmelztemperatur erwärmt und der Stromkreis dadurch unterbrochen. Dieses Funktionsprinzip bringt es mit sich, dass auch bei normalen Betriebsströmen Stromwärme erzeugt und an die Umgebung abgeführt wird. Dieser Eigenverbrauch der Schmelzsicherung wird umgangssprachlich und in älteren Normen als "Verlustleistung" bezeichnet. Die in den neueren Normen verwendete wertfreie Bezeichnung "Leistungsabgabe" hat sich im deutschen Sprachgebrauch noch nicht allgemein durchgesetzt.

Anmerkung: In der Tat haftet Schmelzsicherungen das Vorurteil an, besonders viel Verlustleistung zu erzeugen. Vermutlich liegt das an der starken Erwärmung während des Ausschaltvorgangs und daran, dass sich nicht nur Laien beim unvorsichtigen Sicherungswechsel schon einmal die Finger verbrannt haben. Diese hohen Temperaturen entstehen jedoch durch die Wärmeleistung des Schaltlichtbogens und sind kein Maß für die Leistungsabgabe und Erwärmung im normalen Betrieb.

Je nach Standpunkt des Betrachters kann man die Leistungsabgabe von Sicherungen unterschiedlich sehen und bewerten:

- Der Netzbetreiber betrachtet die “Verlustleistung” von der wirtschaftlichen Seite und sieht darin einen Kostenfaktor durch ungezählten Verbrauch.
- Der Schaltanlagen- und Verteilerkonstrukteur muss Sicherungen als Wärmequellen bei der Auslegung der Umhüllung berücksichtigen.
- Der Sicherungsentwickler sieht darin eine physikalisch notwendige “Funktionsleistung”, die er unter Beachtung anderer Eigenschaften auf ein Minimum beschränken muss.

Der Eigenverbrauch von Schmelzsicherungen trägt zu den Netzverlusten im Niederspannungsverteilungsnetz bei und ist damit ein Kostenfaktor (Verlust) für den Netzbetreiber. Die Netzverluste betragen im städtischen Niederspannungsverteilungsnetz etwa 4 % der übertragenen Leistung bzw. 3 % der Energie und sind damit nicht zu vernachlässigen. Genaue Untersuchungen zum Anteil der Sicherungen an den Netzverlusten liegen nicht vor.
In erster Näherung kann man jedoch annehmen, dass der Eigenverbrauch einer Sicherung dem Verbrauch von einem halben bis zu einem Meter des angeschlossenen Leiters entspricht. Damit dürften Sicherungen etwa 5 % bis 10 % der Netzverluste in städtischen Niederspannungsnetzen beitragen und deutlich weniger in ländlichen Netzen. Insgesamt also weniger als 0,5 % der übertragenen Leistung.

Da genauere Berechnungen sehr aufwändig sind, wird für komplett mit Sicherungen geschützte Netze häufig ein mittlerer Wert von 3 W als Betriebsleistungsabgabe je Sicherung angenommen. Dieser Wert liegt in der Größenordnung des Stand-by-Verbrauchs gängiger elektronischer Geräte. Verglichen wird hierbei jedoch der verzichtbare Komfort von Stand-by-Verlusten mit der unverzichtbaren Funktionsleistung wichtiger Schutzelemente.

Hinweis:

Während die Bemessungsleistungsabgabe zu den Kenngrößen von Sicherungseinsätzen gehört, wird die von den Geräten im Betrieb abgegebene Leistung in der Niederspannungs-Schaltgerätenorm VDE 0660 Teil 100 nicht erwähnt. Daraus könnte man schließen, dass die Leistungsabgabe bei elektromechanischen Schaltgeräten vernachlässigbar sei. Grundsätzlich muss man jedoch davon ausgehen, dass alle Überstromschutzeinrichtungen mit thermischen Auslösern (Leistungsschalter, Leitungsschutzschalter) eine den Sicherungen vergleichbare, wenn nicht gar deutlich höhere Leistungsabgabe haben.

Wärmequelle in Schaltanlagen und Verteilern

Für jede Sicherungs-Baugröße sind die größten Bemessungsströme von Sicherungshaltern und Höchstwerte der aufnehmbaren Leistung (Bemessungs-Leistungsaufnahme) definiert. Der Bemessungswert der aufnehmbaren Leistung eines Sicherungshalters (Sicherungsunterteils, Sicherungssockels) entspricht der Leistungsabgabe eines Sicherungseinsatzes, der unter normalen Betriebsbedingungen vom Unterteil aufgenommen werden kann. Die Normwerte der aufnehmbaren Leistung von NH-Unterteilen entsprechen den Leistungsabgaben von aM-Sicherungen und gB-Sicherungen der jeweils größten Bemessungsstromstufe bei 690 V Bemessungsspannung. Die Werte beziehen sich außerdem auf Raumtemperatur und auf die entsprechend aufgelisteten Querschnitte der angeschlossenen Leiter.

Baugröße	Bemessungsstrom (A)	Bemessungsleistungsaufnahme	Leitungsquerschnitt mm^2 Cu
000	100		35
00	160	12	70
0	160	25	70
1	250	32	120
2	400	45	240
3	630	60	2 x 185
4	1.000	90	2 x (60 x 5)
4a	1.250	110	2 x (80 x 5)

Aufnehmbare Leistung von NH-Sicherungsunterteilen.

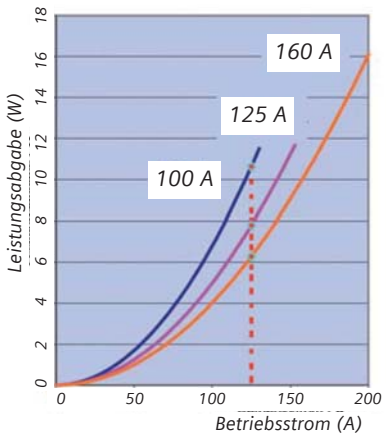
Wesentliche Abweichungen von diesen Bedingungen können die aufnehmbare Leistung von Sicherungsunterteilen in beiden Richtungen beeinflussen. Wichtige Einflussgrößen sind hierbei:

- Material und Querschnitt der angeschlossenen Leiter
- Betriebstemperaturen, die von der Raumtemperatur stark abweichen
- eingeschränkte oder forcierte Luftzirkulation (durch Abdeckungen bzw. Lüfter)

TIPP:

Anlagenkonstrukteure und Betreiber können jedoch durch Beachten einiger Regeln ebenfalls erheblich zur Verminderung der Leistungsabgabe im Betrieb beitragen: Qualitäts-Sicherungseinsätze verwenden, Bemessungsspannung nicht größer als erforderlich, Bemessungsstrom so groß wie möglich

- Qualitäts-Sicherungseinsätze verwenden: Die konsequente Wahl von verlustarmen Sicherungseinsätzen wird durch geringere Erwärmung und niedrigere Betriebskosten belohnt.
- Bemessungsspannung nicht größer als erforderlich: Die Leistungsabgabe steigt technisch bedingt mit der Bemessungsspannung. Die Bemessungsspannung der Sicherungseinsätze soll daher der Betriebspannung möglichst genau entsprechen und nicht wesentlich größer sein. Der Einsatz einer 690-V-Sicherung im 400-V-Netz ist zwar technisch zulässig, verdoppelt jedoch die Leistungsabgabe. Wenigstens die Hälfte davon kann man in einem solchen Fall zu Recht als "Verlustleistung" bezeichnen.
- Bemessungsstrom so groß wie möglich: Größere Bemessungsströme der Sicherungseinsätze mindern die Leistungsabgabe im Betrieb. Eine größere Bemessungsleistungsabgabe ist nicht unbedingt gleichbedeutend mit höherer Erwärmung im Betrieb. Genau das Gegenteil trifft zu, wenn es sich um Sicherungen mit unterschiedlichen Bemessungsströmen handelt. Bei gleichem Betriebsstrom einer Anlage erzeugt die Sicherung mit dem kleineren Bemessungsstrom und folglich der kleineren Bemessungs-Leistungsabgabe die größeren Verluste. Dieser scheinbare Widerspruch wird am Beispiel von NH-Sicherungen der Betriebsklasse gG veranschaulicht: Bei einem Betriebsstrom von 125 A erzeugt eine 100-A-Sicherung mehr als 10 W, während die 125-A-Sicherung weniger als 8 W und die 160-A-Sicherung sogar nur gut 6 W erzeugt.



Leistungsabgabe von gG-Sicherungen unterschiedlicher Nennströme.

Wenn immer möglich, sind daher bei Erwärmungsproblemen Sicherungen mit größerem Bemessungsstrom vorzuziehen. Typische Anwendungsfälle für diese Regel sind alle Stromkreise, für die nur Kurzschlussschutz gefordert ist wie zum Beispiel:

- Sicherungen in engen Gehäusen
- Absicherung von Kondensatoren in Netzen mit Oberschwingungsströmen
- Motorschutzsicherungen
- Anhäufung von Sicherungen in Gehäusen.

Beachte:

Diese Regel darf natürlich nicht angewandt werden, wenn die Sicherungen nicht nur für den Kurzschlussschutz, sondern auch für den Überlastschutz einem Betriebsmittel z. B. Kabel direkt zugeordnet sind.

Sicherungsanwendungen

Allgemeine Auswahlkriterien

Die Auswahl der richtigen Sicherung richtet sich nach

- den Daten der Stromversorgung, die im Fehlerfalle unterbrochen werden soll und nach
- der Schutzaufgabe bzw. den zu schützenden Betriebsmitteln.

Bei der Stromversorgung sind folgende Kriterien zu beachten:

- Die größte zulässige Betriebsspannung der Sicherung muss größer sein als die größte zulässige Betriebsspannung des Netzes inklusive Toleranz.
- Die Sicherung muss für die Stromart und Frequenz des Netzes geeignet sein. Die Eignung für Gleichstrom und Wechselstrom werden getrennt angegeben. Ohne nähere Angaben sind Frequenzen von 45 Hz bis 62 Hz zulässig.
- Das Ausschaltvermögen der Sicherung muss größer sein als der unbeeinflusste Kurzschlussstrom an der Einbaustelle.

Bemessungsspannung der Sicherung	Größte zulässige Netzspannung
230 V	253 V
400 V	440 V
500 V	550 V
690 V	725 V

Zulässige Betriebsspannungen.

Für den Schutz häufig verwendeter Betriebsmittel wurden angepasste Sicherungen mit entsprechenden Charakteristiken entwickelt. International wurden Charakteristiken für Leitungen, Motorstromkreise und Halbleiterbauelemente genormt. In Deutschland gibt es zusätzlich Normen für Transformatorenschutz- und den Bergbauanlagenschutz. Die Sicherungseinsätze sind mit Kurzzeichen für die jeweiligen Anwendungen bzw. Charakteristiken gekennzeichnet.

Der erste, kleine Buchstabe bezeichnet den Ausschaltbereich der Sicherung:

- "g" steht für Ganzbereichssicherung und bedeutet, dass die Sicherung alle Überströme vom kleinsten Schmelzstrom bis zu ihrem Bemessungsausschaltvermögen unterbrechen kann. Ganzbereichssicherungen können als alleinige Schutzelemente eingesetzt werden.
- "a" steht für Teilbereichssicherung und bedeutet, dass diese Sicherung nur große Ströme ab einem Vielfachen ihres Nennstroms ausschalten kann. Teilbereichssicherungen sind nur für den Kurzschlussschutz geeignet und werden daher mit anderen Einrichtungen für den Überlastschutz kombiniert. Häufig werden sie auch als Backup-Schutz für andere Schaltgeräte mit geringerem Ausschaltvermögen eingesetzt, z. B. Schütze oder Leistungsschalter.

Betriebsklasse	Anwendungsgebiet (Charakteristik)
IEC / VDE Betriebsklassen	
gG	Ganzbereichssicherung für allgemeine Anwendungen, hauptsächlich Kabel- und Leitungsschutz
aM	Teilbereichs-Schaltgeräteschutz für Motorstromkreise
gR	Ganzbereichssicherungen für den Schutz von Halbleiterbauelementen (flinker als gS)
gS	Ganzbereichssicherungen für den Schutz von Halbleiterbauelementen, für erhöhte Leitungsauslastung
aR	Teilbereichssicherung für den Schutz von Halbleiterbauelementen
VDE Betriebsklassen	
gB	Ganzbereichssicherung für den Bergbauanlagenschutz
gTr	Ganzbereichssicherung für den Transformatorenschutz, Bemessung in Transformator-Scheinleistung (kVA) statt Nennstrom (A)
träg	Ganzbereichssicherung für den Kabel- und Leitungsschutz
flink	Ganzbereichssicherung für den Kabel- und Leitungsschutz
weitere Betriebsklassen	
gM	Ganzbereichssicherung für den Schutz von Motorstromkreisen mit zwei Bemessungsströmen (in Großbritannien verbreitet)
gN	Nordamerikanische Sicherung für allgemeine Anwendungen, hauptsächlich Kabel- und Leitungsschutz
gD	Nordamerikanische Sicherung mit träger Charakteristik für allgemeine Anwendungen und für den Motorenschutz
gI	Frühere IEC-Betriebsklasse (träge), ersetzt durch gG
gII	Frühere IEC-Betriebsklasse (flink), ersetzt durch gG
gL	Frühere VDE-Betriebsklasse, ersetzt durch gG
gT	Frühere VDE-Betriebsklasse (träge), ersetzt durch gG
gF	Frühere VDE-Betriebsklasse (flink), ersetzt durch gG
gTF	Frühere VDE-Betriebsklasse (träg-flink), ersetzt durch gB

Der zweite, große Buchstabe bezeichnet die Charakteristik und damit das Anwendungsgebiet. Da Sicherungen sehr langlebige Produkte sind, findet der Anwender immer noch Produkte mit Aufschriften, die in den geltenden Normen nicht mehr erläutert sind. Deshalb sind in der Tabelle auch einige früher verwendete Bezeichnungen mit aufgeführt.

Kabel- und Leitungsschutz

Der Schutz von Kabeln und Leitungen gegen zu hohe Erwärmung ist in VDE 0100-430 geregelt. Hierbei handelt es sich um die am weitesten verbreitete Sicherungsanwendung, für welche die Betriebsklasse gG genormt wurde. Diese Sicherungen sind in ihren Zeit/Strom-Kennlinien an die Belastbarkeit isolierter Leiter angepasst. Die Zuordnung des Sicherungsbemessungsstroms zur Belastbarkeit des Kabels erfolgt einfach nach der Formel

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

I_b = Betriebsstrom des Stromkreises
I_z = Dauerbelastbarkeit des Leiters (s. VDE 0100-430)
I_n = Sicherungsbemessungsstrom.

Da Leitungen bis zu 45 % überlastbar sind, soll die Überstromschutzeinrichtung bei 1,45 I_n auslösen. Diese Bedingung ist bei D-Sicherungen mit Bemessungsströmen > 10 A und bei NH-Sicherungen mit Bemessungsströmen > 16 A erfüllt.

Hinweis:

Anmerkung: Der "Große Prüfstrom" beträgt bei gG Sicherungen traditionell 1,6 I_n und wird nicht ganz zu Recht mit dem Auslösestrom anderer Schutzeinrichtungen, z. B. LS-Schalter verglichen. Dieser Vergleich ist jedoch physikalisch nicht korrekt, da er auf verschiedenen Prüfbedingungen beruht. Praxisnahe Versuchsanordnungen, wie sie inzwischen auch in die Sicherungsnormen aufgenommen wurden, zeigen, dass das Auslöseverhalten von gG-Sicherungen bei Überlast dem von LS-Schaltern und somit der Überlastbarkeit der zu schützenden Leitungen entspricht.

Transformatorschutz mit NH-Sicherungen

Verteilungsnetztransformatoren bis zu 1.000 kVA werden niederspannungsseitig mit Sicherungen gegen Überlast und Sammelschienenkurzschlüsse geschützt. Verwendet werden hierzu NH-Sicherungs-

Lasttrennschalter oder -Lastschaltleisten, bestückt mit Sicherungen der Betriebsklassen gG oder gTr. Die NH-Sicherungen bzw. die Sicherungsschaltgeräte eignen sich auch zum Freischalten des Transformators und der Niederspannungsverteilung. Den Schutz gegen innere Transformatorfehler einschließlich eines Kurzschlusses an den Niederspannungsklemmen übernehmen HH-Sicherungen auf der Oberspannungsseite. Die Zuleitungen von den Transformatorklemmen zum niederspannungsseitigen Einspeiseschalter sind theoretisch nicht geschützt und werden daher besonders sorgfältig isoliert und verlegt.

Da die Transformatoren in kVA entsprechend ihrer Scheinleistung bemessen sind, stimmen die Bemessungsströme der NH-Sicherungen nicht mit den Transformatorbemessungsströmen überein. Deshalb wurden in Deutschland speziell für den Schutz von Verteilnetztransformatoren NH-Sicherungseinsätze der Betriebsklasse gTr entwickelt und genormt. Diese sind der Transformatorbelastbarkeit angepasst und in kVA entsprechend der Scheinleistung der Transformatoren bemessen. Sie ermöglichen eine optimale Auslastung von Verteilungsnetztransformatoren mit 400 V Sekundärspannung.

gTr-Sicherungen können ihren 1,3-fachen Bemessungsstrom über 10 Stunden führen und schalten den 1,5-fachen Bemessungsstrom innerhalb von zwei Stunden ab. Außerdem gilt: Eine gTr-Sicherung mit X=250 kVA oder größer verhält sich selektiv zur nachgeschalteten gG-Sicherung mit Y=250 A. Die Selektivität zur Oberspannungsseite ist in VDE 0670-402 geregelt. Die technischen Anforderungen an gTr-Sicherungen sind in VDE 0636 Teil 2011 festgelegt. gTr-Sicherungen haben eine Bemessungsspannung von 400 V und ein Bemessungs-Ausschaltvermögen von 25 kA. Hierdurch kann die Verlustleistung so niedrig gehalten werden, dass 1.000 kVA gTr-Sicherungen mit einem Bemessungsstrom von 1.443 A in NH-Unterteile der Größe 4a eingesetzt werden können, obwohl diese nur für 1.250 A bemessen sind.

Hinweis:

Auf ausreichende Anschlussmöglichkeiten für die notwendigen Leiterquerschnitte ist dabei zu achten.

Der Einsatz von gTr-Sicherungen ist vorteilhaft bei starker Transformatorauslastung mit möglicher Gefährdung durch Überlast. In vielen Netzen liegt die thermische Auslastung der Verteiltransformatoren im Betrieb deutlich unterhalb der Bemessungsleistung, weshalb sich ein an die Transformatordaten eng angepasster Überlastschutz erübrigt. Als niederspannungsseitiger Kurzschlussschutz werden deshalb auch häufig die weltweit leichter verfügbaren gG-Sicherungen eingesetzt.

Schutz von Motorstromkreisen

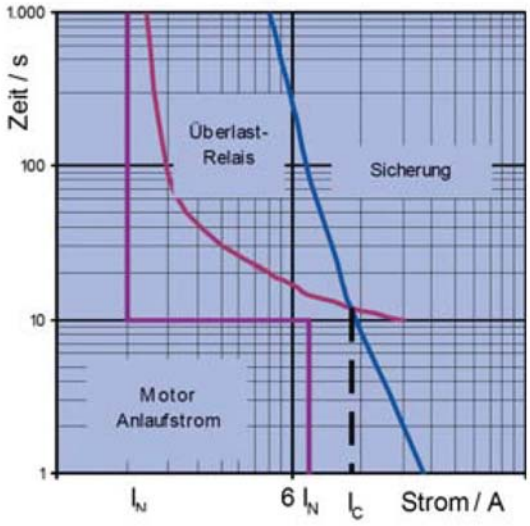
Wesentliche Elemente eines Motorstromkreises sind neben dem Motor selbst und den Zuleitungen der Motorstarter und die Kurzschlussschutzeinrichtung. Die Leitungen sind bei richtiger Dimensionierung automatisch mit geschützt. Im Vergleich zu anderen Schutzelementen haben Sicherungen wesentlich niedrigere Durchlassströme und Durchlass-I^2t-Werte. Es gibt daher kaum eine günstigere Methode, als mit Sicherungen einen Kurzschlussschutz der Zuordnungsart "2" nach VDE 0660-102 zu erreichen.
Zuordnungart "2" bedeutet, dass

- der Kurzschlussstrom sicher unterbrochen wird,
- weder Menschen noch Anlagen gefährdet sind und
- der Starter nach Überprüfung wieder in Betrieb genommen werden kann. Leicht zu öffnende Verschweißungen der Kontakte sind zulässig.

Dagegen bedeutet die niedrigere Zuordnungsart "1", dass der Starter oder Teile davon nach einem Kurzschluss ausgewechselt werden müssen. Für Prozesse bei denen hohe Anlagenverfügbarkeit gefordert ist, bieten Sicherungen die kostengünstigere Alternative zu überdimensionierten Motorstartern. Die richtige Koordination von Sicherungen mit Motorstartern erfüllt die folgenden Bedingungen:

- Motor und Motorstarter sollen gegen Kurzschlussauswirkungen geschützt werden.
- Dazu müssen der maximale Durchlassstrom und die maximale Durchlassenergie (I^2t) der Sicherung kleiner sein als die entsprechenden Festigkeitswerte des Schützes.
- Außerdem muss der Übergabestrom I_C, bei dem die Sicherung die Ausschaltaufgabe vom Überlastrelais übernimmt, unterhalb des Ausschaltvermögens des Motorschützes liegen.
- Betriebsstörungen durch unbegründete Abschaltungen der Sicherungen sollen vermieden werden.
- Dazu muss die Schmelzzeit/Strom-Kennlinie der Sicherung einen ausreichenden Abstand vom Anlassstromimpuls des Motors haben. Beim direkten Einschalten kann etwa das 6-Fache des Motornennstroms 10 s lang fließen.

Je nach Betriebsbedingungen des Motors und Gebrauchskategorie der Sicherung stimmen die Bemessungsströme von Sicherung und Motor nicht unbedingt überein, sondern können um ein Vielfaches größer sein. Sowohl gG-Sicherungen als auch aM-Sicherungen werden für den Kurzschlussschutz von Motorstromkreisen verwendet. Für gG-Sicherungen sprechen deren gute Verfügbarkeit und niedrige Kosten. Sie müssen in der Regel jedoch um eine bis zwei Bemessungsstromstufen



Auswahl von Motorschutzsicherungen.

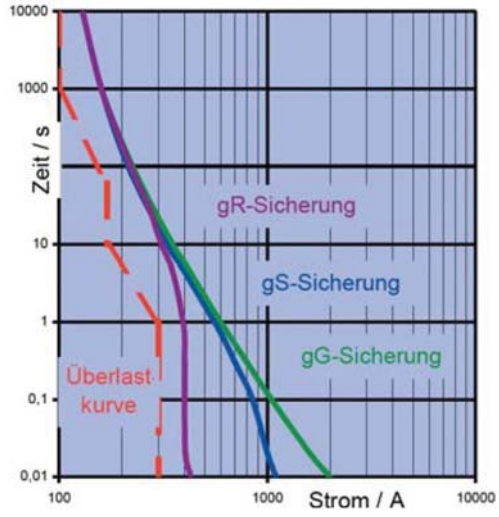
höher ausgewählt werden, um unerwünschtes Auslösen durch den Motoranlaufstrom zu vermeiden. Für aM-Sicherungen spricht das trägere Auslöseverhalten im Überlastbereich, das einen optimalen Schutz bei maximaler Anlagenverfügbarkeit ergibt. Die Auswahl dieser Sicherungen entsprechend dem Motornennstrom ist somit eine Bemessungsstufe niedriger möglich. In einigen Ländern werden Sicherungen der Typen gD und gM auch als Ganzbereichsschutz für Motorstromkreise eingesetzt.

Halbleiterschutz

Für die richtige Zuordnung von Halbleiterschutzsicherungen gibt es keine einfache Regel. Dieses Kapitel gibt deshalb nur einen allgemeinen Überblick und verweist auf das SITOR-Projektierungshandbuch von Siemens für detailliertere Information. Je nach Einbaustelle liegen unterschiedliche Anforderungen vor und kommen Sicherungen unterschiedlicher Betriebsklassen zum Einsatz:
Als Zweig- oder Zellensicherung im Halbleiterzweig werden aR-Sicherungen den Halbleiterbauelementen direkt als Schutz zugeordnet.

- Als Strangsicherung im Phasenstrang des Umformers werden aR- oder gR-Sicherungen eingesetzt.
- Auf der Last(Gleichstrom)seite werden gR-, gS- oder gG-Sicherungen als Überlastschutz eingesetzt. Selektivität zu den vorgeschalteten Sicherungen im Gleichrichter kann im Kurzschlussfall nicht erzielt werden.
- In der Unterverteilung kommen Ganzbereichssicherungen der Betriebsklassen gR oder gS zum Einsatz, die auch die Zuleitungen schützen. gR-Sicherungen sind auf niedrige I^2t-Werte optimiert, gS-Sicherungen auf niedrige Verlustleistung im Hinblick auf den

Einsatz in genormten Sicherungsunterteilen und Sicherungslast-trennschaltern. Beide Betriebsklassen können für den Kabel-Überlast-schutz verwendet werden, jedoch erfüllen nur die gS-Sicherungen die Anforderungen an den Kabel-Überlastschutz in vollem Umfang.

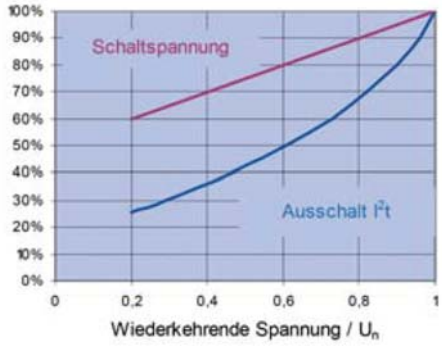


Kennlinien gG, gS und aR mit Überlastkurve.

Die Auswahl von Sicherungen für den Halbleiterschutz erfolgt anhand der Grenzwerte der Halbleiterbauelemente und der am Einsatzort zu erwartenden Last- und Fehlerströme. Unter anderen sind die folgenden Punkte dabei zu berücksichtigen:

- Dauernde Betriebsströme einschließlich zulässiger Überlasten sollen ohne Wärmeschäden geführt werden können. Der Laststrom in Stromkreisen mit Halbleitern ist oft nicht sinusförmig. Deshalb muss zur Bestimmung der thermischen Belastung der Sicherungen der Effektivwert anhand der Kurvenform bestimmt werden.
- Die Verlustleistung der Sicherung bei Betriebsstrom soll kleiner sein als die zulässige Leistungsaufnahme des Sicherungshalters. Sie wird anhand des Effektivwerts und der Herstellerunterlagen ermittelt.
- Für stark impulsförmige und zyklische Lastströme enthalten die SITOR-Produktunterlagen Tabellen mit Wechsellastfaktoren. Alternativ ist auch die Darstellung von Überlastkurven möglich. Diese geben die Höhe der Laststromimpulse an, die in dem markierten Zeitbereich nicht zu einer Veränderung der Sicherungskennlinie führen.
- Bei Fehlern in der Anlage soll der Fehlerstrom unterbrochen werden, bevor durchströmte Halbleiter zerstört werden. Hierzu müssen der Durchlassstrom und das Ausschaltintegral I^2t der Sicherung kleiner sein als die Grenzwerte des zu schützenden Halbleiters. Das Ausschaltintegral setzt sich zusammen aus den I^2t-Werten über die Schmelzzeit und über die Lichtbogenzeit und ist von der wiederkehrenden Spannung abhängig.

- Die Schaltspannung, die bei einer Stromunterbrechung durch die Sicherung auftritt, darf die Spannungsfestigkeit der Halbleitersperrschicht nicht überschreiten. Für wiederkehrende Spannungen unterhalb der Bemessungsspannung der Sicherung kann die Schaltspannung nach unten korrigiert werden.



Korrektur der Schaltspannungs- und Ausschaltintegrale.

Schutz von Gleichstromkreisen

Strombegrenzende Sicherungen sind grundsätzlich sowohl für Wechselstrom- als auch für Gleichstromanwendungen geeignet. Allerdings sind ihre Leistungsdaten für Gleichstrom- und Wechselstromanwendungen unterschiedlich und die Wechselstromdaten lassen sich nicht einfach in Gleichstromdaten umrechnen. Sie können nur durch Prüfungen ermittelt werden.

Hinweis:

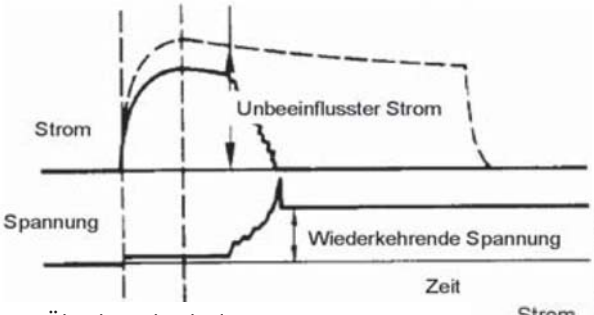
Grundsätzlich gilt: Die im Stromkreis gespeicherte magnetische Energie bestimmt die Grenzen der Sicherungsanwendung bei Gleichstrom.

"Kurzschlussabschaltungen" verlaufen bei Gleichstrom ähnlich dem strombegrenzenden Abschalten von hohen Wechselströmen. In der Sicherung baut sich eine hohe Lichtbogenspannung auf, die beim Überschreiten der wiederkehrenden Spannung den Strom zu Null zwingt. Der Stromanstieg wird jedoch anstatt von Einschaltzeitpunkt und Leistungsfaktor von der Zeitkonstanten bestimmt.

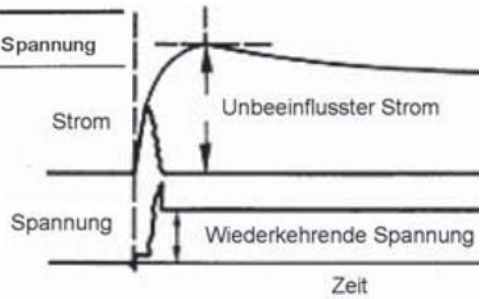
"Überlastabschaltungen" verlaufen völlig anders als bei Wechselstrom (Bild 5.6.3). Bei Gleichstrom gibt es keinen periodischen Nulldurchgang und damit auch keinen Moment ohne magnetische Energie im Stromkreis mit günstigen Löschbedingungen für den Lichtbogen. Der Lichtbogen erlischt erst, wenn die Lichtbogenspannung die Netzspannung überschreitet und einen Stromnulldurchgang erzwingt. Die im Stromkreis

gespeicherte magnetische Energie muss bei Gleichstromabschaltungen im Lichtbogen absorbiert werden. Die thermische Beanspruchung der Sicherung ist daher bei diesem Schaltvorgang unvergleichlich höher als bei Wechselstrom. Deshalb ist das Ausschaltvermögen von Sicherungen bei Gleichstrom generell niedriger als bei Wechselstrom. Auch die starke Abhängigkeit der Gleichstromdaten von der Zeitkonstanten des Stromkreises beruht auf diesem Zusammenhang.

- Die "Bemessungs-Gleichspannung" von Sicherungseinsätzen ist in der Regel niedriger als die Bemessungs-Wechselspannung. In den Siemens-Produktunterlagen werden beide Bemessungswerte getrennt angegeben. Bei Sicherungsunterteilen gilt die Bemessungswechselspannung auch für Gleichspannung in gleicher Höhe.
- Der "Bemessungsgleichstrom" ist eine Bemessungsgröße, die sich nur auf die thermischen Eigenschaften der Sicherung bezieht. Er ist identisch mit dem Bemessungswechselstrom und wird daher nicht getrennt angegeben.
- Die "Zeit/Strom-Kennlinien" aus den Siemens-Produktunterlagen geben in Übereinstimmung mit den Sicherungsnormen virtuelle Schmelzzeiten an. Das heißt, sie basieren auf der Annahme, dass der Strom bei Eintreten eines Kurzschlusses unverzögert auf den Effektivwert springt und bis zum Schmelzen der Sicherung dort verharrt. Tatsächlich steigt der Kurzschlussstrom im Gleichstromkreis aber entsprechend der Zeitkonstanten verzögert an. Im Kurzzeitbereich (t_{vs} < 20 Zeitkonstanten) ergeben sich dadurch deutliche Abweichungen. Unter stationären Bedingungen (Überströme mit Schmelzzeiten t_{vs} > 20 Zeitkonstanten) sind die Norm-Kennlinien identisch mit den Gleichstromkennlinien.



DC-Überlastabschaltung.



DC-Kurzschlussabschaltung.

Hinweis:

Die echten Schmelzzeiten bei Gleichstrom lassen sich aus den virtuellen Zeit/Strom-Kennlinien mit Hilfe eines iterativen Rechenverfahrens ermitteln, das in IEC 61818 bzw. E VDE 0636-129 beschrieben ist.

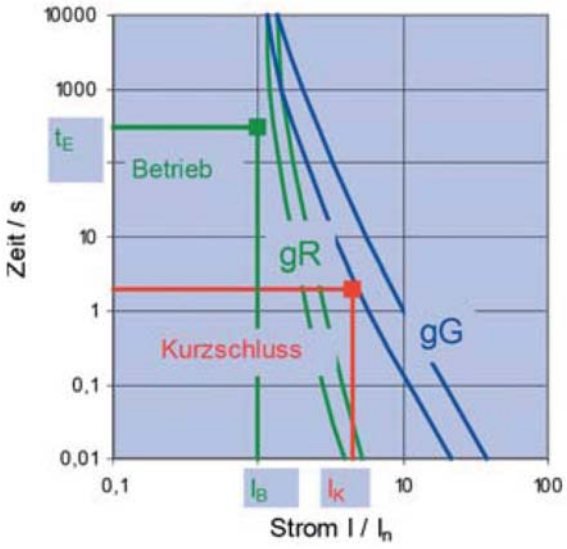
- Das "Bemessungsausschaltvermögen" bei Gleichstrom ist keine feste Sicherungseigenschaft. Es muss immer im Zusammenhang mit der Zeitkonstanten des Stromkreises gesehen werden. Große Zeitkonstanten vermindern das Ausschaltvermögen und kleine Zeitkonstanten erhöhen das Ausschaltvermögen. Bei NH-Sicherungen beträgt das Ausschaltvermögen nach VDE 0636 mindestens 25 kA bei einer Zeitkonstanten von 15 ms. D-Sicherungen haben mindestens 8 kA Ausschaltvermögen bei 15 ms. Damit werden die meisten Steuerkreise und Lastkreise in industriellen Anwendungen abgedeckt. In Batteriestromkreisen mit kleinen Zeitkonstanten ist das Ausschaltvermögen wesentlich größer, bei Feldspulen erheblich kleiner.
- Der "Durchlassstrom" ist ebenfalls abhängig von der Zeitkonstanten des Stromkreises und kann deshalb nicht den Wechselstrom-Kennlinien entnommen werden. Zu seiner Bestimmung müssen spezielle Unterlagen des Herstellers angefragt werden.

Batterieschutz in USV-Anlagen

Größere Batterieschränke oder Batteriegestelle werden über einpolige NH-Sicherungslasttrennschalter an den Gleichstromzwischenkreis angebunden. Diese dienen

- als definierte Schnittstelle zwischen Batterie und USV-Anlage,
- zum Freischalten der Batterie bei Wartungsarbeiten und
- als Schutz der Batterie gegen Zerstörung der Elektroden und der Anschlusskabel vor Überhitzung.

Der Batterieschutz in USV-Anlagen ist als Sonderfall der Gleichstromanwendungen zu betrachten. Der zu erwartende Kurzschlussstrom hängt von der Batteriekapazität, dem Batterietyp und dem Alterungszustand der Batterie ab. Bei kurzen Einsatzzeiten der USV-Anlage ist die Batteriekapazitat und damit der Kurzschlussstrom entsprechend klein im Verhältnis zum Betriebsstrom. Ein wirksamer Schutz erfordert deshalb sehr steile Sicherungskennlinien und lässt sich meistens nur mit Halbleiterschutzsicherungen realisieren. Da der Schutz umso wirksamer ist, je näher der Betriebspunkt an die Schmelzkennlinie heranreicht, ist die genaue Kenntnis der Kennlinientoleranzen wichtig.



Auswahl einer Batterie-sicherung für USV-Anlagen.

Hinweis:

Die Auswahl von SITOR-Sicherungen für USV-Anlagen sollte immer dem Siemens Customer Service Center überlassen werden.

Die Einsatzzeit der USV-Anlage ist ebenfalls ein wichtiges Auswahlkriterium. Bei gleichem Bemessungsstrom erfordert der optimale Schutz für kurze Einsatzzeiten der Anlage kleinere Sicherungen und für lange Einsatzzeiten größere Sicherungen. Die folgenden Punkte sind dabei zu berücksichtigen (angegebene Zahlenwerte sind Anhaltswerte, falls keine genaueren Daten vorliegen):

- Der Betriebspunkt (t_e/I_B) muss in ausreichendem Abstand unterhalb der unteren Zeit/Strom-Kennlinie liegen, damit die Sicherung auf keinen Fall während des normalen Einsatzes anspricht.
- Der maximale Betriebsstrom der Batterie errechnet sich aus der Wirkleistung P_W der USV-Anlage und der Entladespannung U_E: $I_B = P_W / U_E$. ; gegen Ende der Einsatzzeit sinkt die Batteriespannung auf die Entladespannung ab, die je nach Auslegung ca. 85 % der Batterienennspannung beträgt.
- Der Kurzschlusspunkt (I_K/t) muss oberhalb des Toleranzbands der Sicherungskennlinie liegen.
- Der Kurzschlussstrom I_K, der möglichst schnell (< 10 s) abgeschaltet werden soll, ergibt sich aus der Batteriekapazität. Unter Berücksichtigung der Batteriealterung und eines raschen Abfalls vom Anfangskurzschlussstrom kann als Anhaltswert mit der 5-fachen Batteriekapazität K gerechnet werden: I_K (A) = 5 K (Ah).

Beachte:

Dieser Wert gilt nur für die Kennlinienauswahl. Das erforderliche Ausschaltvermögen der Sicherung muss mindestens der 20-fachen Batteriekapazität entsprechen: I_1 (A) ≥ 20 K (Ah). Mit Ausnahme sehr kleiner Batterien sind daher auch bei Gleichspannungen unter 80 V SITOR- oder SILIZED-Sicherungen erforderlich.

Hinweis:

Batterieschalter und Sicherungsunterteile müssen die Verlustleistung der Sicherungen aufnehmen können. Da bei kurzen Einsatzzeiten die Enderwärmung nicht erreicht wird, ist die höhere Bemessungsleistungsabgabe der Halbleiterschutzsicherungen meistens unkritisch.

Kondensatorschutz in Kompensationsanlagen

Die Sicherungsnormen IEC 60269 und VDE 0636 definieren Sicherungen zum Unterbrechen induktiver Ströme. Leistungsfaktoren < 0,1 und kapazitive Stromkreise sind nicht erfasst. Da jeglicher anerkannter Prüfnachweis fehlt, muss man davon ausgehen, dass die hervorragenden Schalteigenschaften, die Sicherungen beim Unterbrechen induktiver Ströme zeigen, sich nicht auf kapazitive Ströme übertragen lassen. Trotzdem ist der Einsatz von gGSicherungen in Stromkreisen mit Kondensatoren, besonders bei Kompensationsanlagen, gängige Praxis. Technisch ist diese Anwendung durchaus vertretbar, wenn bestimmte Regeln eingehalten werden.

Beachte:

Die wichtigste Regel besagt: Sicherungen sollen niemals unter Einfluss kapazitiver Ströme auslösen.

Schmelzsicherungen sollten deshalb nicht zum Überlastschutz von Kondensatoren verwendet werden. Der Überlastschutz der Kondensatoren erfolgt durch eingebaute Überdruck-Abreißsicherungen. Schmelzsicherungen sind nur zum Schutz bei inneren Kurzschlüssen und äußerer Überbrückung eines Kondensators oder einer Kondensatorbatterie vorgesehen. Diese induktiven Fehlerströme beherrschen sie bestimmungsgemäß. Die Missachtung dieser Regel führt immer wieder zu unschönen Ereignissen speziell in Kompensationsanlagen.

Missglückte Abschaltung einer Stromresonanz.

Solche Ereignisse sind bei besserem Verständnis der besonderen Vorgänge in Stromkreisen mit Kondensatoren und bei sorgfältiger Sicherungsauswahl durchaus vermeidbar. Wichtige Hinweise zu den betrieblichen Anforderungen an Kondensatoren, die bei der Sicherungsauswahl zu beachten sind, sind auch in VDE 0560-46 “Selbstheilende Leistungs-Parallelkondensatoren“ zu finden.

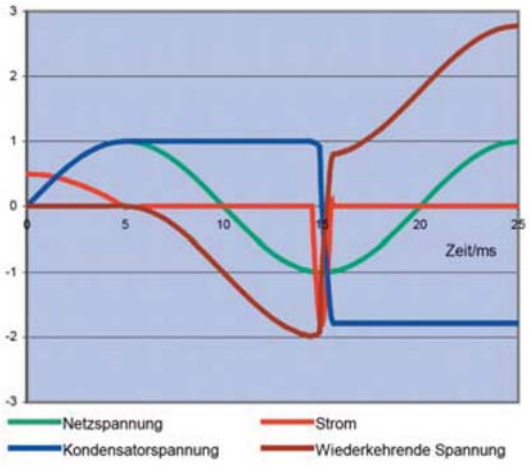
Die folgenden Regeln gelten allgemein für die Auswahl von Sicherungen zum Absichern von Parallelkondensatoren:

- Sicherungen müssen den maximalen Betriebsstrom der Kondensatoren von 1,5 I_N dauernd führen können (VDE 0560-46). Empfohlen ist daher ein Sicherungsbemessungsstrom, der mindestens das 1,6- bis 1,8-fache des Kondensatornennstroms beträgt.
- Sicherungen müssen Kondensator-Einschaltströme unbeschadet durchlassen. Das Einschalten von Kondensatoren und Kondensatorbänken ist mit sehr hohen Einschaltströmen bis zum 100-fachen des Kondensatornennstroms verbunden. Diese hohen Stromspitzen können Engstellen der Schmelzleiter schädigen und mit der Zeit die Stromtragfähigkeit vermindern. Dadurch kann es zu Überhitzung und spontaner Auslösung der Sicherung unter nicht beherrschten Schaltbedingungen kommen. Abhilfe schaffen ausreichend dimensionierte Sicherungen, voreilende, widerstandsbehaftete Einschaltkontakte des Kondensatorschützes oder Thyristorschalter, die im Spannungsnulldurchgang “sanft“ einschalten.
- Sicherungen und Kondensatoren dürfen nicht übermäßig durch Oberwellenströme oder Resonanzen belastet werden. Kondensatoren haben bei Netzfrequenz eine definierte Impedanz, die eine Überlast praktisch ausschließt. Nichtlineare Verbraucher, besonders elektronische Netzgeräte und Steuerungen erzeugen Stromoberschwingungen, welche die Kondensatoren und Sicherungen zusätzlich

belasten. In Industrienetzen können Oberschwingungen leicht den Effektivwert der Grundschwingung erreichen. Mögliche Folgen sind Überhitzung und Fehlfunktion von Sicherungen mit zu kleinem Bemessungsstrom. Bei zu hohem Oberschwingungsanteil hilft nur die "Verdrosselung" (Vorschalten von Induktivitäten) der Kompensationsanlage, um die Kondensatoren vor unzulässiger Überlast zu schützen.

- Die Sicherungsauswahl soll Ausgleichsströme zwischen benachbarten Kondensatorbänken berücksichtigen. Beim separaten Schalten oder bei Fehlern in einzelnen Kondensatoreinheiten fließen Ausgleichsströme zwischen benachbarten Kondensatorbänken. In solchen Anordnungen soll die Absicherung der Kondensatoreinheiten eine bis zwei Bemessungsstromstufen größer gewählt werden. Die Bemessungsströme der Gruppensicherungen sollen mindestens das 2,5-fache der Einzelsicherungen betragen.
- Sicherungen sollten möglichst hohe wiederkehrende Spannungen beherrschen. Resonanzen und Rückzündungen beim Ausschalten von Kondensatoren können wiederkehrende Spannungen erzeugen, welche die Netzspannung und damit die Bemessungswerte der Sicherung übersteigen.

Diese Erscheinungen sind vergleichbar dem Abschalten langer unbelasteter Hochspannungsleitungen und in der Niederspannung weniger beachtet.



Kondensatorabschaltdiagramm.

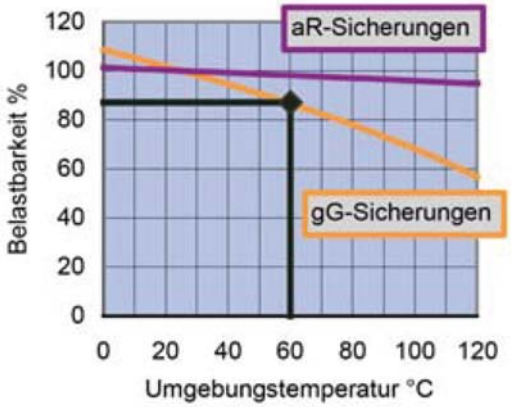
Besondere Anwendungen und Umgebungsbedingungen

Umgebungstemperaturen > 40 °C

Umgebungstemperaturen > 40 °C stellen für die Funktion von Teilbereichssicherungen keine wesentliche Beeinträchtigung dar. Ihr Auslöseverhalten bleibt praktisch unverändert. Bei einer Schmelztemperatur von 960 °C (Silber) sind abweichende Umgebungstemperaturen für das Auslöseverhalten vernachlässigbar. Zu beachten sind jedoch die jeweiligen Grenztemperaturen für Kontakte und Leiteranschlüsse, die die zulässigen Betriebsströme begrenzen können. Bei Ganzbereichssicherungen (z. B. gG-Sicherungen) mit Schmelztemperaturen unter 200 °C ergeben sich Verschiebungen der Kennlinien zu kleineren Schmelzströmen und damit eine deutlich geringere Belastbarkeit bei erhöhten Temperaturen.

Umgebungstemperaturen < 5 °C

Umgebungstemperaturen < 5 °C sind für Sicherungen wenig kritisch. Die Schmelzzeiten von Ganzbereichssicherungen verlängern sich etwas, bei Teilbereichssicherungen ist der Effekt vernachlässigbar. Kunststoffteile können spröde werden und bei Schlagbeanspruchung leichter brechen. Niedrige Umgebungstemperaturen wirken sich generell positiv auf die elektrische Belastbarkeit von Sicherungen und Schaltgerätekombinationen aus.



Belastbarkeit von Schmelzsicherungen: Die Belastbarkeitskurven gelten für Sicherungen bei freier Konvektion der umgebenden Luft im Verteiler. Eingeschränkte Konvektion in engen Gehäusen oder forcierte Kühlung sind besonders zu betrachten.

NH-Sicherungen in Gehäusen

Bei Anhäufung von Sicherungen und anderen Wärme abgebenden Geräten in einem Gehäuse begrenzen die Gehäusegröße und die Art der Kühlung die Belastbarkeit. Bei der Erwärmungsprüfung nach VDE 0660 Teil 500 "Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen" wird berücksichtigt, dass in der Regel nicht alle Stromkreise gleichzeitig voll belastet sind, und entsprechend ihrer Anzahl wird bei Erwärmungsprüfungen ein

Belastungsfaktor < 1 angesetzt. Dieser gilt, wenn der Hersteller der Anlage keine anderen Werte nennt. Die Belastbarkeit von NH-Sicherungen in Gehäusen mit hoher Packungsdichte und mit eingeschränkter Wärmeabfuhr ist ebenfalls nur durch Erwärmungsmessungen zu bestimmen. Die Grenztemperaturen der einschlägigen Normen sind meistens nicht zielführend. Weder die höchstzulässige Lufttemperatur (40 °C gemessen im Abstand von einem Meter) noch die durch den Gebrauch von PVC-isolierten Leitern bestimmte Grenztemperatur der Leiteranschlüsse (65 K) eignen sich zur Beurteilung der Belastbarkeit von Sicherungen.

Zahl der Stromkreise	Belastungsfaktor
1	1
2-3	0,9
4-5	0,8
6-9	0,7
≥ 10	0,6

Belastungsfaktoren in Verteilungen (IEC 60947-1).

Hinweis:

VDE 0636 definierte auf nationaler Ebene eine Grenztemperatur von 55 °C für die direkt umgebende Luft von gG-Sicherungen in Gehäusen, bei der die Sicherungen nicht auslösen durften. Dieser Wert fand keinen Eingang in die Internationale Norm und verschwand damit auch aus VDE 0636.

Feuchtigkeit und Verschmutzung

Feuchtigkeit und Verschmutzung beeinträchtigen die Funktion von Sicherungen nicht. Starke Verschmutzung und Feuchte können jedoch Isolierstrecken gefährden und die Rostbildung beschleunigen. Für NH-Sicherungseinsätze, die bei einem Verschmutzungsgrad ≥ 3 (VDE 0110 Teil 1), z. B. in Kabelverteilerschränken mit Streusalzeinwirkung, eingesetzt werden sollen, kann gemäß VDE 0636 Teil 201 eine verschärfte Korrosionsprüfung vereinbart werden.

Korrosive Atmosphären

Schwefel- oder stark ammoniakhaltige Atmosphären in chemischen Betrieben oder landwirtschaftlicher Tierhaltung gefährden versilberte Kontakte durch erhöhte Korrosion. Unter solchen Bedingungen sind verzinnte oder vernickelte Kontakte besser geeignet. Zu beachten sind jedoch die niedrigeren Grenztemperaturen für diese Kontaktoberflächen. Sie erfordern in der Regel einen Reduktionsfaktor, der die größten

Bemessungsstromstärken der Baugrößen praktisch ausschließt. Ausnahme ist der reine Backup-Schutz, z. B. in Kompensationsanlagen. Vernickelte NH-Kontakte in NH-Unterteilen oder Schaltgeräten erfordern gegenüber der versilberten Ausführung einen erhöhten Kontaktdruck.

TIPP:

Über die richtige Oberflächenbeschichtung der Kontaktflächen von Sicherungsunterteilen und Sicherungseinsätzen sowie die anzuwendenden Reduktionsfaktoren sollten unbedingt Informationen beim Siemens Customer Service Center eingeholt werden.

Hinweis:

Als besonders kritisch haben sich Blindstrom-Kompensationsanlagen in Betrieben mit korrosiver Atmosphäre erwiesen, da der geringeren thermischen Belastbarkeit vernickelter NH-Kontakte eine zusätzliche Strombelastung durch Oberwellen gegenübersteht. In solchen Anlagen sollte ein möglichst großer Sicherungsbemessungsstrom gewählt werden.

Hinweis:

Die Grenztemperatur für vernickelte Kontakte ist in VDE 0636 nicht sehr klar geregelt. Einerseits wird eine Grenzübertemperatur von 70 K angegeben, andererseits in einer Fußnote diese wieder aufgehoben durch den Vermerk: "Begrenzt nur durch die Auflage, dass an benachbarten Teilen keine Schäden verursacht werden". Damit wären vernickelte Kontakte als gleichwertig zu versilberten anzusehen. Leidvolle Erfahrung vieler Hersteller und Anwender spricht dagegen. Diese Erfahrung fand auch in der D-Sicherungsnorm VDE 0636-301 ihren Niederschlag, die vernickelte Kontakte nur bei kleinen Bemessungsströmen zulässt. Ab 63 A Bemessungsstrom sind wegen der zu erwartenden hohen Temperaturen versilberte Kontakte vorgeschrieben.

Ungewöhnliche Schwingungen und Stoßbeanspruchung

Wenn besondere Sicherheit gegen Herausfallen der Sicherungseinsätze z. B. durch Erschütterungen gefordert wird, kommen in der Regel besondere Schraubensicherungen und Arretierungen der Sicherungseinsätze im Halter oder Sicherungsträger zum Einsatz. Solche besondere Bedingungen können in erdbebengefährdeten Gebieten, auf Schiffen und Schienenfahrzeugen vorliegen.

Parallelschalten von Sicherungen

Das Parallelschalten von NH-Sicherungen ist eine gängige Praxis zur Erweiterung des Bemessungsstrombereichs einer Baugröße. So lässt sich z. B. eine Niederspannungsverteilung kompakter gestalten, wenn zur Einspeisung der Sammelschiene statt einer NH 4a-Leiste zwei NH 3-Leisten parallel eingesetzt werden.
Auch bei Windkraftanlagen ist es gängige Praxis, zur niederspannungsseitigen Einspeisung mehrere NH-Sicherungsleisten oder -Lastschaltleisten parallel zu schalten. Üblich ist auch das Parallelschalten von NH-Sicherungen zum Halbleiterschutz.

Soweit entsprechende Sicherungshalter nicht bereits fertig montiert vom Hersteller bezogen werden, sind bei Parallelschaltung von Sicherungen und Sicherungsschaltgeräten einige wichtige Regeln und Hinweise zu beachten:

- Die Sicherungseinsätze müssen gleiche Bauart, Größe und Bemessungsdaten haben, am besten völlig baugleich sein.
- Zu- und Ableitungen sollten eine gleichmäßige Stromaufteilung ergeben. Bei längeren Leitungen empfiehlt es sich nachzumessen. Alternativ werden die Kabelanschlüsse zusammengeschaltet. Bei dieser Maßnahme sind jedoch die angeschlossenen Leitungen nicht einzeln, sondern nur als Bündel geschützt.
- Parallel geschaltete NH-Sicherungslastschalter sollten mechanisch gekoppelte Schalthebel haben und ohne übermäßigen Kraftaufwand zu betätigen sein.
- Der Bemessungsstrom von n parallelen Sicherungseinsätzen ist durch ungleiche Stromaufteilung stets kleiner als die Summe der Bemessungsströme n x I_n.

Ausnahme: Mehrere parallele SITOR-Halbleiterschutzsicherungen können ohne Stromreduzierung einem Halbleiterbauelement zugeordnet werden.

- Das Schmelzintegral von n parallelen Sicherungen beträgt etwa n^2 x I^2t der einzelnen Sicherungen.
- Der Durchlassstrom n paralleler Sicherungen beträgt etwa n x I_c der einzelnen Sicherungen bei einem unbeeinflussten Kurzschlussstrom I_p/n.
- Das Ausschaltvermögen der Kombination kann nicht größer angenommen werden als I_1 der einzelnen Sicherungen.
- Bei NH-Teilbereichssicherungen beginnt der Ausschaltbereich (Mindestausschaltstrom) nicht unterhalb n x k^2/n.
- Zur Ermittlung der Erwärmung muss der volle Betriebsstrom für alle n parallelen Schaltgeräte angenommen werden, da es sich nur um einen einzigen Laststromkreis handelt.

Reihenschaltung von Sicherungen

Anders als bei der Parallelschaltung lässt sich durch Reihenschaltung von Sicherungen der Anwendungsbereich, speziell die Bemessungsspannung, in der Regel nicht vergrößern. Infolge unvermeidlicher Produkttoleranzen ist immer davon auszugehen, dass auch bei Reihenschaltung gleicher Sicherungen jede einzelne Sicherung die Stromunterbrechung bei voller wiederkehrender Spannung beherrschen muss.
Ausnahme: Bei SITOR-Halbleiterschutzsicherungen kann von einer gleichmäßigen Spannungsaufteilung ausgegangen werden, wenn feststeht, dass der zu erwartende Kurzschlussstrom zu Schmelzzeiten ≤ 10 ms führt.

Schutz von Photovoltaikanlagen

Mit der stürmischen Entwicklung der regenerativen Energieerzeugung, besonders der Photovoltaik, entstand ein neues Anwendungsgebiet für Gleichstromsicherungen. Die Erzeugungsspannungen erreichen inzwischen Werte von 1.000 VAC. Diese Spannungshöhe ist für Starkstromsicherungen nicht ungewöhnlich. Schwieriger ist dagegen die Suche nach der passenden Charakteristik. Solarzellen liefern praktisch einen eingeprägten Strom der auch im Kurzschlussfall von der Sonneneinstrahlung vorgegeben, d. h. begrenzt wird.
Betriebsströme und Fehlerströme liegen so dicht beieinander, dass für einen wirksamen Schutz Sicherungen mit sehr steilen Kennlinien benötigt werden, wie sie bei SITOR- und SILIZED-Halbleiterschutzsicherungen vorliegen. Die Betriebsanforderungen an Sicherungen für Photovoltaikanlagen sind am ehesten vergleichbar mit denen von USV-Anlagen (unterbrechungsfreien Stromversorgungsanlagen).

In Hinsicht auf die Sicherungslebensdauer unter ständig wechselnder Last sind die Bedingungen jedoch noch wesentlich schärfer. Vorzeitiges Abschalten von Sicherungen durch Ermüdung des Schmelzleiters ist nicht akzeptabel, da hierdurch Betriebsunterbrechungen und Vergütungsausfälle entstehen. Nicht-Ansprechen oder Versagen der Sicherungen im Fehlerfall ist meistens noch kostenträchtiger und absolut unzulässig.

Weitere INFOS

Allgemein anerkannte Regeln für die Auswahl und Prüfung von Sicherungen für Photovoltaikanwendungen gibt es mangels ausreichender Erfahrung in dieser neuen Technik noch nicht. Siemens arbeitet deshalb eng mit den Herstellern von Photovoltaikanlagen zusammen, um auch in diesem neuen Anwendungsgebiet optimierte Komplettlösungen anbieten zu können - vom Hauptschalter, über den Überspannungs- und Fehlerstromschutz bis hin zum Überstromschutz.

www.siemens.de/beta-fibeln

Niederspannungs-Schaltanlagen

Wenn es darum geht, ein Energieverteilungskonzept mit Auslegung der Systeme und Anlagenteile zu entwickeln, sind die Anforderungen und Machbarkeiten von Endanwender und Hersteller aufeinander abzustimmen. Bei der Auswahl einer Niederspannungs-Hauptverteilung ist das Wissen über den Einsatz, die Verfügbarkeit und die späteren Erweiterungsmöglichkeiten Voraussetzung für eine wirtschaftliche Dimensionierung.
Die Anforderungen an die Energieverteilung sind äußerst unterschiedlich. Sie beginnen mit Gebäuden, die weniger hohe Anforderungen an die Stromversorgung stellen, wie z. B. Bürogebäude, und gehen bis zu den hohen Anforderungen, die z. B. Rechenzentren stellen, bei denen ein reibungsloser Betrieb im Vordergrund steht.

Schaltanlage Sivacon S8.

Da bei der Planung von Energieverteilungen im Zweckbau keine größeren Schaltfunktionen in der NSHV berücksichtigt werden müssen und keine Erweiterungen zu erwarten sind, kann eine leistungsoptimierte Technik mit hoher Einbaudichte eingesetzt werden. Hier wird überwiegend sicherungsbehaftete Technik und Festeinbau eingesetzt.

Bei der Energieverteilung für eine Produktion hingegen sind Verfügbarkeit, Erweiterbarkeit, Steuerung und Visualisierung wichtige Funktionen, um Stillstandszeiten so kurz wie möglich zu halten. Der Einsatz von sicherungsloser und sicherungsbehafteter Einschubtechnik ist hierbei eine wichtige Grundlage. Auch die Selektivität hat hier eine große Bedeutung für die Versorgungssicherheit.

Zwischen diesen beiden Extremen gibt es eine Vielzahl von Varianten, die je nach Anforderungen des Kunden optimal angepasst werden sollen. Das Verhindern von Personen- und Anlagenschäden muss jedoch bei allen

Ausführungen an erster Stelle stehen. Bei der Auswahl der richtigen Schaltanlage ist daher darauf zu achten, dass eine typgeprüfte Schaltanlage (TSK) IEC 60439-1 und DIN VDE 0660-500 mit der erweiterten Prüfung bezüglich des Verhaltens im Störlichtbogenfall (IEC 61641, VDE 0660-500, Beiblatt 2) eingesetzt wird und die Auswahl der Schutzgeräte immer unter dem Aspekt der einzuhaltenden Vorschriften bezüglich der Anforderungen an das gesamte Netz (Vollselektivität, Teilselektivität) erfolgt.

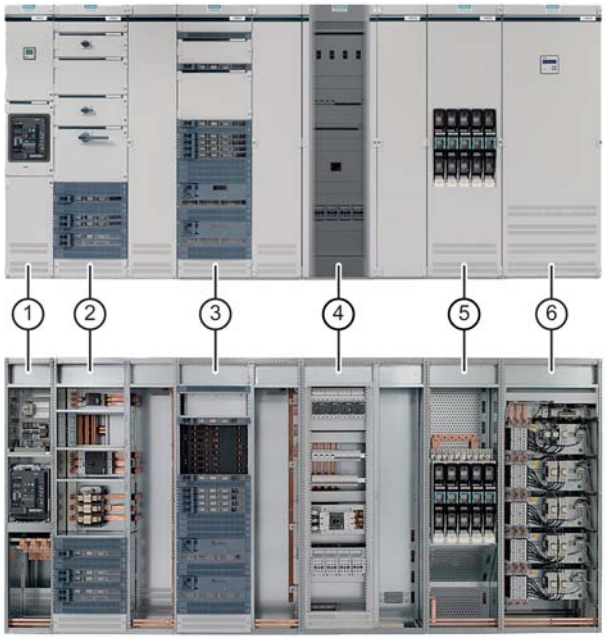
Übersicht

Die Niederspannungs-Schaltanlage Sivacon S8 ist eine variable, vielseitige und typgeprüfte Niederspannungs-Schaltgerätekombination (TSK), die sowohl in der infrastrukturellen Versorgung in Verwaltungs- und Zweckbauten als auch in der Industrie und im Gewerbe ihre Anwendung findet.

Sivacon S8 besteht aus standardisierten und typisierten Bausteinkomponenten, die sich je nach Anforderung flexibel zu einer wirtschaftlichen Gesamtlösung kombinieren lassen. Sivacon S8 zeichnet sich durch hohe Funktionalität, Flexibilität und Qualität bei platzsparenden Abmessungen sowie durch ein Höchstmaß an Personen- und Anlagensicherheit aus.

Siemens oder die autorisierten Vertragspartner übernehmen Folgendes:

- die kundenspezifische Konfiguration
- den mechanischen und elektrischen Aufbau
- die Prüfung
- Verwendung von typgeprüften Funktionsbaugruppen



Folgende Einbautechniken stehen zur Verfügung (Beschreibung von links nach rechts):

(1) Leistungsschalterfeld mit Sentron 3WL bis 4.000 A oder 3VL bis 1.600 A

(2) Universaleinbautechnik für Kabelabgänge bis 630 A in Festeinbau und Stecktechnik (3NJ6)

(3) Leistentechnik 3NJ6 (gesteckt) für Kabelabzweige bis 630 A in Stecktechnik

(4) Festeinbaufeld (Frontblende) für Kabelabgänge bis 630 A sowie Installationseinbaugeräte.

(5) Leistentechnik 3NJ4 (fest eingebaut) für Kabelabgänge bis 630 A

(6) Blindleistungskompensation bis 600 kvar

Weitere INFOS

Als Grundlage für unsere autorisierten Vertragspartner dient die von uns vorgegebene Dokumentation. Sivacon S8 ist als typgeprüfter Energieverteiler bis 4.000 A einsetzbar.

www.siemens.de/sivacon

Normen und Bestimmungen

Sivacon S8 ist eine typgeprüfte Niederspannungs-Schaltgerätekombination (TSK) nach IEC 60439-1/DIN EN 60439-1/VDE 0660-500. Sivacon S8 ist störlichtbogensicher nach IEC 61641, DIN EN 60439 / VDE 0660-500, Beiblatt 2 ausgeführt.

Leistungsschaltertechnik

Die Felder für den Einbau von Leistungsschaltern Sentron 3WL und 3VL werden für Einspeisung der Schaltanlage sowie für Abgänge und Sammelschienen-Kupplungen (Längs- und Querkupplung) eingesetzt. Für die gesamte Leistungsschaltertechnik gilt, dass nur ein Schalter pro Feld zur Anwendung kommt. Der Geräteeinbauraum ist für folgende Funktionen vorgesehen:

- Einspeisungen/Abgänge mit Leistungsschalter 3WL in Festeinbau und Einschubausführung bis 4.000 A
- Längs- und Querkupplung mit Leistungsschalter 3WL in Festeinbau und Einschubausführung bis 4.000 A
- Einspeisungen/Abgänge mit Leistungsschalter 3VL in Festeinbau bis 1.600 A

Leistungsschalter-technik

Universaleinbautechnik

Die Felder für Kabelabzweige in Festeinbau- und Stecktechnik bis 630 A sind für den Einbau nachstehender Schaltgeräte vorgesehen:

- Leistungsschalter Sirius 3RV/3VL
- Lasttrennschalter Sentron 3K
- Lasttrennschalter Sentron 3NP
- Lasttrennschalter Sentron 3NJ6 in steckbarer Ausführung

Die Schaltgeräte werden auf Montageplatten aufgebaut und mit der Einspeiseseite an die vertikalen Verteilschienen angeschlossen. Über einen Adapter wird der Einbau von steckbaren Leisten 3NJ6 ermöglicht. Nach vorn wird das Feld mit Feldtüren oder Fachtüren abgedeckt.

Universaleinbautechnik

Leistentechnik 3NJ6 gesteckt

Leistentechnik 3NJ6 gesteckt

Die Felder für Kabelabzweige in Stecktechnik bis 630 A sind für den Einbau von Lasttrennschaltern in Leistenform vorgesehen. Durch den zuleitungsseitigen Steckkontakt bieten sie eine preiswerte Alternative zur Einschubtechnik. Sie ermöglichen durch ihre Modulbauweise eine leichte und schnelle Umrüstung bzw. Austausch unter Betriebsbedingungen.
Der Geräteeinbauraum ist zur Aufnahme von steckbaren Leisten mit Polmittenabstand von 185 mm vorgesehen. Das Steckschienensystem ist hinten im Feld angeordnet und durch einen optionalen Berührungsschutz mit Abgriffsöffnungen in Schutzart IP20 abgedeckt. Somit wird ein Austausch der Leisten ohne Abschaltung der Schaltanlage ermöglicht.

Festeinbautechnik mit Frontblenden

Die Felder für Kabelabzweige in Festeinbautechnik bis 630 A sind für den Einbau nachstehender Schaltgeräte vorgesehen:

- Leistungsschalter Sirius 3RV/3VL
- Lasttrennschalter Sentron 3K
- Lasttrennschalter Sentron 3NP
- Installationseinbaugeräte

Die Schaltgeräte werden auf stufenlos einstellbare Geräteträger aufgebaut und mit der Einspeiseseite an die vertikalen Verteilschienen angeschlossen. Nach vorn wird das Feld mit Blenden mit und ohne Schwenkfunktion oder mit zusätzlichen Türen mit oder ohne Sichtscheibe abgedeckt.

Festeinbautechnik mit Frontblenden

Leistentechnik 3NJ4 fest eingebaut

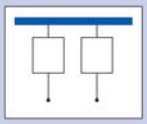
Die Felder für Kabelabgänge in Festeinbautechnik bis 630 A sind für den Einbau von Sicherungs-Lasttrennleisten 3NJ4 vorgesehen. Die Sicherungs-Lasttrennleisten bieten mit ihrer kompakten Bauweise und dem modularen Aufbau optimale Einbaubedingungen hinsichtlich der erzielbaren Packungsdichte.
Das Feldschienensystem ist horizontal hinten im Feld angeordnet. Dieses Feldschienensystem ist über Verbindungsschienen an das Hauptsammelschienensystem angeschlossen. Die Sicherungs-Lasttrennleisten werden direkt auf das Feldschienensystem aufgeschraubt.

Leistentechnik 3NJ4 fest eingebaut

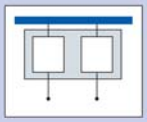
Checkliste für die innere Unterteilung der Felder gemäß IEC 60439-1, VDE 0660-500 Pkt. 7.7

Zeichenerklärung:

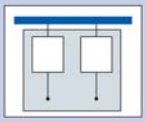
Form 1
Keine innere Unterteilung



Form 2
Unterteilung zwischen Sammelschienen und Funktionseinheiten

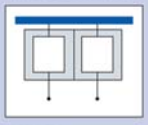


Form 2a
Keine Unterteilung zwischen Anschlüssen und Sammelschienen

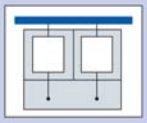


Form 2b
Unterteilung zwischen Anschlüssen und Sammelschienen

Form 3
Unterteilung zwischen Sammelschienen und Funktionseinheiten + Unterteilung zwischen Funktionseinheiten untereinander + Unterteilung zwischen Anschlüssen und Funktionseinheiten

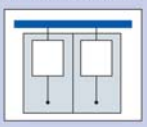


Form 3a
Keine Unterteilung zwischen Anschlüssen und Sammelschienen

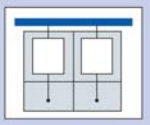


Form 3b
Unterteilung zwischen Anschlüssen und Sammelschienen

Form 4
Unterteilung zwischen Sammelschienen und Funktionseinheiten + Unterteilung zwischen Funktionseinheiten untereinander + Unterteilung zwischen Anschlüssen von Funktionseinheiten



Form 4a
Anschlüsse in derselben Unterteilung wie die angeschlossene Funktionseinheit



Form 4b
Anschlüsse nicht in derselben Unterteilung wie die angeschlossene Funktionseinheit

Felder						
Leistungsschaltertechnik	☐ Form 1	☐ Form 2b	☐ Form 3a			☐ Form 4b
Festeinbautechnik	☐ Form 1	☐ Form 2b			☐ Form 4a	☐ Form 4b
Leistentechnik 3NJ4 fest eingebaut	☐ Form 1	☐ Form 2b				
Leistentechnik 3NJ6 gesteckt	☐ Form 1			☐ Form 3b		☐ Form 4b
Blindleistungskompensation	☐ Form 1	☐ Form 2b				

* Die Form 4b nach IEC 60439-1 ist vergleichbar mit Form 4 Type 4 bzw. Form 4 Type 5 nach BS (British Standard) 60439, wenn die Kabelzuführung über PG-Verschraubungen im Bodenblech erfolgt.

Niederspannungs-Schutz- und -Schaltgeräte

Beachte:

Alle Darstellungen gelten für Niederspannungsnetze bzw. -verteilungen in IEC-Anwendungen. Für Anlagen nach UL-Normen gelten hiervon abweichende Bestimmungen und Kriterien.

Stromkreise und Gerätezuordnung

Kernfunktionen in den jeweiligen Stromkreisen:

Einspeisestromkreis

Aufgabe: Anlagenschutz

Schutzgerät:

- ACB (offener Leistungsschalter)

Verteilerstromkreis

Aufgabe: Anlagenschutz

Schutzgeräte:

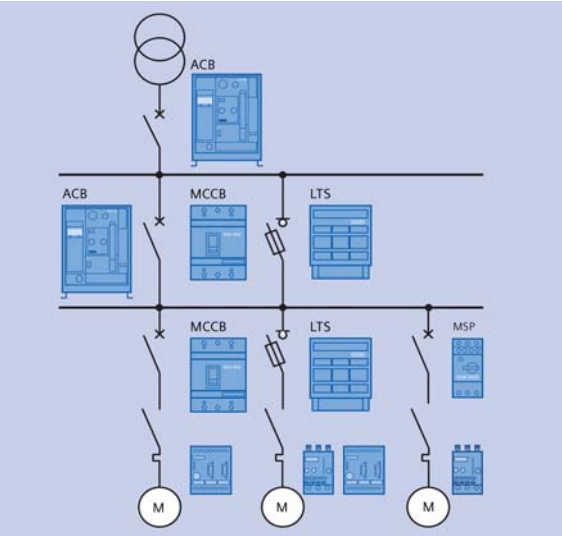
- ACB (air circuit breaker: offener Leistungsschalter)
- MCCB (molded case circuit breaker: kompakte Leistungsschalter)
- LTS (Lasttrennschalter)

Endstromkreis

Aufgabe: Motorschutz

Schutzgeräte:

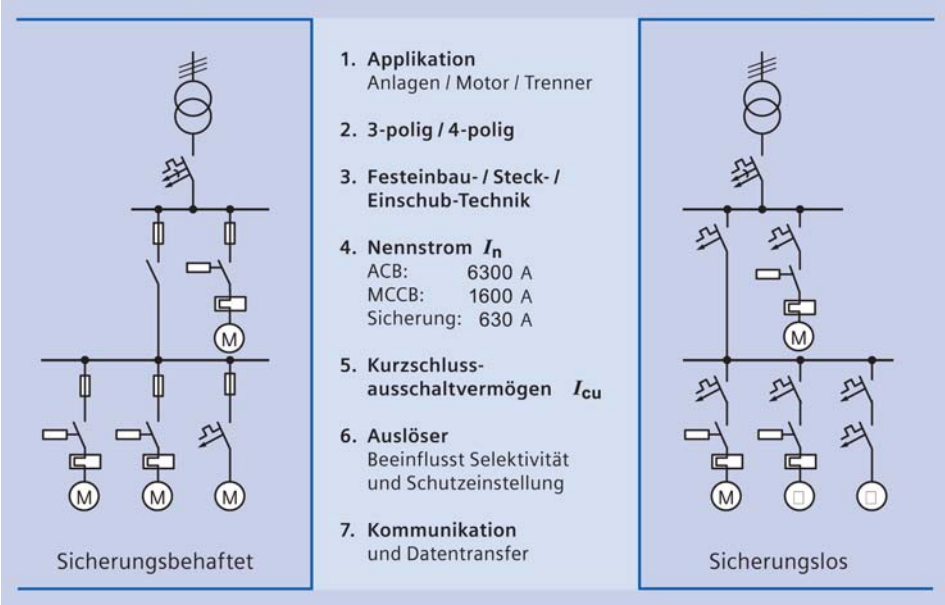
- MCCB (Leistungsschalter für Motorschutz)
- LTS (Lasttrennschalter)
- MSP (Schütz 3RT, Überlastrelais 3RU, Motorschutz- und Steuergeräte 3UF)



Kernfunktionen der Schutzgeräte in den einzelnen Stromkreisarten.

Kriterien zur Geräteauswahl

Ein Schutzgerät ist immer ein Teil eines Stromkreises und muss die entsprechenden Anforderungen erfüllen. Nachfolgend werden die wichtigsten Auswahlkriterien dargestellt. Die Grafik der Hauptauswahlkriterien zeigt die sieben wichtigsten Auswahlkriterien, die bei der Geräteauswahl mindestens berücksichtigt werden müssen.



Überblick über die Hauptauswahlkriterien.

Anforderungen an die Schutzgeräte in den drei Stromkreisarten

Geräteeinsatz im Einspeisestromkreis

Die Einspeisung ist der "sensibelste" Stromkreis in der gesamten Energieverteilung. Bei einem Ausfall an dieser Stelle würde das gesamte Netz und damit das Gebäude oder die Produktion stromlos sein. Dieses Worst-Case-Szenario ist in die Planung einzubeziehen. Redundante Einspeisungen und selektive Schutzeinstellung sind wichtige Voraussetzungen zur sicheren Netzgestaltung. Um diese Voraussetzungen zu schaffen, ist die richtige Auswahl der Schutzgeräte von elementarer Bedeutung. Einige wichtige Dimensionierungseckdaten werden nachfolgend angesprochen.

Bemessungsstrom

Der Einspeiseleistungsschalter in der NSHV ist für die maximale Belastung des Transformators/Generators auszulegen. Bei der Verwendung von belüfteten Trafos ist der höhere Betriebsstrom von bis zu 1,5 • I_N des Trafos zu berücksichtigen.

Kurzschlussfestigkeit

Die Kurzschlussfestigkeit des Einspeiseleistungsschalters wird bestimmt von (n–1) • $I_{k\,max}$ des bzw. der Trafos (n = Anzahl der Trafos). Das heißt, der maximal auftretende Kurzschlussstrom an der Einbaustelle muss bekannt sein, um die entsprechende Kurzschlussstromfestigkeit des Schutzgeräts (I_{cu}) festzulegen.

Bemessungsspannung U_{rT}	400/230 V, 50 Hz			525 V, 50 Hz			690/400 V, 50 Hz		
Bemessungswert der Kurzschlussspannung u_{kr}		4 % [1]	6 % [2]		4 % [1]	6 % [2]		4 % [1]	6 % [2]
Bemessungsleistung	Bemessungsstrom I_r	Anfangskurzschlusswechselstrom I_k [3]		Bemessungsstrom I_r	Anfangskurzschlusswechselstrom I_k [3]		Bemessungsstrom I_r	Anfangskurzschlusswechselstrom I_k [3]	
[kVA]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]	[A]
50	72	**1933**	**1306**	55	**1473**	**995**	42	**1116**	**754**
100	144	**3871**	**2612**	110	**2950**	**1990**	84	**2235**	**1508**
160	230	**6209**	**4192**	176	**4731**	**3194**	133	**3585**	**2420**
200	288	**7749**	**5239**	220	**5904**	**3992**	167	**4474**	**3025**
250	360	**9716**	**6552**	275	**7402**	**4992**	209	**5609**	**3783**
315	455	**12247**	**8259**	346	**9331**	**6292**	262	**7071**	**4768**
400	578	**15506**	**10492**	440	**11814**	**7994**	335	**8953**	**6058**
500	722	**19438**	**13078**	550	**14810**	**9964**	418	**11223**	**7581**
630	910	**24503**	**16193**	693	**18669**	**12338**	525	**14147**	**9349**
800	1154	–	**20992**	880	–	**15994**	670	–	**12120**
1000	1444	–	**26224**	1100	–	**19980**	836	–	**15140**
1250	1805	–	**32791**	1375	–	**24984**	1046	–	**18932**
1600	2310	–	**41857**	1760	–	**31891**	1330	–	**24265**
2000	2887	–	**52511**	2200	–	**40008**	1674	–	**30317**
2500	3608	–	**65547**	2749	–	**49941**	2090	–	**37844**
3150	4550	–	**82656**	3470	–	**62976**	2640	–	**47722**

[1] u_{kr} = 4 %, genormt nach DIN 42503 für S_{rT} = 50 ... 630 kVA

[2] u_{kr} = 6 %, genormt nach DIN 42511 für S_{rT} = 100 ... 1600 kVA

[3] I_k Unbeeinflusster Transformator-Anfangskurzschlusswechselstrom ohne Berücksichtigung der Netzvorimpedanz **unter Berücksichtigung des Spannungsfaktors und des Korrekturfaktors der Transformatorimpedanz gemäß DIN EN 60909 / DIN VDE 0102 (Juli 2002)**

Bemessungsströme und Anfangskurzschlusswechselströme von Drehstrom-Verteiltransformatoren mit 50 bis 3.150 kVA.

Exakte Kurzschlussstromberechnungen inklusive Dämpfungen der Mittelspannungsebenen oder der verlegten Kabel können z. B. mithilfe der Dimensionierungssoftware Simaris design angestellt werden. Simaris design ermittelt die maximalen und minimalen Kurzschlussströme und dimensioniert automatisch die korrekten Schutzgeräte.

Gebrauchskategorie

Bei der Dimensionierung eines selektiven Netzes ist es unabdingbar, auf zeitliche Staffelung der Schutzgeräte zurückzugreifen. Bei Anwendung der zeitlichen Staffelungen bis zu 500 ms muss der ausgewählte Leistungsschalter in der Lage sein, den auftretenden Kurzschlussstrom über die eingestellte Zeit zu führen. Die Ströme sind in Trafonähe sehr hoch. Diese Stromtragfähigkeit gibt der I_{cw}-Wert (Bemessungskurzzeitstromfestigkeit) des Leistungsschalters an; d. h., das Kontaktsystem muss in der Lage sein, den maximalen Kurzschlussstrom,

sprich die darin enthaltene Energie, bis zur Abschaltung zu führen. Diese Anforderung wird von Leistungsschaltern der Gebrauchskategorie B erfüllt (z. B. offene Leistungsschalter, ACB).

TIPP:

Strombegrenzende Leistungsschalter (Kompaktleistungsschalter, MCCB) schalten im Stromanstieg ab. Deshalb können sie kompakter gebaut werden.

Auslöser

Bei selektiver Netzgestaltung muss der Auslöser (trip unit) der Einspeiseleistungsschalter mit einer LSI-Charakteristik versehen sein. Der unverzögerte Auslöser (I) muss deaktivierbar sein. Je nach Kennliniencharakteristik der vor- und nachgeordneten Schutzgeräte sollten die Kennlinien des Einspeiseleistungsschalters im Überlastbereich (L) als auch im verzögerten Kurzschlussschutzbereich (S) optional umschaltbar sein (I^4t- bzw. I^2t-Kennlinienverlauf). Die Anpassung von vor- und nachgeordneten Geräten wird damit erleichtert.

Inneres Zubehör

Abhängig von der jeweiligen Steuerung werden sowohl Spannungsauslöser (früher: Arbeitsstromauslöser) als auch Unterspannungsauslöser benötigt.

Kommunikation

Besonders von den sehr sensiblen Einspeisestromkreisen werden zunehmend Daten der aktuellen Betriebszustände, Wartungsinformationen, Fehlermeldungen und Analysen etc. gefordert. Gegebenenfalls ist Flexibilität hinsichtlich späterer Auf- bzw. Umrüstung auf die gewünschte Art der Datenübertragung gefordert.

Geräteeinsatz in Einspeisestromkreisen (Kupplung)

Wenn die Kupplung (Verbindung von Netz 1 zu Netz 2) offen betrieben wird, hat der Leistungsschalter nur die Funktion eines Trenners bzw. Hauptschalters. Eine Schutzfunktion (Auslöser) ist nicht unbedingt erforderlich.

Die nachfolgenden Betrachtungen gelten für den geschlossenen Betrieb.

Bemessungsstrom

Der Bemessungsstrom ist für den maximal möglichen Betriebsstrom (Lastausgleich) zu dimensionieren. Der Gleichzeitigkeitsfaktor kann mit 0,9 angenommen werden.

Kurzschlussfestigkeit
Die Kurzschlussfestigkeit des Einspeiseleistungsschalters wird bestimmt durch die Summe der Kurzschlussanteile, die über die Kupplung fließen. Dies ist abhängig vom Aufbau der Teilschienen und deren Einspeisung.

Gebrauchskategorie
Auch hier ist wie bei der Einspeisung die Gebrauchskategorie B für die Stromtragfähigkeit (I_{cw}-Wert) notwendig.

Auslöser
Für die Versorgungssicherheit ist die selektive Abschaltung mit den Kupplungen zu betrachten. Da ähnlich wie beim Parallelbetrieb zweier Trafos im Fehlerfall Kupplungs- und Einspeiseschalter die gleichen Stromanteile sehen, ist die LSI-Charakteristik erforderlich. Bei größeren Netzen und/oder schwierig zu ermittelnden Schutzeinstellungen ist die Zusatzfunktion "Zeitverkürzte Selektivitäts-Steuerung" (ZSS) einzusetzen.

Geräteeinsatz im Verteilerstromkreis
Der Verteilerstromkreis bekommt die Energie von der übergeordneten Ebene (Einspeisestromkreis) und speist diese in die nächste Verteilerebene (Endstromkreis) ein. Je nach Land, Gewohnheiten etc. können hier Leistungsschalter und Sicherungen für den Anlagenschutz eingesetzt werden.
Es müssen die Vorgaben der Stromkreisdimensionierung erfüllt werden. Ist volle Selektivität gefordert, bietet der ACB Vorteile. Aus preislichen Gründen wird der ACB im Verteilerstromkreis aber häufig erst ab einem Nennstrom von mehr als 630 A oder 800 A eingesetzt. Da der ACB kein strombegrenzendes Gerät ist, unterscheidet er sich daher wesentlich von allen anderen Schutzeinrichtungen wie MCCB, MCB und Sicherungen. Da es sonst keine eindeutigen Empfehlungen geben kann, stellt die nachfolgende Tabelle die wesentlichen Unterschiede und Grenzen der jeweiligen Schutzgeräte dar.

Geräteeinsatz im Endstromkreis
Der Endstromkreis bekommt die Energie vom Verteilerstromkreis und führt diese zum Endverbraucher (z. B. Motor, Lampe, ortsveränderlicher Verbraucher (Steckdose) etc.). Die Schutzgeräte müssen die jeweiligen Bedingungen seines zu schützenden Endverbrauchers erfüllen.

Hinweis:

Alle Schutzeinstellungen, Kennlinienvergleiche etc. beginnen immer von der Last aus. Das heißt, im Endstromkreis werden keine Schutzgeräte mit einstellbaren zeitlichen Staffelungen benötigt.

		ACB Offener Leistungs-schalter	MCCB Kompakt-leistungs-schalter	Sicherungs-lasttrenn-schalter	Lasttrenn-schalter mit Sicherungen	MCB Leistungs-schutzschalter	Bezugswerte, Vorgaben
Normen	IEC	ja	ja	ja	ja	ja	Region
Anwendung	Anlagenschutz	ja	ja	ja	ja	ja	Netzsystem
Einbau	Festeinbau	ja	ja	ja	ja	ja	Verfügbarkeit
	steckbar	–	bis 800 A	–	teilweise	–	
	Einschub	ja	ja	–	–	–	
Nennstrom	I_n	6300 A	1600 A	630 A	630 A	125 A	Betriebsstrom I_B
Kurzschluss-ausschaltvermögen	I_{cu}	bis 150 kA	bis 100 kA	bis 120 kA	bis 120 kA	bis 25 kA	Maximaler Kurz-schlussstrom $I_{k\,max}$
Stromtragfähigkeit	I_{cw}	bis 80 kA	bis 5 kA	–	–	–	Stromkreis
Polzahl	3-polig	ja	ja	ja	ja	ja	Netzsystem
	4-polig	ja	ja	–	teilweise	–	
Auslösecharakteristik	ETU	ja	ja	–	–	–	Netzsystem
	TM	–	bis 630 A	ja	ja	ja	
Auslösefunktion	LI	ja	ja	ja*	ja*	ja	Netzsystem
	LSI	ja	ja	–	–	–	
	N	ja	ja	–	–	–	
	G	ja	ja	–	–	–	
Kennlinien	fix	–	ja	ja	ja	ja	Netzsystem
	einstellbar	ja	ja	–	–	–	
	optional	ja	ja	–	–	–	
Schutz gegen elektrischen Schlag, Abschaltbedingung	Erfassung von $I_{k\,min}$	keine Begrenzung	abhängig von Leistungslänge	abhängig von Leistungslänge	abhängig von Leistungslänge	abhängig von Leistungslänge	Minimaler Kurzschluss-strom $I_{k\,min}$
Kommunikation (Datenübertragung)	hoch	ja	–	–	–	–	Kundenvorgabe
	mittel	ja	ja	–	–	–	
	niedrig	ja	ja	ja	ja	ja	
Einschalten	vor Ort	ja	ja	ja	ja	ja	Kundenvorgabe
	Ferne (Motor)	ja	ja	–	teilweise	–	
Derating	voller Nenn-strom bis	60 °C	50 °C	30 °C	30 °C	30 °C	Schaltanlage
Netzsynchronisation		ja	bis 800 A	–	–	–	Netzsystem

* nach Sicherungskennlinie

Übersicht Schutzgeräte

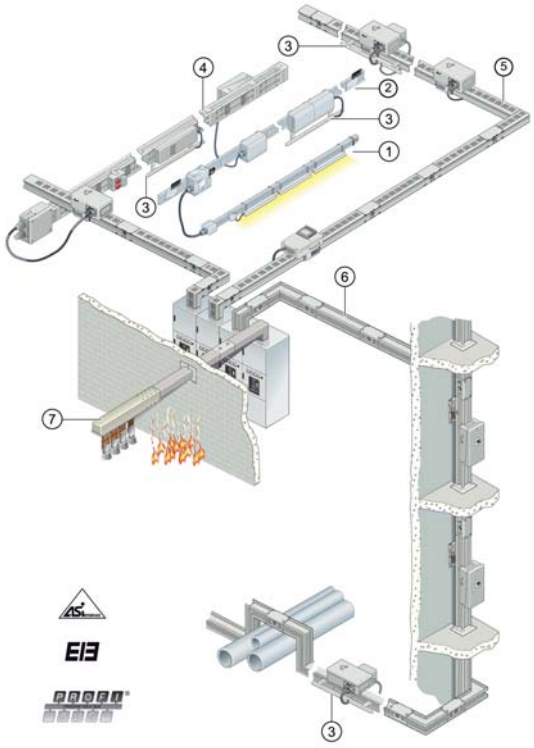
Schienenverteiler-Systeme

Im Vergleich zur Kabelinstallation bieten Schienenverteiler-Systeme bedeutende Vorteile. Als erstes ist dabei die kompakte Bauweise, die niedrigere Brandlast sowie die hohe Flexibilität in punkto Erweiterung und Modifikation zu erwähnen. Auch die Planung ist einfach und überschaubar, und die Lebensdauer der eingesetzten Komponenten ist entsprechend hoch. Die Befestigung ist einfach, was zu kurzen Installationszeiten führt. Die Schienenverteiler-Systeme Sivacon 8PS sind außerdem typgeprüfte Niederspannungs-Schaltgeräte-Kombinationen (TSK) nach IEC/EN 60439-1 und -2, die eine entsprechend hohe Sicherheit aufweisen.

Ein bedeutender Vorteile von Schienenverteiler-Systemen ist auch, dass Abgangskästen in kurzen Abständen wie sie in den Schienen vorgesehen sind gesteckt bzw. gezogen werden können. Dies kann auch ohne Freischalten der Spannung geschehen; es muss lediglich darauf geachtet werden, dass der Abzweig lastfrei ist (Ausnahme: BD2-AK02(03)-Abgangskästen und BD2-Abgangskästen mit Sicherungsunterteilen). Gemäß DIN EN 50110-1 (VDE 0105-1) muss jedoch immer auf die Einhaltung entsprechender nationaler Vorschriften geachtet werden. Denn was technisch geht, muss nicht in jedem Land auch erlaubt sein.

Kurzum: Der Schienenverteiler hat seine Stärken im Transportieren, Verteilen, Schalten und Schützen von elektrischer Energie. Die Integration der Automatisierungs- und Gebäudesystemtechnik in die Siemens Schienenverteiler-Systeme ergibt weitere Pluspunkte. Dabei wird zudem die Flexibilität des Schienenverteilers erhöht.
Durch die Kombination von Standard-Abgangskästen mit Standard-Gerätekästen wird besondere Effizienz bei Planung, Installation und im Betrieb gewährleistet.

Schienenverteiler-Systeme fügen sich harmonisch in das bauliche Gesamtbild ein. Stromschienen mit Abgängen für große Verbraucher, aber auch Stromschienen für den direkten Lichtanschluss sind möglich.



1) *CD-K-System*
2) *BD01-System*
3) *Vernetzte Schienenverteiler*
4) *BD2-System*
5) *LD-System*
6) *LX-System*
7) *LRC-System*

Übersicht der Schienenverteiler-Systeme bei Siemens.

Hinweis:

Bei Siemens gibt es Schienenverteiler von 25 bis 6.300 A. Diese gibt es mit Stromschienen aus Kupfer und Aluminium. Die Schienen sind so gestaffelt, dass sie für unterschiedliche Anforderungen eine optimale Lösung darstellen.

Die standardmäßig vorhandenen Abgangskästen der Schienenverteiler-Systeme lassen sich durch Standardgerätekästen zu einer Systemlösung vernetzter Schienenverteiler kombinieren. Konstruktiv bedingt wird für den Schienenverteiler BD01 ein Gerätekasten auf Basis eines BD01-Gerätekastens verwendet. Für die Systeme BD2, LD und LX kommt je Applikation ein universeller Gerätekasten zum Einsatz. Die Standardapplikationen werden werksseitig aus der Kombination Abgangskasten und Gerätekasten konfektioniert. Die Verlegung der Busleitung zur Übertragung der Datensignale erfolgt in einem am Schienenkasten zu montierenden Kabelkanal.

Schalten und Melden mit dem BD2-System.

Wenn Sie das Planungskonzept einer Energieversorgung entwickeln, müssen Sie nicht nur die gültigen Normen und Bestimmungen beachten, sondern auch wirtschaftliche und technische Zusammenhänge klären und erörtern. Dabei müssen Sie die elektrischen Betriebsmittel, z. B. Verteiler und Transformatoren, so bemessen und auswählen, dass sie nicht als einzelnes Betriebsmittel, sondern insgesamt ein Optimum darstellen.
Alle Komponenten müssen für die Belastungen sowohl im Nennbetrieb als auch für den Störfall ausreichend dimensioniert werden. Bei der Erstellung des Energiekonzepts müssen Sie außerdem folgende wichtige Punkte berücksichtigen:

- Art, Nutzung und Form der Gebäude (z. B. Hochhaus, Flachbau oder Geschosszahl)
- Ermitteln von Lastschwerpunkten, Feststellen von möglichen Versorgungstrassen und Standorten für Transformatoren und Hauptverteiler
- Feststellung der gebäudebezogenen Anschlusswerte nach spezifischen Flächenbelastungen entsprechend der Gebäudenutzung
- Bestimmungen und Auflagen der Baubehörden
- Auflagen des Versorgungsnetzbetreibers

Als Ergebnis der Planung werden Sie nie eine einzige Lösung erhalten. Vielmehr müssen Sie mehrere Varianten hinsichtlich der technischen und wirtschaftlichen Auswirkungen beurteilen. Dabei stehen folgende Forderungen im Vordergrund:

- Einfache und überschaubare Planung
- Hohe Lebensdauer
- Hohe Verfügbarkeit
- Geringe Brandlast
- Flexible Anpassung an Änderungen im Gebäude

Diese Forderungen lassen sich in den meisten Anwendungen durch den Einsatz geeigneter Schienenverteiler leicht und einfach erfüllen. Daher werden immer häufiger Schienenverteiler anstatt Kabelinstallationen von planenden Ingenieurbüros zum Energietransport und zur Energieverteilung eingesetzt.
Siemens bietet Schienenverteiler von 25 bis 6300 A:

- Das Schienensystem CD-K von 25 bis 40 A für die Versorgung von Leuchten und Kleinstverbrauchern
- Das Schienensystem BD01 von 40 bis 160 A für die Versorgung von Werkstätten mit Abgängen bis 63 A
- Das System BD2 von 160 bis 1250 A zur Versorgung von mittelgroßen Verbrauchern in Gebäuden und der Industrie
- Das ventilierte System LD zur Versorgung von Verbrauchern mit mittelhohem Energieverbrauch in der Industrie
- Das Sandwichsystem LX zur Energieverteilung von hohen Energiemengen in Gebäuden
- Das vergossene System LRC zum Energietransport bei extremen Umgebungsbedingungen (IP68).

Die Energieverteilung ist der Haupteinsatzbereich der Schienenverteiler. Strom kann nicht nur an festgelegten Stellen, wie bei der Kabelinstallation, entnommen werden. Stromabgänge können vielmehr in der gesamten mit Energie zu versorgenden Anlage beliebig variiert werden. Um Energie abzunehmen, genügt es, einen Abgangskasten an der Abgangsstelle auf die Schiene zu stecken. Es entsteht eine variable Verteileranlage für eine linien- und / oder flächendeckende, dezentrale Energieversorgung. Die Abgangsstellen sind beidseitig oder einseitig an den geraden Schienenkästen angebracht.
Zur Energieentnahme und zum Anschluss der Verbraucher gibt es beim Schienenverteilersystem je nach Ausführung und Anforderung Abgangskästen bis zu einem Bemessungsstrom von 1.250 A aus einer Abgangsstelle. Bestückt wird der Abgangskasten wahlweise mit Sicherungen, Sicherungslastschaltern, Leitungsschutzschaltern oder Leistungsschaltern.
Bei allen Schienenverteiler-Systemen von Siemens können die Abgänge ohne Freischaltung des Schienenstrangs verändert werden. Gemäß DIN EN 50110-1 (VDE 0105-1) muss jedoch immer auf die Einhaltung entsprechender nationaler Vorschriften geachtet werden. Dabei gelten folgende Anforderungen:

Muss-Anforderungen:

- Der PE-Kontakt des Abgangskastens eilt bei der Montage vor und bei der Demontage nach.
- Die Teile, die während Montage-, Demontage- oder Anschlussarbeiten unter Spannung stehen, sind vollständig gegen direktes Berühren (Schutzart IP2x) geschützt.
- Die Montage ist nur in der korrekten Phasenlage möglich.

Kann-Anforderungen:

- Für Montage und Demontage wird zwangsläufig die Lastfreiheit sichergestellt.

Diese Kannanforderung wird von den BD2A/BD2C-, LDA/LDC- und LXA/LXCAbgangskästen erfüllt. Ausnahme: BD2-AK02(03)-Abgangskästen und BD2-Abgangskästen mit Sicherungsunterteilen.

Abgangskästen für die flexible Stromabnahme.

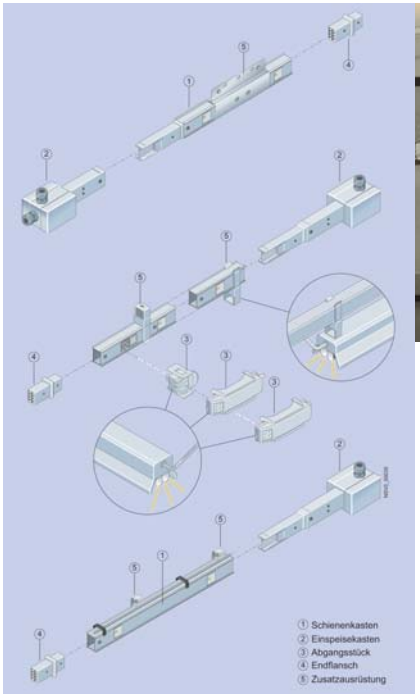
TIPP:

Beispiele zur komfortablen Planung und Umsetzung von Schienenverteiler-Systemen befinden sich im Planungshandbuch Sivacon 8PS im Internet unter: www.siemens.de/lowvoltage

Vergleich von Schienenverteilern und Kabelinstallationen

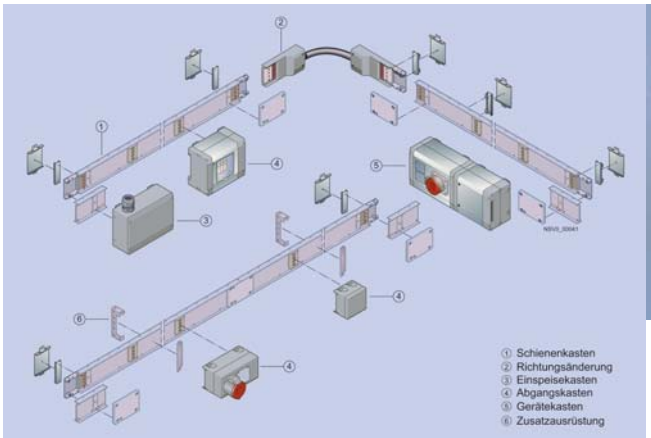
Merkmal	Stromschienenverteiler	Kabelinstallation
TSK-Anlage	X	—
mechanische Sicherheit	hoch	gering
Brandlast	gering	hoch
Temperaturverhalten	Umgebungstemperatur gemäß DIN EN 60439-1 und -2 max. +40 °C und +35 °C im 24-Stunden-Mittel	Kabelbelastungen sind gemäß DIN 57298-4, Kap. 5.3.3.1 / DIN VDE 0298-4/2.88 auf +30 °C bezogen.
Netzaufbau	Übersichtlich, da linienförmiger Netzaufbau mit seriell angeordneten Verbraucherabgängen über Abgangskästen	Sehr große Kabelhäufung am Einspeisepunkt, da sternförmige Versorgung der Verbraucher von zentraler Energieverteilung
Schutzorgane für Verbraucher	Im Abgangskasten: dadurch direkte, sofort nachvollziehbare Zuordnung zum Verbraucher vor Ort	Zentral im Verteiler: Dadurch ist die Zuordnung zum Verbraucher nicht unmittelbar nachprüfbar. Man muss sich auf die Richtigkeit der Beschriftung von Kabel und Verbraucher verlassen.
Platzbedarf	gering	Hoch, da entsprechend große Verteilungen notwendig sind. Verlegungskriterien (Häufung, Verlegungsart, Strombelastbarkeit etc.) müssen beachtet werden.
Nachrüstbarkeit bei Veränderung der Verbraucherabgänge	Große Flexibilität durch Abgangsstellen in den Schienenkästen und große Anzahl von verschiedenen Abgangskästen	Nur mit hohem Aufwand möglich. Verlegung von zusätzlichen Kabeln von zentraler Verteilung zum Verbraucher.
Planung und Projektierung	Einfach und schnell unter Einbeziehung von EDV-gestützten Planungstools	Hoher Projektierungsaufwand (Verteilung und Kabelauslegungen, Kabelpläne etc)
Dimensionierung (Strom, Spannungsfall, Nullungsbedingungen)	geringer Aufwand	hoher Aufwand
Aufwand bei Fehlersuche	gering	hoch
Brandschottung	typgeprüft, fabrikfertig	Abhängig von der Ausführungsqualität auf der Baustelle
Funktionserhalt	Geprüfter Funktionserhalt nach DIN 4102-12	Abhängig von der Ausführungsqualität auf der Baustelle
Elektromagnetische Beeinflussung	Gering, durch Stahlblechkapselung und Leiterkonfiguration	Bei Standardkabel relativ hoch
Montage	Wenig Montagematerial und Hilfsmittel, geringe Montagezeiten	Aufwändiges Montagematerial und umfangreiche Hilfsmittel, hohe Montagezeiten
Gewicht	Gewicht bis zu 1/3 des vergleichbaren Kabelgewichts	Bis zum 3-fachen des Schienenverteiler-Gewichts
Halogenfreiheit, PVC-Freiheit	Schienenkästen sind grundsätzlich halogen- und PVC-frei.	Standardkabel sind nicht halogen- und PVCfrei.

CD-K: 25 bis 40 A für die Versorgung von Leuchten und Kleinstverbrauchern
Dieses System gibt es mit 3 und 5 Leitern in Schutzart IP54 bzw. IP55. Die Standardlängen sind 2 m und 3 m. Der Abstand der Abgangsstellen beträgt 0,5 m und 1 m . Die Bemessungsbetriebsspannung liegt bei 400 VAC. Die Abgangsstücke sind kodierbar.



Das Schienenverteiler-System CD-K von 25 A bis 40 A.

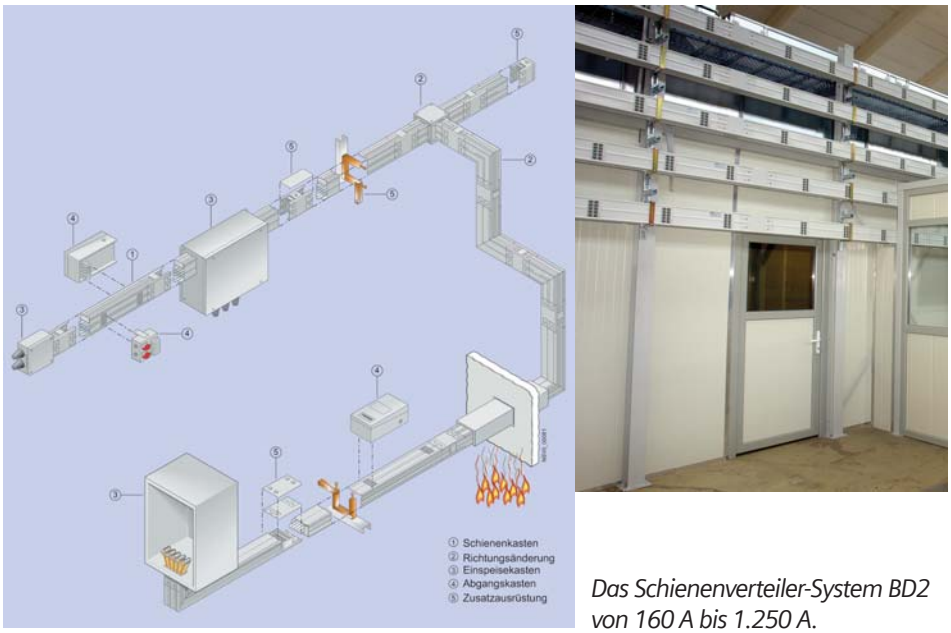
BD01: 40 bis 160 A für Werkstätten mit Abgängen bis 63 A
Bei nur einer Baugröße stehen fünf Bemessungsströme (40 A, 63 A, 100 A, 125 A, 160 A) zur Verfügung. Das System besitzt vier Leiter (L1, L2, L3, N) während das Gehäuse den PE bildet. Die Standardlängen sind 2 m und 3 m. Der Abstand der Abgangsstellen liegt bei 0,5 m und 1 m. Die Einspeisung erfolgt durch eine Universaleinspeisung. Auch hier gibt es ein optionales Kodierset.



Das Schienenverteiler-System BD01 von 40 A bis 160 A.

BD2: 160 bis 1.250 A zur Versorgung von mittelgroßen Verbrauchern in Gebäuden und industriellen Anwendungen

Dieses Schienenverteiler-System ist für den Energietransport von einem Versorgungspunkt zu einem anderen einsetzbar. Darüber hinaus wird der BD2-Schienenverteiler als Steigeleitung in Hochhäusern eingesetzt. Als Schienenmaterial für die fünf Leiter (L1, L2, L3, N, PE) kann Kupfer oder Aluminium gewählt werden. Standardlängen sind 3,25 m, 2,25 m und 1,25 m; Wahllängen gibt es von 0,5 m bis 3,24 m. Abgangskästen lassen sich beidseitig 0,25 m bzw. 0,5 m zueinander versetzt stecken. Für einen erhöhten Brandschutz gibt es Brandschotts mit Feuerwiderstandsklasse S90 und S120 nach DIN 4102, Blatt 2 bis 4.



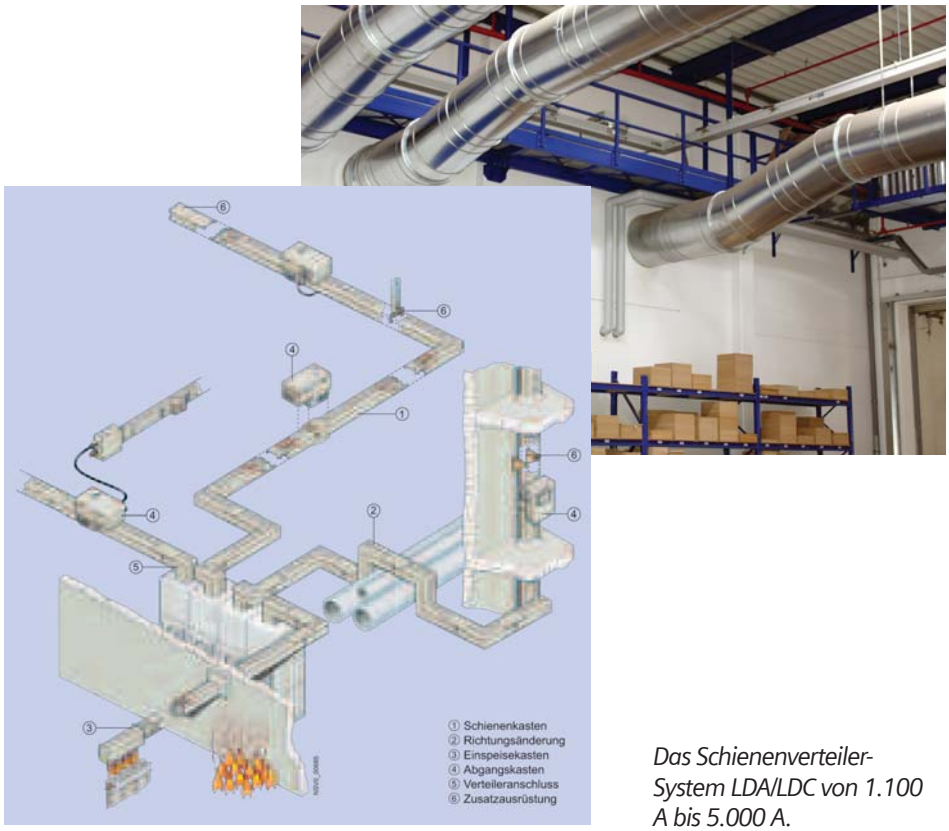
Das Schienenverteiler-System BD2 von 160 A bis 1.250 A.

Beispiel:

Schienenverteiler-Systeme BD2A 250 haben eine Brandlast von nur 1,32 kWh/m, vergleichbare Kabel (NYY 4 x 95/50 mm^2) dagegen 5,19 kWh/m. Zudem sind die Schienen halogenfrei.

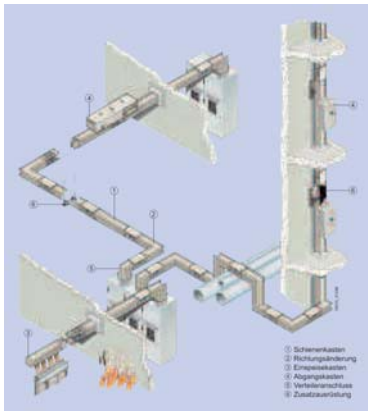
LDA/LDC: 1.100 bis 5.000 A als ventiliertes System zum Energietransport in Anwendungen mit hohem Energiebedarf

Das System dient sowohl zum Energietransport als auch zur Energieverteilung. Es hat sich vor allem auch bei Verbindungen vom Transformator zur Niederspannungshauptverteilung und weiter zu den Unterverteilungen bewährt. Hierzu gibt es unter anderem ein Universalanschlussstück für Transformatoren sowie einen TSK-Verteileranschluss an das System SIVACON von Siemens und für Fremdverteiler. Auch hier gibt es ein eigenes Brandschott, was den sicheren Umgang mit dem System vereinfacht.



Das Schienenverteiler-System LDA/LDC von 1.100 A bis 5.000 A.

LXA/LXC: 800 bis 5.000 A vorwiegend zum lageunabhängigen Energietransport und speziellen Leiterkonfigurationen wie doppelter N oder isolierter PE
Durch die Lageunabhängigkeit ohne Derating eignet sich das System ideal für den Energietransport und die Energieverteilung in mehrgeschossigen Gebäuden. Unterstützt wird der vielfältige Einsatz durch ein 4- und 5-Leiter-System in vielfältiger Leiterkonfiguration, einschließlich separat geführtem PE sowie doppeltem N. Auch hier ist das Leitermaterial Kupfer oder Aluminium. Die Standardlängen sind 1 m, 2 m und 3 m, während es auch hier Wahllängen zwischen 0,35 m und 2,99 m gibt. Abgangsstellen können beidseitig angebracht werden. Brandschottung ist ebenfalls vorhanden.



Das Schienenverteiler-System LX von 800 A bis 5.000 A.

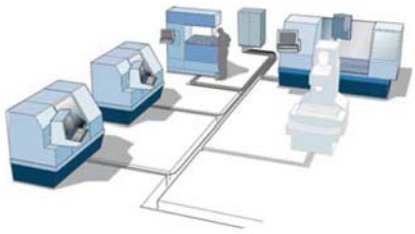
LR: 630 bis 6.300 A zum Energietransport bei extremen Umgebungsbedingungen (IP68)

Dieses System besitzt ein Gehäuse aus Epoxid-Gießharz, das zur hohen Schutzart IP68 führt. Es ist damit ideal geeignet bei hoher Luftfeuchtigkeit, korrosiven oder salzhaltigen Atmosphären. Deshalb kann es auch im Freien verwendet werden. Für den sicheren Betrieb sorgen auch typgeprüfte Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen (TSK) nach IEC/EN 60439-1 und -2. Das gesicherte Ansprechen des Schutzorgans bei langen Strecken wird durch den vollen PE erreicht.

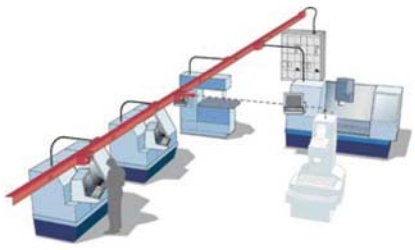
Das Schienenverteiler-System LR eignet sich ideal für den Energietransport über weite Strecken im Außenbereich.

TIPP:

Einfach planen, schnell montieren und flexibel einsetzen



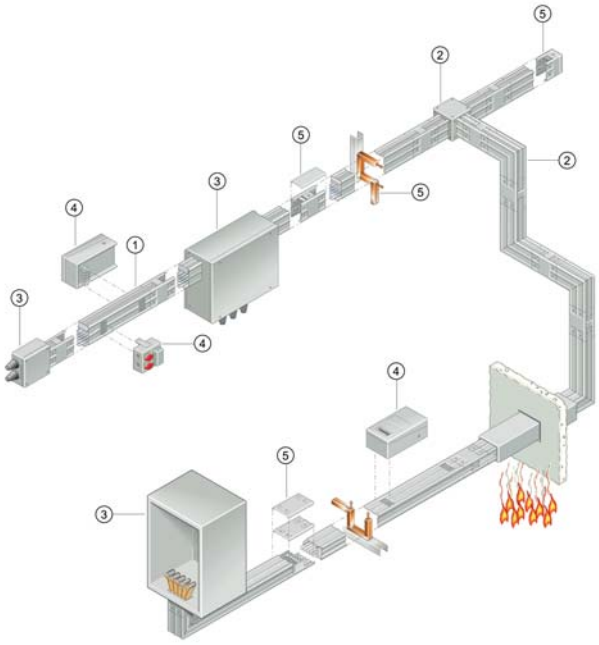
Bei der Kabelinstallation werden neue Verbraucher über eine zusätzliche Unterverteilung unter erhöhtem Kosten- und Zeitaufwand angeschlossen.



Verbrauchernahe Abgangskästen beim Schienenverteiler schaffen Transparenz vor Ort.

Planungstipps und Besonderheiten

BD2A/BD2C



1) *Gerade Schienenkästen*
2) *Richtungsänderungen*
3) *Einspeisekästen*
4) *Abgangskästen*
5) *Zusatzausrüstung*

Übersicht Schienenverteiler BD2A/BD2C.

Durch die innovative Konstruktion des BD2-Schienenverteilers werden keine zusätzlichen Ausgleichskästen für die Dehnungskompensation der Stromschienen benötigt. Die auftretenden Längenausdehnungen, bedingt durch die Stromwärme, werden in der Schnellverbindungsklemme ausgeglichen.
Des Weiteren kann der BD2-Schienenverteiler unabhängig von der Aufbaulage und der Schutzart immer mit 100 % Bemessungsstrom belastet werden. Eine Reduzierung ist nur bei reinem Energietransport in der Aufbaulage hochkant (auf 0,9 x I_e) erforderlich.

Um große Leistungen mit kleinen Schienenquerschnitten zu verteilen, kann es sinnvoll sein, eine Mitteneinspeisung zu verwenden. Sie wird in der Mitte eines Strangs zwischen zwei Schienenkasten montiert. Mit einer Kabelzuleitung werden der linke und der rechte Strang gleichzeitig versorgt. Es können somit zum Beispiel bei einer 1.000 A-Mitteneinspeisung 2.000 A eingespeist werden. Hierbei müssen Sie dem Überlast- und Kurzschlussschutz des Schienensystems besondere Aufmerksamkeit widmen.

In folgenden Fällen müssen Sie zusätzliche Schutzmaßnahmen treffen:
- Wenn der Kurzschlussschutz nicht durch das vorgeschaltete Schutzorgan sichergestellt ist und/oder
- wenn die Überlastung nicht durch die Art und Anzahl der Verbraucher gegeben ist.

Es gibt zwei mögliche Schutzmaßnahmen:

1. Verwendung einer Mitteneinspeisung mit je einem Kuppelkasten rechts und links neben der Einspeisung. Der Kuppelkasten ist mit einer Schutzeinrichtung (Sicherung oder Leistungsschalter) versehen, die die Kurzschluss- und Überlastfunktion sicherstellt.
2. Verwendung von zwei Endeinspeisungen, die mittig im Strangverlauf angeordnet werden. Die zwei Zuleitungen werden in der Verteileranlage separat abgesichert.

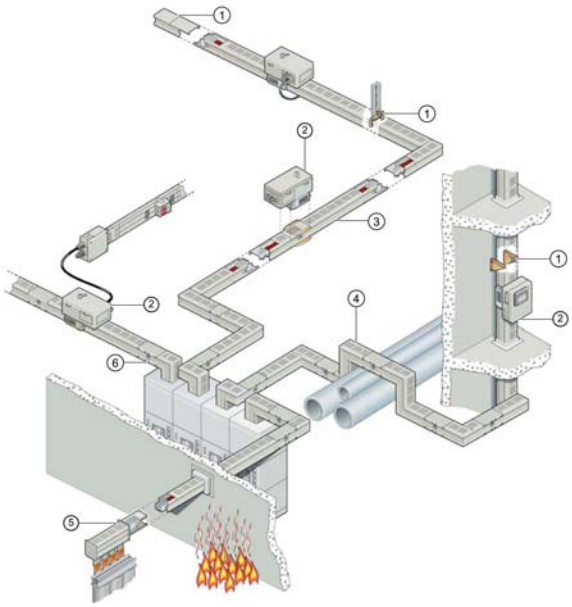
Kuppelkästen werden eingesetzt, wenn es notwendig ist, Anlagenteile oder Bereiche der Energieversorgung abzuschalten oder entsprechend zuzuschalten. Zur Anpassung des Schienensystems an die tatsächliche Last kann der Querschnitt der Stromschiene reduziert und mit einem Kuppelkasten gegen Kurzschluss und Überlast geschützt werden. Abgangskästen werden zur Versorgung von Verbrauchern und Stromabgängen, z. B. zur Einspeisung kleinerer Schienenverteiler, verwendet.

Hinweis:

Nicht jeder Abgangskasten hat eine Bemessungsspannung von 690 V und eine Kurzschlussfestigkeit entsprechend der Systemgröße. Die eingesetzten Abgangskästen müssen mit ihrer Kurzschlussfestigkeit und Bemessungsspannung zu den in der Anlage erforderlichen Werten passen. Bei Nichtübereinstimmung mit der Bemessungsspannung muss ein Abgangskasten mit passenden Einbauten gewählt werden. Bei größeren Kurzschlussströmen müssen diese durch vorgeschaltete Schutzgeräte (z. B. Leistungsschalter) begrenzt werden.

LDA/LDC

1) Zusatzausrüstung
2) Abgangskästen
3) Gerade Schienenkästen
4) Richtungsänderungen
5) Einspeisungen
6) Verteileranschluss-kästen

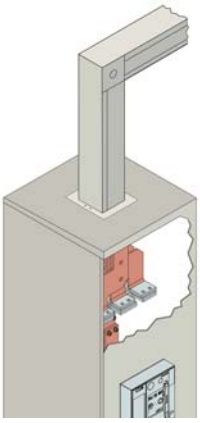


Übersicht Schienenverteiler LDA/LDC.

Die Nenneinbaulage des Schienenverteilers ist die horizontale Hochkantlage der Stromschienen. In seltenen Fällen - gegeben durch einen bestimmten Strangverlauf oder durch die Option, Abgangskästen seitlich zu stecken - ist eine Flachlage der Stromschienen nicht zu vermeiden. Durch die dadurch erhöhte innere Erwärmung des Systems ist eine Reduzierung des Bemessungsstroms notwendig. Gleiches gilt für vertikale Höhenversprünge > 1,3 m.
Das Schienenverteilersystem LD ist ein belüftetes System. Bei der Erhöhung der Schutzart von IP34 auf IP54 (geschlossenes System) muss der Bemessungsstrom entsprechend reduziert werden. Die Werte lassen sich aus entsprechenden Tabellen des Herstellers entnehmen.

Bedingt durch die Verlustwärme bei Nennbelastung dehnen sich die Stromschienen im Schienenkasten aus. Um diese Längenausdehnung zu kompensieren, müssen Sie bei der horizontalen Installation in definierten Abständen einen Dehnungsausgleich einplanen. Bei der vertikalen Installation ist jeder Schienenkasten mit einem Dehnungsausgleich ausgestattet.

Beim Schienenverteiler-System LDA/LDC ist eine Anbindung an das Siemens-Energieverteilersystem Sivacon als Typgeprüfte Niederspannungs-Schaltgerätekombination (TSK) nach DIN EN 60439-1 und DIN EN 60439-2 möglich. Der Schienenverteiler kann sowohl von oben als auch von unten an das Verteilersystem angebunden werden. Die Anbindung zwischen Schienenverteiler und den Verteilersystemen Sivacon 8PV, 8PT, S4 und S8 garantiert eine hohe Kurzschlussfestigkeit, die durch Typprüfung sichergestellt ist und enorme Sicherheit für die Energieübertragung bietet.



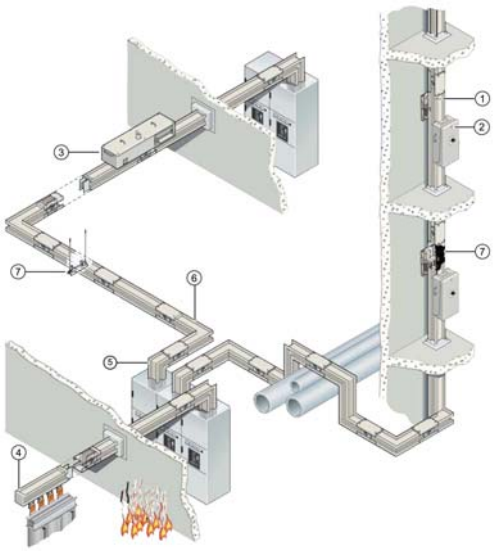
Hinweis:

Für Bemessungsströme bis 5.000 A werden durchgehend typgeprüfte Bausteine angeboten.

Verteileranbindung als Typgeprüfte Niederspannungs-Schaltgerätekombination (TSK) nach DIN EN 60439-1 und DIN EN 60439-2.

LXA/LXC

1) Gerade Schienenkästen (mit oder ohne Abgangsstellen)
2) Abgangskästen, unter Spannung steckbar
3) Abgangskästen, fest installiert
4) Einspeisekästen
5) Anschluss an Siemens-Energieverteiler
6) Richtungsänderungen
7) Zusatzausrüstung für Wand- / Deckenbefestigung

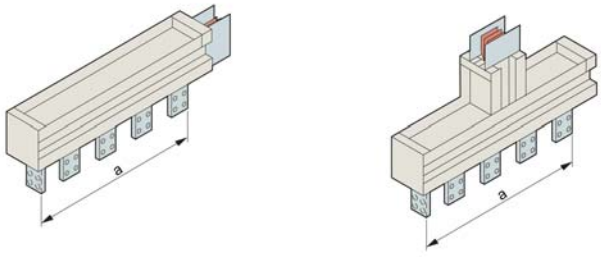


Übersicht Schienenverteiler LXA/LXC.

Beim Schienenverteiler-System LXA/LXC ist eine Anbindung an das Siemens-Energieverteilersystem Sivacon als Typgeprüfte Niederspannungs-Schaltgerätekombination (TSK) nach DIN EN 60439-1 und DIN EN 60439-2 möglich. Die Verbindung von Verteiler und LX-Schienenverteiler erfolgt über ein eingebautes Schienenverteiler-Anschlussstück für Bemessungsströme bis 5.000 A. Der Schienenanschluss kann hierbei sowohl von oben als auch von unten vorgenommen werden und ermöglicht eine flexible Anbindung. Die Anbindung zwischen Schienenverteiler und den Verteilersystemen Sivacon 8PV, 8PT, S4 und S8 garantiert eine hohe Kurzschlussfestigkeit, die durch eine Typprüfung sichergestellt ist und enorme Sicherheit für die Energieübertragung bietet.

Bei Betrachtung der verschiedenen Bemessungsströme sowie der unterschiedlichen Reihenfolgen und Abständen der Phasen verfügen Transformatoren über eine hohe Typenvielfalt. Diese Typenvielfalt erfordert eine hohe Flexibilität beim Transformatoranschluss von Schienensystemen. Das dafür erhältliche universelle Anschlussstück kann auch zur Anbindung von Verteilern eingesetzt werden. Für LX-Schienenverteiler bis 6.300 A stehen Transformatoranschlussstücke mit Schienenanschluss seitlich und Schienenanschluss oben zur Verfügung.

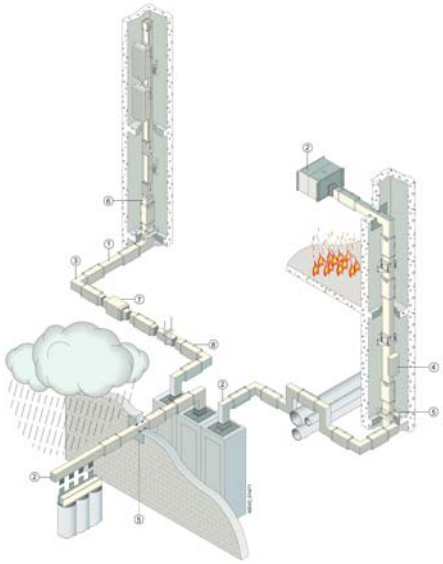
Für LX-Schienenverteiler bis 6.300 A gibt es Anschlussstücke an Transformatoren und Verteiler mit Schienenanschluss seitlich (links) und Schienenanschluss oben (rechts).



LRC

Grundsätzlich dient das System LRC (IP 68) dem reinen Energietransport. Trotzdem besteht die Möglichkeit, durch den Einsatz von geraden Schienenkästen mit Abzweigstellen und entsprechenden Abzweigkästen auf dem LRC-Strang Energieabgriffe für Verbraucher zu schaffen.

1) *Gerade Schienenkästen*
2) *Einspeisekästen*
3) *Richtungsänderungen*
4) *Abzweigkästen*
5) *Zubehör*
6) *Adapter auf das LX-System*
7) *Dehnungsausgleich*
8) *Vergossenes Verbindungselement*

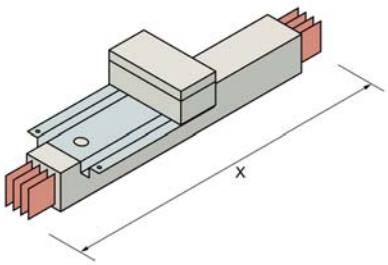


Aufbau System LRC.

Der Abzweigkasten ermöglicht eine Stromentnahme bis 630 A. An dem Abzweigkasten erfolgt der Anbau eines Geräteraums (rechts vom Abzweigkasten gestrichelt). In den Geräteraum werden projektspezifische Schaltgeräte, z. B. Leistungsschalter, eingebaut und elektrisch sowie mechanisch an den Abzweigkasten angeschlossen.

Beachte:

Abzweigkästen sind hier grundsätzlich nicht unter Spannung steckbar.



Gerader Schienenkasten mit Abzweigkasten beim LXR-Verteilersystem.

Ermittlung des Spannungsfalls

Dimensionierung und Auswahl

Bei großen Stranglängen kann es notwendig werden, den Spannungsfall zu berechnen:

$$\Delta U = k \bullet \sqrt{3} \bullet I_B \bullet l \bullet (R_1 \bullet \cos\varphi + X_1 \bullet \sin\varphi) \bullet 10^{-3}$$

ΔU = Spannungsfall (V)
I_B = Bemessungsstrom (A)
l = Gesamtlänge des Systems (m)
k = Belastungsverteilungsfaktor
R_1 = ohmscher Widerstand (mΩ/m) bei Schienenenderwärmung
X_1 = induktiver Widerstand (mΩ/m) bei Schienenenderwärmung
cos φ = Leistungsfaktor

Der Belastungsverteilungsfaktor k für die Berechnung des Spannungsfalls am Ende des Schienenverteilersystems ist wie folgt definiert:

- k = 1, wenn die Last auf das Ende Schienenverteilersystem konzentriert ist (Energietransport).
- k = (n +1) / (2 x n), wenn die Last gleichmäßig auf n Abzweige verteilt ist.

Falls Sie den Spannungsfall im Abstand d zwischen dem Anfang eines Abzweigs und dem Anfang des Schienensystems berechnen wollen, gilt:

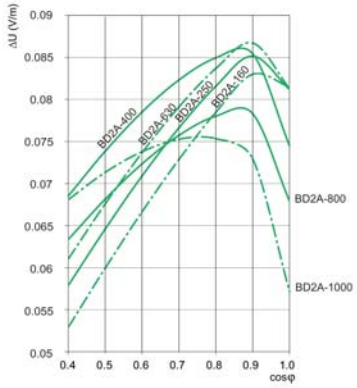
- k = (2 x n + 1 - n x d/L) / (2 x n)

Spannungsfalldiagramme

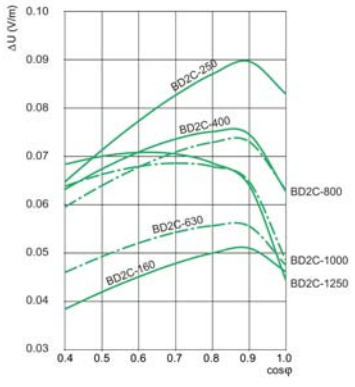
Die folgenden Diagramme zeigen den Spannungsfall der Systeme BD2A/BD2C, LDA/LDC, LXA/LXC und LRC

- unter Berücksichtigung der Warmwiderstände (entsprechend EN 60439-2)
- bei einem Belastungsverteilungsfaktor
  k = 1 für LDA/LDC, LXA/LXC und LRC
  k = 0,5 für BD2A/BD2C
- bei Belastung mit dem Bemessungsstrom. (Bei einem anderen Stromverteilungsfaktor muss der Kurvenwert mit dem entsprechenden Verteilungsfaktor multipliziert werden).

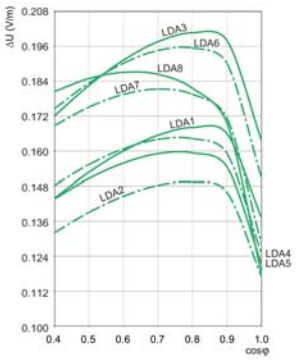
Bei Anlagen mit ungleichmäßig verteilter Last verweisen wir auf das Kurzschluss- und Lastfluss-Berechnungsprogramm Simaris design.

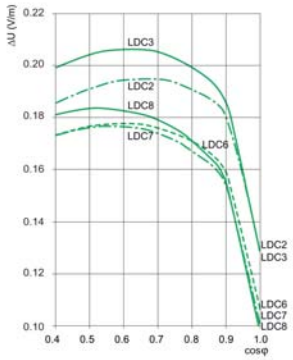


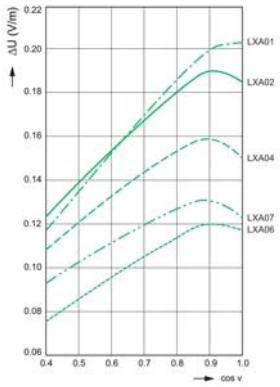
Spannungsfall BD2A

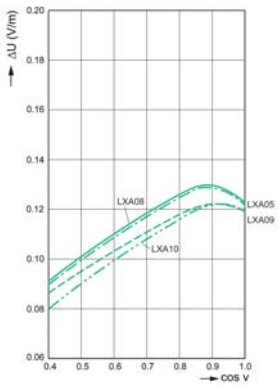


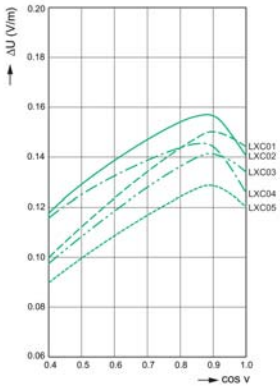
Spannungsfall BD2C

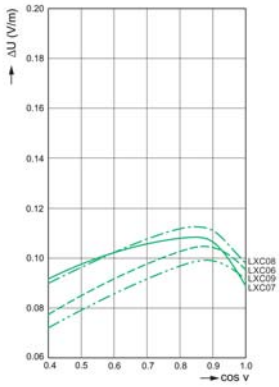

ΔU (V/m)
LDA3
LDA6
LDA8
LDA7
LDA1
LDA2
LDA4
LDA5
cosφ

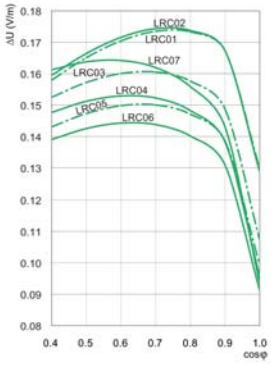

ΔU (V/m)
LDC3
LDC2
LDC8
LDC7
LDC6
LDC2
LDC3
LDC6
LDC7
LDC8
cosφ

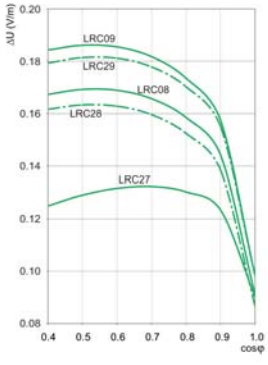

ΔU (V/m)
LXA01
LXA02
LXA04
LXA07
LXA06
cos v


ΔU (V/m)
LXA08
LXA05
LXA09
LXA10
cos v


ΔU (V/m)
LXC01
LXC02
LXC03
LXC04
LXC05
cos v


ΔU (V/m)
LXC08
LXC06
LXC09
LXC07
cos v


ΔU (V/m)
LRC02
LRC01
LRC07
LRC03
LRC04
LRC05
LRC06
cosφ


ΔU (V/m)
LRC09
LRC29
LRC08
LRC28
LRC27
cosφ

Überlast- und Kurzschlussschutz

Schienenverteiler müssen gegen Kurzschluss und Überlast geschützt werden. Als Schutzorgane kommen Sicherungen und Leistungsschalter zur Anwendung. Bei der Auswahl der Schutzgeräte können die Höhe der zu erwartenden Kurzschlussströme, Selektivitätsanforderungen oder Bedien- und Meldefunktionen mit entscheidend sein. Bei der Festlegung des Kurzschlussschutzes durch Sicherungen und Leistungsschalter dürfen die angegebenen Kurzschlussfestigkeiten der Schienenverteiler nicht überschritten werden. Es ist von der Höhe des zu erwartenden Kurzschlussstroms abhängig, ob ein Strom begrenzendes Schutzorgan erforderlich ist und welches Kurzschluss-Ausschaltvermögen das Schutzorgan haben muss. Im Allgemeinen gilt:

$$I''_k \leq I_{cc} \leq I_{cu}$$

I''_k = zu erwartender Kurzschlussstrom am Einbauort
I_{cc} = bedingter Bemessungskurzschlussstrom des Schienenstrangs
I_{cu} = Bemessungskurzschluss-Ausschaltvermögen des Leistungsschalters

TIPP:

Die Auslösecharakteristik des Schutzorgans ist entsprechend der Kurzschlussfestigkeit der Schienensysteme, der Netzform, Art und Anzahl der Verbraucher sowie den länderspezifischen Vorgaben und Typserien zu wählen. Für diese Auswahl empfehlen wir die Verwendung von Netzberechnungsprogrammen wie SIMARIS design.

Schleifenimpedanz

Da die Größe der Schleifenimpedanz maßgeblich für die Höhe des 1-poligen Kurzschlussstroms ist, schreibt die DIN VDE 0100-610 vor, die Schleifenimpedanz zu ermitteln zwischen:

- Außenleiter und Schutzleiter oder
- Außenleiter und PEN-Leiter.

Der Wert darf ermittelt werden durch:

- Messung mit Messgeräten oder
- Rechnung oder
- Nachbildung des Netzes am Netzmodell.

TIPP:

Mithilfe der Schleifenimpedanz der gesamten Schienenverteileranlage lässt sich der zu erwartende kleinste 1-polige Kurzschlussstrom einfach berechnen.

$$I_{klmin} = \frac{c \bullet U_n}{\sqrt{3} \bullet Z_k}$$

c = *Spannungsfaktor 0,95*
Un = *Spannung zwischen den Außenleitern*
Zk = *Kurzschlussimpedanz*

TIPP:

Aufwändig ist es, die Schleifenimpedanz aller dazu beitragenden Betriebsmittel einer Anlage (Netzeinspeisung, Transformatoren, Verteiler, Kabelstrecken etc.) zu ermitteln. Hier reduziert die Verwendung einer Netzberechnungssoftware, wie SIMARIS design, die die notwendigen Daten der gängigen elektrischen Betriebsmittel in einer Datenbank enthält, maßgeblich den Planungsaufwand.

Schutzarten für Schienenverteiler

Einsatz in feuergefährdeten Betriebsstätten

In feuergefährdeten Betriebsstätten werden nach europäischer Norm HD 384.4.482 S1 erhöhte Anforderungen an die Schutzart von elektrischen Betriebsmitteln gestellt. Wenn eine Feuergefährdung aufgrund der Art der verarbeiteten oder gelagerten Materialien besteht, muss bei möglicher Staubansammlung die Mindestschutzart IP5X entsprechen. Wenn kein Staub zu erwarten ist, gelten entsprechend die nationalen Vorschriften.
Die VdS Schadenverhütung des Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft fordert:

- bei Feuergefährdung durch Staub oder / und Fasern: Schutzart IP5X
- bei Feuergefährdung durch andere leichtentzündliche feste Fremdkörper mit einem Durchmesser von 1 mm und größer: Schutzart IP4X.

Die Schienenverteiler SIVACON 8PS von Siemens entsprechen diesen Forderungen. Sie sind folglich für diesen Einsatz geeignet.

Berührungsschutz nach DIN EN 50274

Die Regelungen zum Berührungsschutz nach DIN EN 50274 gelten für das Gestalten elektrischer Betriebsmittel und deren Anordnung in elektrischen Anlagen mit einer Bemessungsspannung bis 1.000 V AC bzw. 1.500 V DC hinsichtlich des Schutzes gegen direktes Berühren, sofern Betätigungselemente (Drucktasten, Kipphebel, etc.) in der Nähe berührungsgefährlicher Teile angebracht sind.
Der Berührungsschutz "Fingersicherheit" bezieht sich nur auf das Betätigungselement in Betätigungsrichtung. Dabei muss, ausgehend vom Mittelpunkt, im Umkreis des Betätigungselements zu berührungsgefährlichen Teilen ein Abstand mit dem Radius r = 30 mm sichergestellt sein. Die Schutzart IP20 ist mehr als der Berührungsschutz "fingersicher". Sie beinhaltet den Berührungsschutz von elektrischen Betriebsmitteln aus allen Richtungen. Für Geräte mit Berührungsschutz "Fingersicherheit" und Schutzart IP00 kann auf Wunsch ein erweiterter Berührungsschutz durch Abdeckungen erreicht werden.

Hinweis:

Die Schutzarten elektrischer Betriebsmittel nach DIN EN 60529 geben Auskunft über die Zusammenhänge von Berührungsschutz, Fremdkörperschutz und Wasserschutz.

Schutzarten elektrischer Betriebsmittel (DIN EN 60529)

	1. Kennziffer	1. Kennziffer	2. Kennziffer
	Berührungsschutz	**Fremdkörperschutz**	**Wasserschutz**
IP00	kein besonderer Schutz	kein besonderer Schutz	kein besonderer Schutz
IP20	Fernhalten von Fingern	gegen Festkörper ≥ 12,5 mm	kein besonderer Schutz
IP34	Fernhalten von Werkzeugen	gegen Festkörper ≥ 2,5 mm	keine schädliche Wirkung von Spritzwasser
IP41	Fernhalten von Draht	gegen Festkörper ≥ 1 mm	keine schädliche Wirkung von Tropfwasser (senkrechtes Tropfen)
IP43	Fernhalten von Draht	gegen Festkörper ≥ 1 mm	keine schädliche Wirkung von Sprühwasser
IP54	Fernhalten von Draht	gegen schädliche Staubablagerungen im Innern (staubgeschützt)	keine schädliche Wirkung von Spritzwasser
IP55	Fernhalten von Draht	gegen schädliche Staubablagerungen im Innern (staubgeschützt)	keine schädliche Wirkung von Strahlwasser
IP65	Fernhalten von Draht	gegen Eindringen von Staub (staubdicht)	keine schädliche Wirkung von Strahlwasser
IP66	Fernhalten von Draht	gegen Eindringen von Staub (staubdicht)	Wasser darf bei vorübergehender Überflutung nicht in schädlichen Mengen eindringen (starkes Strahlwasser)
IP67	Fernhalten von Draht	gegen Eindringen von Staub (staubdicht)	Wasser darf beim Eintauchen nicht in schädlichen Mengen eindringen (zeitweiliges Untertauchen)
IP68	Fernhalten von Draht	gegen Eindringen von Staub (staubdicht)	Wasser darf beim Untertauchen für unbestimmteZeit nicht in schädlichen Mengen eindringen (dauerndes Untertauchen)

Verteilungssysteme (Netzformen) nach IEC 60364-1

Erster Buchstabe: Erdungsbedingung der speisenden Stromquelle

T = direkte Erdung eines Punkts

I = entweder Isolierung aller aktiven Teile von Erde oder Verbindung eines Punkts mit Erde über eine Impedanz

Zweiter Buchstabe: Erdungsbedingung der Körper der elektrischen Anlage

T = Körper direkt geerdet , unabhängig von der etwa bestehenden Erdung eines Punkts der Stromversorgung

N = Körper direkt mit der Betriebserde verbunden, in Wechselstromspannungsnetzen ist der geerdete Punkt im Allgemeinen der Sternpunkt

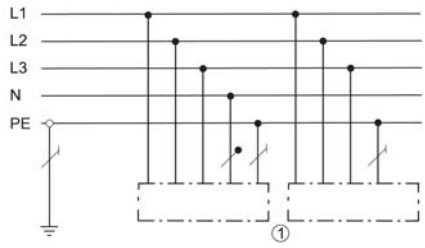
Weitere Buchstaben : Anordnung des Neutralleiters und des Schutzleiters

S = Neutralleiter- und Schutzleiterfunktionen durch getrennte Leiter

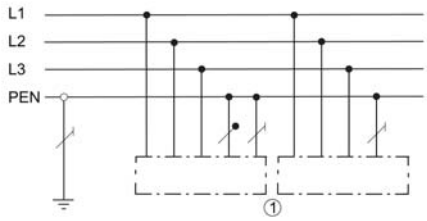
C = Neutralleiter- und Schutzleiterfunktionen kombiniert in einem Leiter (PEN)

Legende zu den Netzformen: (1) Körper (2) Impedanz

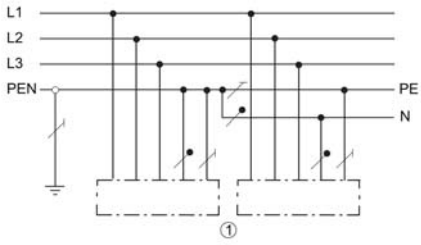
Übersicht: Verteilungssysteme (Netzformen) nach IEC 60364-1



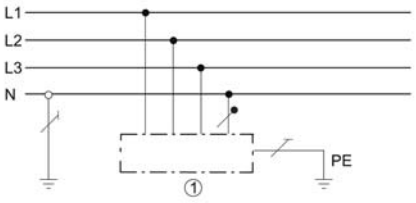
TN-S-System:
Neutralleiter- und Schutzleiterfunktion sind im System durchgehend getrennt.



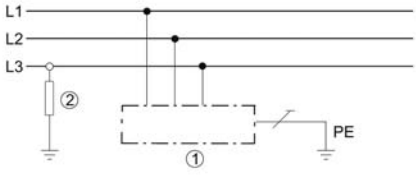
TN-C-System:
Neutralleiter- und Schutzleiterfunktion sind im gesamten System durchgehend zusammengefasst.



TN-C-S-System:
Kombination zwischen Neutralleiter- und Schutzleiterfunktion. Sie sind in einem Teil des Systems in einem Leiter vereinigt, im anderen Teil sind sie getrennt.



TT-System:
Im TT-System ist ein Punkt direkt geerdet; die Körper der elektrischen Anlage sind mit Erdern verbunden, die vom Betriebserder getrennt sind. Das TT-System entspricht dem System, in dem heute die Schutzmaßnahmen Schutzerdung, FI-Schutzschaltung und FU-Schutzschaltung angewendet werden.



IT-System:
Das IT-System hat keine direkte Verbindung zwischen aktiven Leitern und geerdeten Teilen; die Körper der elektrischen Anlage sind geerdet. Das IT-System entspricht dem System, in dem heute die Schutzmaßnahme Schutzleitungssystem angewendet wird.

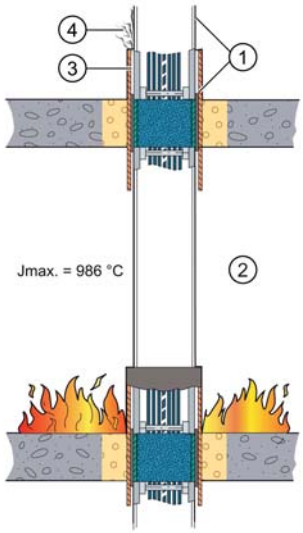
Brandschottung

Die Landesbauordnungen fordern, dass bauliche Anlagen so beschaffen sein müssen, dass "der Entstehung und der Ausbreitung von Feuer und Rauch vorgebeugt wird und bei einem Brand wirksame Löscharbeiten und die Rettung von Menschen und Tieren möglich sind". So darf weder Feuer noch Rauchgas von einem Geschoss oder Brandabschnitt in einen anderen übertragen werden.
Die Schienensysteme BD01 (für S90), BD2A/BD2C, LDA/LDC, LXA/LXC und LRC (für S120) können mit einer Brandschottung ausgerüstet werden und erfüllen damit generell die Bestimmungen für Gebäude, einschließlich Hochhäuser.

Hinweis:

Die Systeme erfüllen die Anforderungen zum Nachweis der Feuerwiderstandsdauer gemäß Feuerwiderstandsklasse nach ISO 834-1 entsprechend DIN EN 60439-2.

1) Zulässige Temperaturerhöhung an Bauteilen max. 180 °C
2) Brandraum: Befeuerung gemäß Einheitstemperaturkurve DIN 4102, Blatt 2
3) Zulässige Temperaturerhöhung der austretenden Luft max. 140 °C
4) Es dürfen keine zündbaren Gase austreten. Es darf kein die Rettungsarbeiten behindernder Rauch austreten.



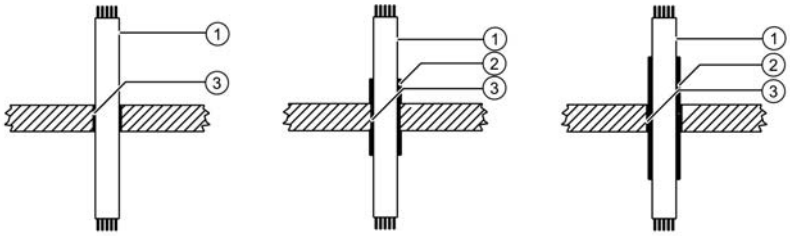
Die geforderten Bedingungen für einen Schienenverteiler in Anlehnung an DIN 4102 sind hier dargestellt.

Ausführungen

Die Schienenverteiler werden anders als bei der Kabelinstallation mit einer Brandschottung ab Werk geliefert. Die Brandschottungen entsprechen den Feuerwiderstandsklassen S60, S90 und S120 nach DIN 4102-9 je nach Ausführung und Typ. Der Einbau der Brandschottung am Schienensystem erfolgt im Werk (BD2A/BD2C, LDA/LDC, LXA, LXC), vor Ort auf der Baustelle (BD01, LXA/LXC, LRC) oder kann entfallen (LRC). Wie der Einbau erfolgt, ist abhängig vom Aufbau des Schienensystems und der geforderten Feuerwiderstandsklasse.

Hinweis:

Für den Einbau von Brandschottungen in Leichtbauwänden für die Systeme BD01, BD2A/BD2C und LDA/LDC wurden Brandschutzprüfungen durchgeführt und bestanden.



BD2A/BD2C: S90
(Mauerstärke ≥ 15 cm)
BD2A/BD2C: S120
(Mauerstärke ≥ 25 cm)
LRC: S60

BD2A/BD2C: S120
(Mauerstärke ≥ 25 cm)
LRC: S120

BD01: S90
LDA/LDC: S120
LXA/LXC: S120

Der Einbau der Brandschottung ist abhängig vom Schienensystem und der Feuerwiderstandsklasse.

1) Schienensystem
2) Brandschott aus Plattenmaterial oder Anstrich je nach System und Einbaufall vor und hinter der Wand bzw. über und unter der Decke
3) Mit geeignetem Brandschutzmaterial verfüllter Wand- oder Deckendurchbruch

Hinweis:

Der Raum zwischen Schienenwand und Mauerdurchbruch muss mit Mörtel oder Brandschottmasse ausgefüllt werden, die den geltenden Vorschriften zur Erstellung der Feuerwiderstandsklasse S90/S120 entsprechen müssen.

Hinweis:

Zum Einbau der SIVACON 8PS Schienenverteiler-Systeme mit Brandschutz ist grundsätzlich ein Mindestabstand von 5 cm zwischen System bzw. Systembrandschutz und Baukörper im Durchbruch einzuhalten. Damit ist ausreichender Platzbedarf für die Strangmontage, die Befestigungsbügel und das Einmörteln in den Baukörper gewährleistet.

Magnetische Felder

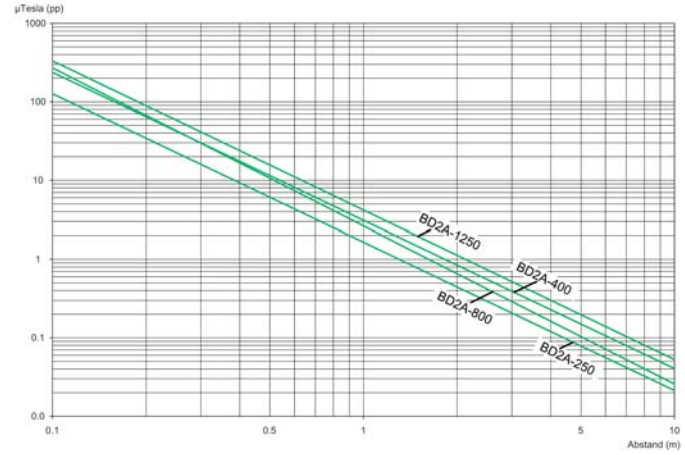
Die für Energieverteilung und Energietransport vorgesehenen Stromschienen erzeugen, physikalisch bedingt, in ihrer Umgebung elektromagnetische Wechselfelder mit der Grundfrequenz 50 Hz. Diese Magnetfelder können die störungsfreie Funktion von empfindlichen Gerätschaften, wie Computern oder Messwerkzeugen, negativ beeinflussen. In den EMV-Richtlinien bzw. den daraus resultierenden Normen sind keine Vorschriften oder Empfehlungen für die Planung von Schienenverteiler-Anlagen enthalten. Werden Schienenverteiler in Krankenhäusern eingesetzt, kann die DIN VDE 0100-710 zu Rate gezogen werden. In der DIN VDE 0100-710 werden Grenzwerte von netzfrequenten Magnetfeldern in Krankenhäusern festgelegt. So darf an dem Patientenplatz die magnetische Induktion bei 50 Hz folgende Werte nicht überschreiten:

$B = 2 \times 10^{-7}$ Tesla für EEG

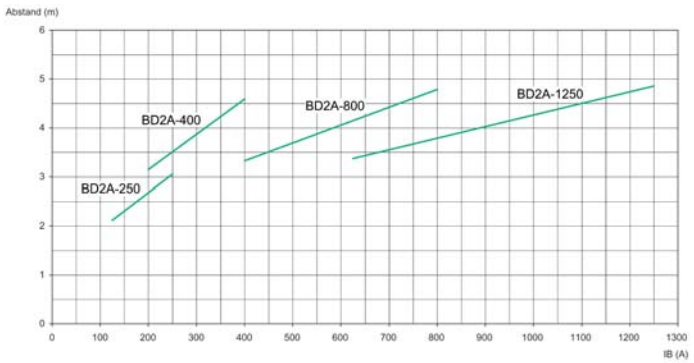
$B = 4 \times 10^{-7}$ Tesla für EKG

Der Grenzwert für induktive Störungen zwischen mehradrigen Kabeln und Leitungen der Starkstromanlage, Leiterquerschnitt > 185 mm^2, und den zu schützenden Patientenplätzen werden sicher unterschritten, wenn der laut DIN VDE 0100-710 empfohlene Mindestabstand von 9 m eingehalten wird.
Bei dem Einsatz von Stromschienen kann dieser Abstand in der Regel geringer ausfallen, da die bauartbedingten Eigenschaften der Schienensysteme wirkungsvoll die magnetischen Störfelder für die Umgebung reduzieren.
Um dennoch in der Planungsphase die Beurteilung der einzusetzenden Stromschienen zu ermöglichen, wurden umfangreiche Magnetfeldmessungen gemäß EN 60439-2 durchgeführt. Die Aufnahme der magnetischen Störstrahlung der Stromschienen-Systeme erfolgte an einer 9,0 m langen geraden Schienenanordnung. Die Stromschienen wurden symmetrisch mit Bemessungsstrom belastet und die Magnetfelder in acht Richtungen im 0,1 m-Raster bis zu 1 m Abstand gemessen.

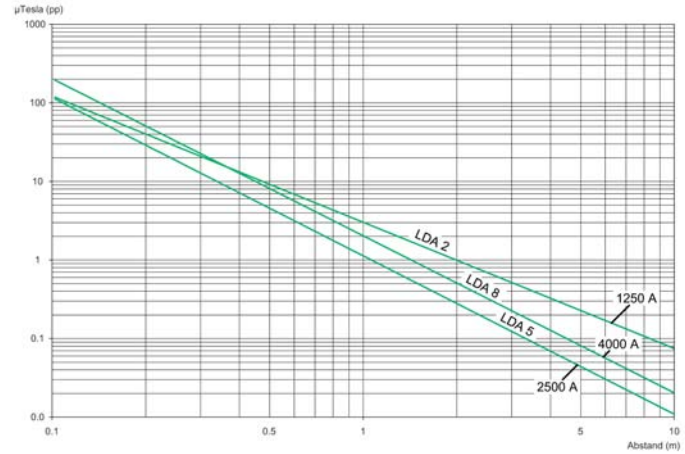
Ergebnisse der Magnetfeldprüfung



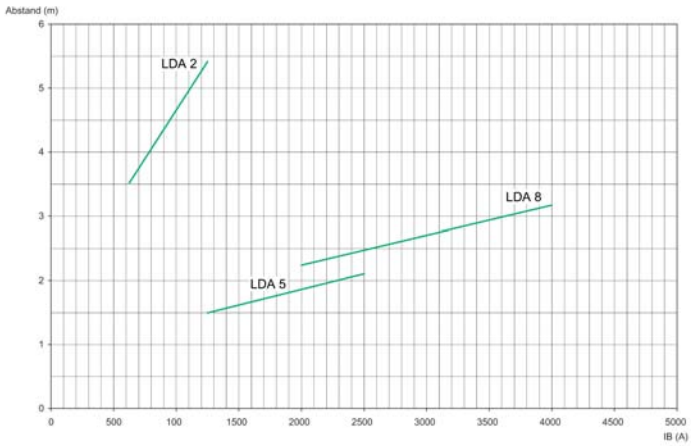
BD2 Magnetfelder für Systeme Al 250 A, 400 A, 800 A, Cu 1250 A



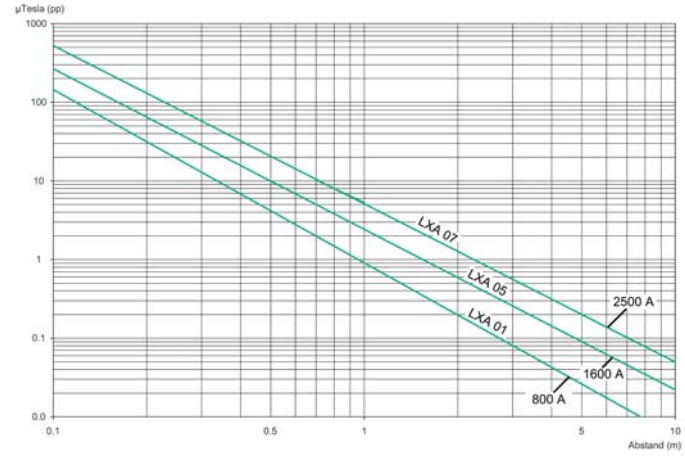
BD2 Last-Abstandsprofil fur 0,2 µT der Systeme Al 250 A, 400 A, 800 A, Cu 1250 A



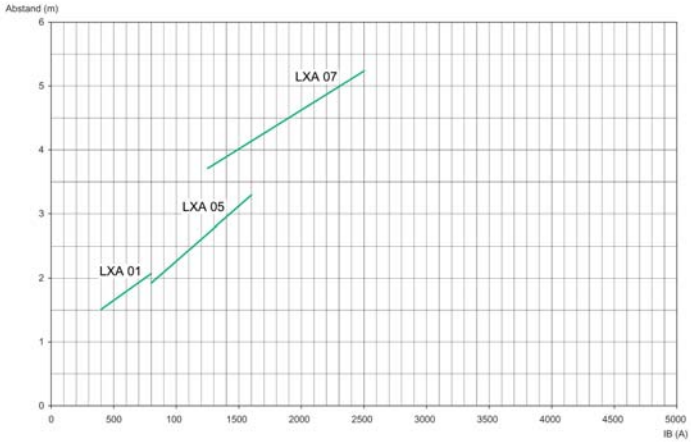
LDA Magnetfelder für Systeme Al 1250 A, 2500 A und 4000 A



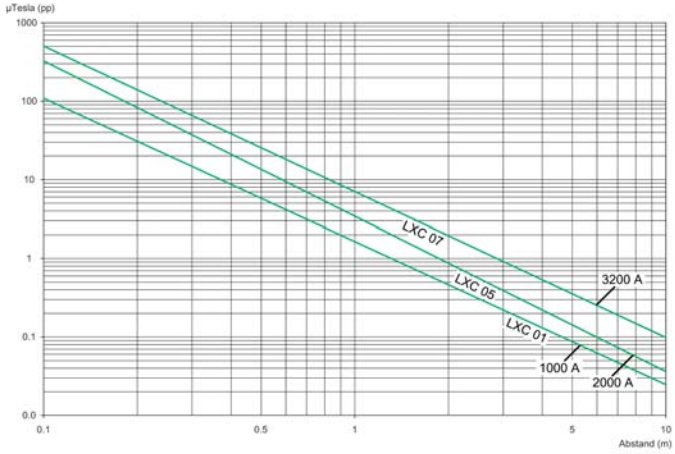
LDA Last-Abstandsprofil fur 0,2 µT der Systeme 1250 A, 2500 A und 4000 A



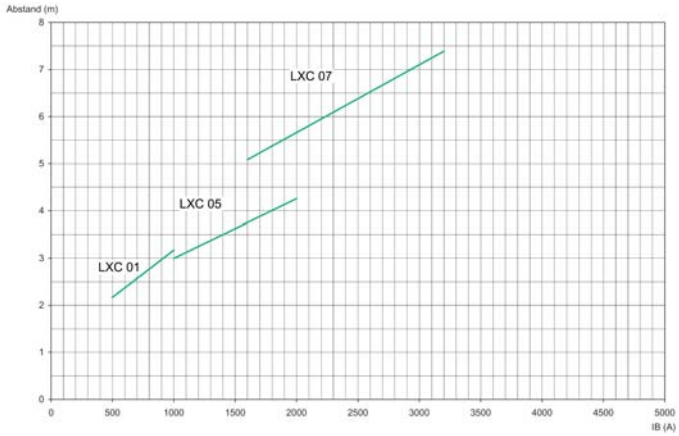
LXA Magnetfelder für Systeme 800 A, 1600 A und 2500 A



LXA Last-Abstandprofil fur 0,2 µT der Systeme 800 A, 1600 A und 2500 A



LXC Magnetfelder für Systeme 1000 A, 2000 A und 3200 A



LXC Last-Abstandprofil fur 0,2 µT der Systeme 1000 A, 2000 A und 3200 A

Hinweis:

Zum Schutz vor Bränden werden im Gebäude- und Industriebereich Sprinkleranlagen eingesetzt. Sprinkleranlagen sind selbsttätige Feuerlöschanlagen. Ihre Funktion besteht durch Früherkennung ausbrechendes Feuer zu melden und schellst möglich zu löschen. Während des Löschvorgangs ist von einer Besprinklerung von mindestens 30 Minuten auszugehen. Die Schienenverteiler-Systeme BD2A/BD2C, LDA/LDC und LXA/LXC wurden einer Sprinklerprüfung unterzogen. In Ermangelung einer verbindlichen Norm erfolgten die Prüfungen auf Basis eines praxisgerechten Prüfaufbaus.

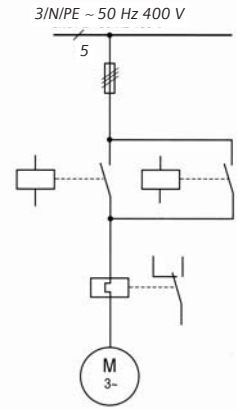
Grundlagen der Schaltplanerstellung

Schaltplanarten

Je nach Art der Pläne unterscheidet man:
- Übersichtsschaltplan
- Stromlaufplan
- Ersatzschaltplan

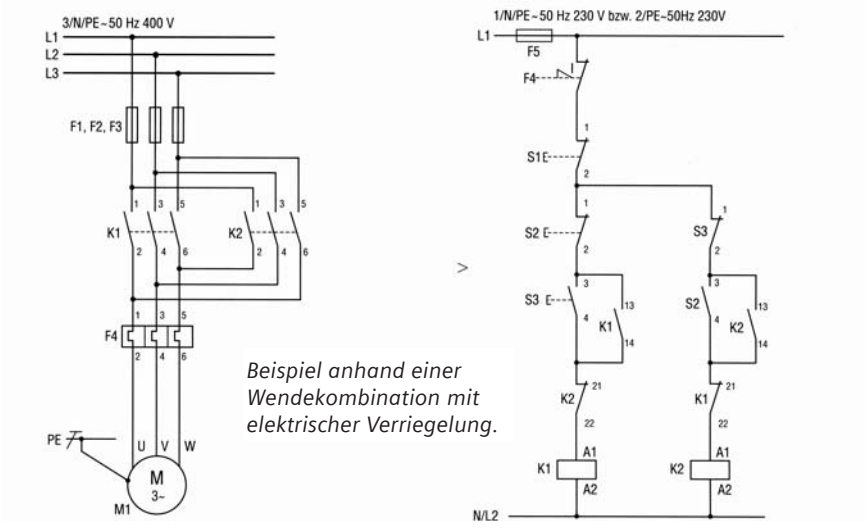
Früher wurden auch häufig “Wirkschaltpläne” erstellt.

Übersichtsschaltplan:
Der Übersichtsschaltplan (auch Blockdiagramm) ist die vereinfachte Darstellung einer Schaltung, bei der nur die wesentlichen Teile berücksichtigt werden. Er zeigt die Arbeitsweise und die Gliederung der elektrischen Einrichtung.



Übersichtsschaltplan

Stromlaufplan:
Ein Stromlaufplan ist die ausführliche Darstellung einer Schaltung mit ihren Einzelteilen. Er zeigt die Arbeitsweise einer elektrischen Einrichtung.
Der Stromlaufplan ist heute in der Elektrotechnik die am meisten verwendete Darstellungsform einer Schaltung.



Beispiel anhand einer Wendekombination mit elektrischer Verriegelung.

Nummern der Stromwege 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

a) Hauptstromkreis *b) Hilfsstromkreis*

Stromlaufplan mit Haupt- und Hilfsstromkreis.

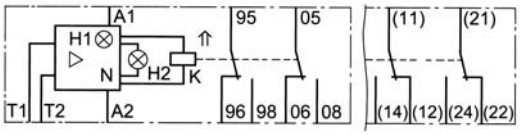
Er gliedert sich in Hauptstromkreis und Hilfsstromkreis (Steuerstromkreis und Meldestromkreis). Die einzelnen Stromkreise werden in dieser Reihenfolge, von links nach rechts getrennt, aufgezeichnet.
Mit Hilfe der Betriebsmittelkennzeichnung werden nicht nur die kompletten Geräte als solche bezeichnet, sondern alle belegten Schaltglieder eines Geräts, die in den einzelnen Strompfaden dargestellt sind, erhalten die gleiche Betriebsmittelkennzeichnung.

Ersatzschaltplan:
Der Ersatzschaltplan ist eine besondere Ausführung eines erläuternden Schaltplans für die Analyse und Berechnung von Stromkreiseigenschaften.

Beachte:

In Schaltplänen werden die Schaltzeichen grundsätzlich im spannungs- bzw. stromlosen und mechanisch nicht betätigtem Zustand gezeichnet. Abweichungen von dieser Regel müssen auf den Schaltplänen besonders angegeben werden (siehe DIN 40 900 T7, 03.88), z. B. Doppelpfeil.

Ein Beispiel aus der Praxis:



Der Doppelpfeil ⇑ kennzeichnet einen von der Regeldarstellung abweichenden Betriebszustand des Schaltglieds nach DIN 40900, Teil 7 (Hier Stellung der Schaltglieder bei angelegter Steuerspannung an den Klemmen A1 und A2).

Benutzung oder Abwandlung der Grundschaltungen
Die im Verlauf dieses Kapitels dargestellten Grundschaltungen umfassen besonders häufig vorkommende Stromlaufpläne für Haupt- und Hilfsstromkreise. Sie sind neutral gehalten und geben keine Auskunft über eine räumliche Anordnung der Schaltgeräte.
In den Stromlaufplänen der Hauptstromkreise sind im Allgemeinen Sicherungen zum Schutz bei Kurzschluss und Überlastrelais oder Überlastauslöser zum Schutz bei Überlast eingezeichnet.
Bei der Erstellung der Stromlaufpläne für die Hilfsstromkreise wurden folgende Überlegungen zugrunde gelegt:

- Zum Schutz des Hilfsstromkreises bei Kurzschluss ist eine Sicherung in der Zuleitung des Außenleiters eingezeichnet.
- Die Hilfsschaltglieder der Überlastrelais, die zu einem Motor gehören, sind in die gemeinsame Zuleitung für die Magnetspulen aller zu diesem Verbraucher gehörenden Schütze gelegt. Hierdurch wird verhindert, dass nach Auslösung eines Relais der Motor vorzeitig über ein anderes Schütz wieder in Betrieb genommen werden kann.

Schalten mit Schützen
In der Schaltungstechnik ist das Schütz eines der wichtigsten Schaltgeräte. Es vereinigt in sich die Eigenschaften, die für Steuerungen fast immer erforderlich sind:

- Fernbetätigung
- Hohe Schalthäufigkeit und auch Dauereinschaltung
- Hohe mechanische Lebensdauer
- Geringer Platzbedarf
- Zuverlässige Kontaktgabe
- Völlige Wartungsfreiheit
- Galvanische Trennung aller drei Leiter

Zum Erfüllen dieser Aufgaben verlangt das Schütz:

- Eine eindeutige Befehlsgabe
- Die Beachtung des Toleranzbereichs der Spulenspannung

Die Schützspulen sind entweder an die Spannung, die zwischen einem Außenleiter und dem Neutralleiter herrscht, angeschlossen oder sie werden zwischen zwei Phasen auf der Sekundärseite eines Steuerspannungstrafos angeschlossen. Vorzugsweise ist dann der zweite Außenleiter über eine Lasche mit dem Schutzleiter verbunden. Steuerstromkreise hinter Steuerspannungstrafos dürfen auch ungeerdet betrieben werden, wenn sie mit einer Isolationsüberwachung versehen werden.

Die Magnetspulen der Schütze sind in den Stromlaufplänen so angeordnet, dass sie einerseits unmittelbar am Neutralleiter (gegebenenfalls an den für die Erdung vorgesehenen Außenleiter hinter einem Steuerspannungstransformator) und andererseits über die verschiedenen Schaltglieder der Steuerstromkreise am Außenleiter angeschlossen sind. Dadurch wird die Gefahr eines ungewollten Ansprechens der Schützspulen bei Erdschluss in den Steuerstromkreisen vermieden.

Beachte:

Schütze, die nicht gleichzeitig eingeschaltet sein dürfen, sind gegenseitig über ihre Hilfsschaltglieder (Öffner) elektrisch verriegelt.

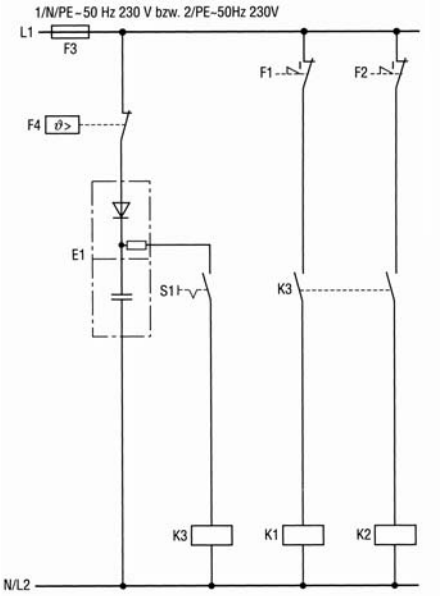
Die Befehlsgeber sind über Öffner (NC) gegenseitig verriegelt, um die Möglichkeit zu geben, ohne vorheriges Betätigen des Aus-Tasters unmittelbar von einem Schaltzustand in einen anderen umzusteuern. Diese Verriegelung macht außerdem Einschaltbefehle, die gleichzeitig auf mehrere Schütze gegeben werden (so genannte Doppelkommandos), unwirksam.

Schütze mit Ausschaltverzögerer bei flatterhafter Kommandogabe

Eine flatterhafte Kommandogabe kann zum Rattern des Schützes führen und das Magnetsystem zerstören oder dazu, dass beim Schalten größerer Ströme die Schaltstücke verschweißen.
Bei Siemens-Schützen ist der Toleranzbereich der anliegenden Spannung von 0,8 bis 1,1 • U_s zu beachten. Eine zu hohe Bemessungssteuerspeisespannung U_s führt zur Reduzierung der Lebensdauer oder sogar zum Verbrennen der Spule. Bei zu niedriger Bemessungssteuerspeisespannung U_s kommt es zu einer drucklosen Berührung und damit zum Verschweißen der Schaltstücke. Eine weitere Folge ist ein Verbrennen der Spule und eine frühzeitige Abnutzung des Magnetsystems.

TIPP:

Schütze mit Ausschaltverzögerer (z. B. RC-Glied) verhindern schädliche Auswirkungen bei nicht eindeutiger Befehlsgabe.



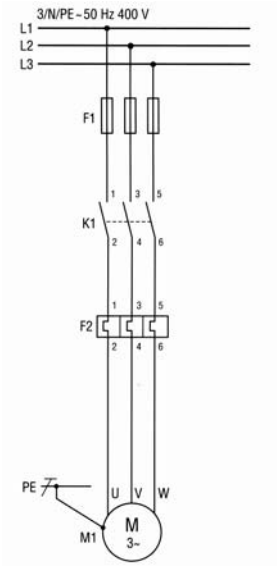
Das Schaltbild zeigt den Stromlaufplan eines Hilfsstromkreises einer Steuerung mit Schützen mit Ausschaltverzögerer. Durch den Befehlsgeber S1 wird das ausschaltverzögerte Hilfsschütz K3 eingeschaltet, da der Öffner des Thermostats F4 geschlossen ist. Die Schließer von K3 betätigen die Schütze K1 und K2. Kommt es zu einer flatterhaften Befehlsgabe, z. B. durch Erschütterung des Öffners von F4, so bleiben die Schütze K1 und K2 einwandfrei eingeschaltet. Der Kondensator von E1 liefert bei kurzzeitigem Öffnen des Öffners von F4 Energie für die Schützspule K3.

Schütz K3 mit 2S mit Gleichstrom-Sparschaltung, Befehlsgeber S1 mit 1S, Thermostat F4 mit 1Ö, Überlastrelais F1, F2 mit je 1Ö.

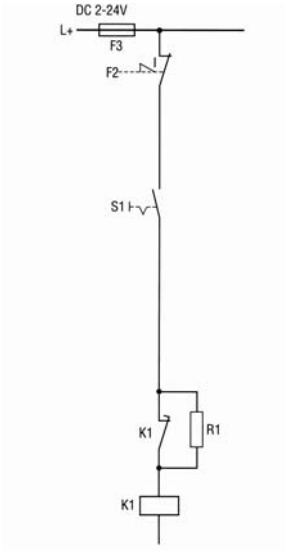
Verlängerte Hilfsschaltglieder bei Schützen (vornehmlich bei Gleichstrombetätigung)

Bei Betätigen von Befehlsgeber S1 wird das Schütz K1 direkt über den eigenen verlängerten Öffner angesteuert. Die Spule von Schütz K1 wird so lange übererregt, bis der verlängerte Öffner von K1 öffnet und der Sparwiderstand R1 der Spule vorgeschaltet ist.
Vorteil: Der Motor läuft normal an, während im Dauerbetrieb Energie gespart werden kann.

Stromlaufpläne einer Schützsteuerung mit verlängertem Hilfsschaltglied, Betriebsmittelkennzeichen, -art und Zählnummer.



a) Hauptstromkreis

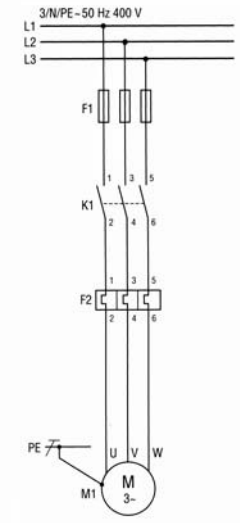


b) Hilfsstromkreis

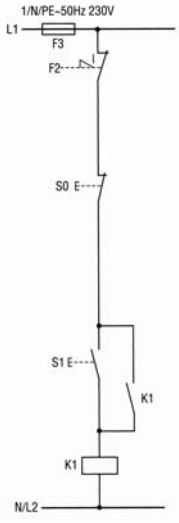
Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütz K1 mit 1 verlängertem Ö
Befehlsgeber S1 mit 1 S
Thermostat F2 mit 1 Ö

Direktes Schalten von Drehstrom-Asynchronmotoren

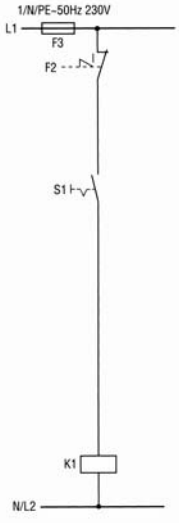
Stromlaufpläne für das direkte Ein- und Ausschalten von Drehstrom-Asynchronmotoren.



a) Hauptstromkreis



b) Hilfsstromkreis mit Selbsthaltung bei Tasterbetätigung



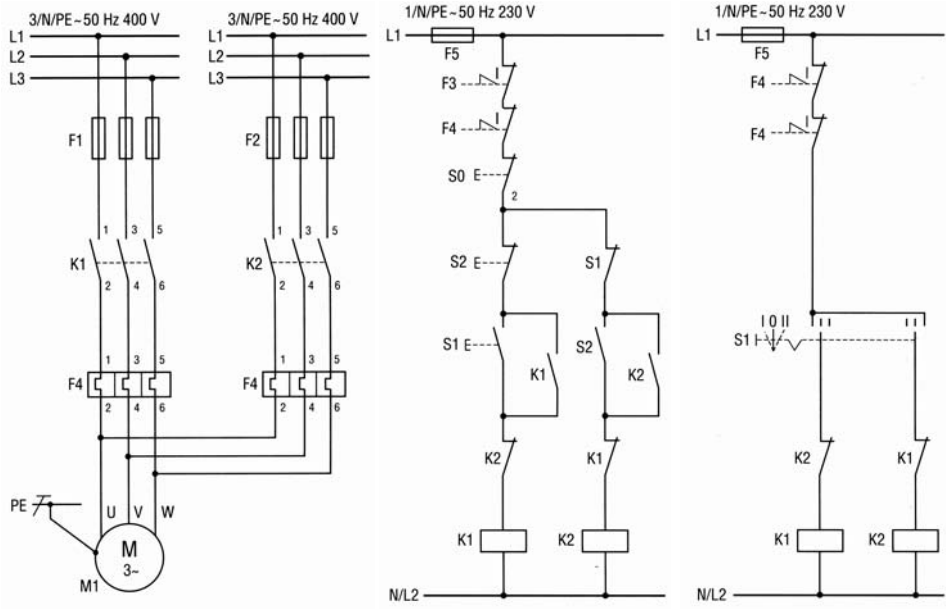
c) Hilfsstromkreis bei Dauerkontaktgabe

Tasterbetätigung b)
Einschalten: Der Taster S1 betätigt das Schütz K1, der Selbsthaltekontakt K1 schließt, der Motor ist eingeschaltet.
Ausschalten: Durch Betätigen von Taster SO öffnet der Selbsthaltekontakt K1 den Hilfsstromkreis. Das Schütz K1 öffnet, der Motor bleibt stehen.
Dauerkontaktgabe c)
Befehlsgeber S1 schaltet das Schütz K1 und dadurch den Motor ein und aus.

Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütz K1 mit 1S
Taster S0 mit 1Ö
Taster S1 mit 1S
Überlastrelais F2 mit 1Ö

Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Befehlsgeber S1 mit 1S
Überlastrelais F2 mit 1Ö

Stromlaufpläne für das Umschalten von Drehstrom-Asynchronmotoren zur wahlweisen Speisung aus zwei unterschiedlichen Netzen.



a) Hauptstromkreis

b) Hilfsstromkreis bei Tasterbetätigung

c) Hilfsstromkreis bei Dauerkontaktgabe

Tasterbetätigung b)
Einschalten: Der Taster S1 betätigt das Schütz K1, der Selbsthaltekontakt K1 schließt. Der Motor ist an Netz I angeschlossen.
Umschalten: Durch Betätigen des Tasters S2 erhält das Schütz K1 über den Öffner des Tasters S2 Aus-Befehl und Schütz K2 über den Schließer des Tasters S2 Ein-Befehl. Der Ein-Befehl für das Schütz K2 wird erst wirksam, wenn der Öffner des Schützes K1 geschlossen ist. Der Selbsthaltekontakt K2 schließt. Der Motor ist an Netz II angeschlossen.
Die Umschaltung von Netz II auf Netz I geschieht sinngemäß wie von I auf II.
Ausschalten: Durch Betätigen des Tasters SO öffnet das Schütz K1 oder K2. Der Motor wird ausgeschaltet.

Dauerkontaktgabe c)
Der Befehlsgeber S1 schaltet laut Schaltstellungsanzeige das Schütz K1 oder K2 ein bzw. aus.

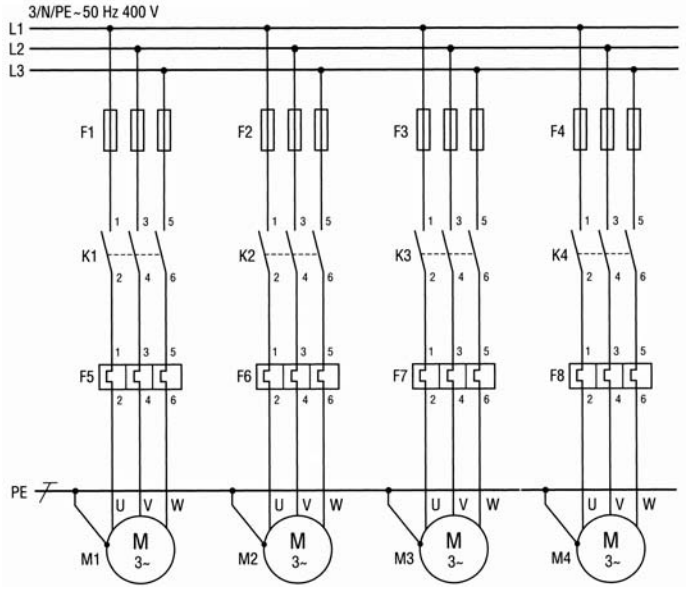
Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütz K1 mit 1S+1Ö
Schütz K2 mit 1S+1Ö
Taster S0 mit 1Ö
Taster S1 mit 1S+1Ö
Taster S2 mit 1S+1Ö
Überlastrelais F3, F4 mit je 1Ö

Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütz K1 mti 1Ö
Schütz K2 mit 1Ö
Befehlsgeber S1 mit 3 Schaltstellungen
Überlastrelais F3, F4 mit je 1Ö

Hinweis:

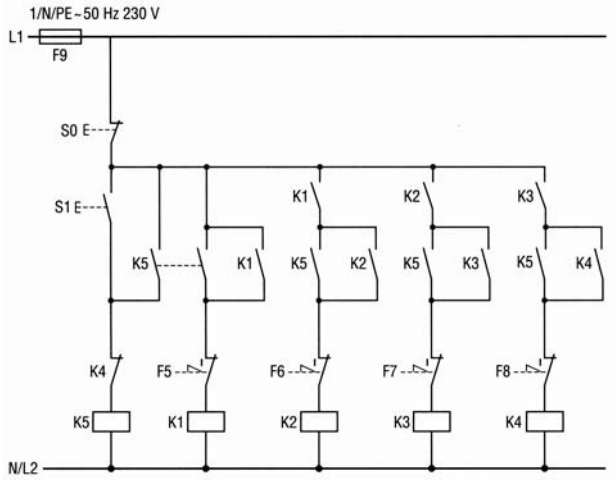
Die Steuerspannung wird vorzugsweise von einer Batterie oder einer unterbrechungsfreien Stromversorgungsanlage (USV-Anlage) abgenommen. Gegebenenfalls muss die Steuerspannung (allpolig) mit umgeschaltet werden.

Stromlaufplan zum selbsttätigen Einschalten mehrerer Drehstrom-Asynchronmotoren nacheinander (Folgeschaltung).



a) Hauptstromkreis

b) Hilfsstromkreis für Tasterbetätigung mit Hilfsschütz, Überlastrelais OHNE Wiedereinschaltsperre.

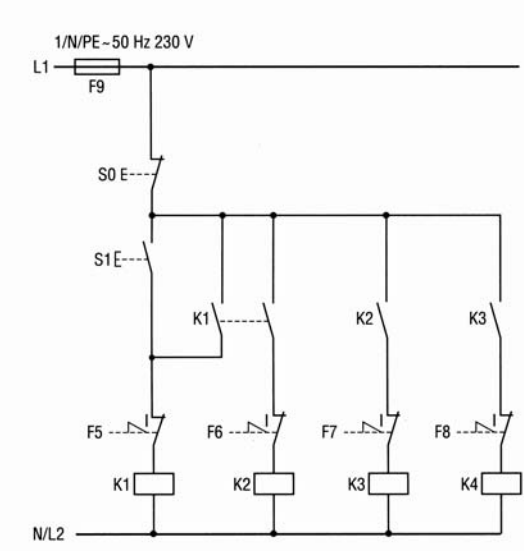


Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütze K1, K2, K3 mit je 2S
Schütz K4 mit 1S+1Ö
Hilfsschütz K5 mit 4S
Taster S0 mit 1Ö
Taster S1 mit 1S

Tasterbetätigung mit Hilfsschütz b)
Einschalten: Der Taster S1 betätigt das Hilfsschütz K5, der Selbsthaltekontakt K5 schließt. Der Schließer von K5 betätigt das Schütz K1. Der Schließer von K1 betätigt das Schütz K2 usw. bis K4, da die Schließer des Hilfsschützes K5 geschlossen sind. Die Motoren werden nacheinander durch die Schütze K1 bis K4 eingeschaltet. Die Anlaufstromspitzen treten nacheinander auf - das Netz wird entlastet. (Diese Schaltung gilt für Motoren mit sehr kurzer Anlaufzeit oder bei kleinen Leistungen. Bei längeren Anlaufzeiten empfiehlt es sich, die einzelnen Motorkreise mit Zeitrelais oder zeitlich verzögertem Hilfsschalter gegeneinander zu verzögern, damit eine Netzentlastung gewährleistet ist).

Ausschalten: Durch Betätigen von Taster SO öffnen die Schütze K1 bis K4 und K5. Alle Motoren werden gleichzeitig ausgeschaltet.

c) Hilfsstromkreis für Tasterbetätigung ohne Hilfsschütz, Überlastrelais MIT Wiedereinschaltsperre



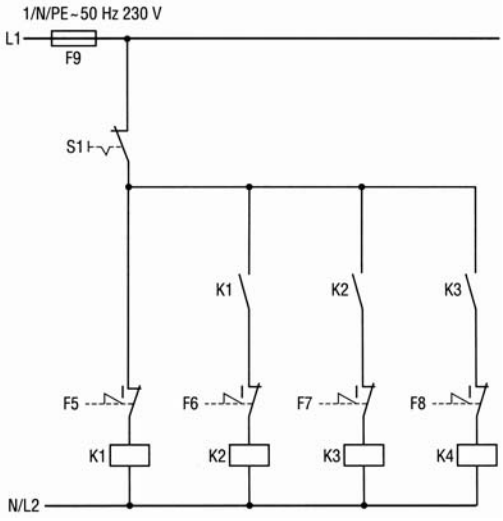
Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütz K1 mit 2S
Schütze K2, K3 mit je 1S
Taster S0 mit 1Ö
Taster S1 mit 1S

Tasterbetätigung ohne Hilfsschütz c)

Einschalten: Taster S1 betätigt unmittelbar Schütz K1. Selbsthaltekontakt und Schließer von K1 schließen. Schütze K2 bis K4 schalten nacheinander ein. Die Motoren werden nacheinander eingeschaltet (siehe Tasterbetätigung mit Hilfsschütz).

Ausschalten: Durch Betätigen von Taster SO öffnen die Schütze K1 bis K4. Alle Motoren werden gleichzeitig ausgeschaltet.

d) Hilfsstromkreis für Dauerkontaktgabe, Überlastrelais MIT Wiedereinschaltsperre

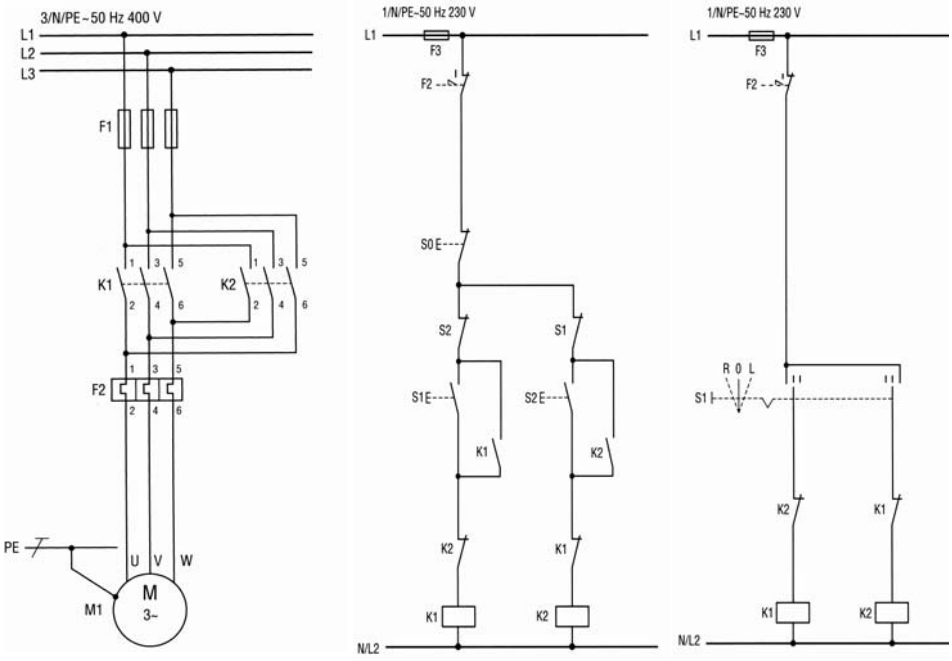


Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütz K1, K2, K3 mit je 1S
Befehlsgeber S1 mit 1S

Dauerkontaktgabe d)

Durch Schließen des Befehlsgebers S1 wird das Schütz K1 betätigt. Der Schließer von K1 schließt. Schütze K2 bis K4 schalten nacheinander ein (sonst wie unter Tasterbetätigung ohne Hilfsschütz).

Stromlaufpläne für das Umsteuern der Drehrichtung von Drehstrom-Asynchronmotoren (Wendestarter).



a) Hauptstromkreis

b) Hilfsstromkreis bei Tasterbetätigung

c) Hilfsstromkreis bei Dauerkontaktgabe

Tasterbetätigung b)
Einschalten: Taster S1 betätigt das Schütz K1, der Selbsthaltekontakt K1 schließt, der Motor läuft z. B. rechts an.
Umschalten: Bei Betätigen von Taster S2 erhält Schütz K1 über den Öffner von S2 Aus-Befehl und Schütz K2 über den Schließer des Tasters Ein-Befehl. Der Ein-Befehl für Schütz K2 wird erst wirksam, wenn der Öffner des Schützes K1 geschlossen ist. Der Motor wird abgebremst und läuft links an.
Ausschalten: Durch Betätigen von Taster SO öffnet das Schütz K1 bzw. K2. Der Motor wird ausgeschaltet.

Dauerkontaktgabe c)
Der Befehlsgeber S1 schaltet das Schütz K1 bzw. K2 ein und aus und von Schütz K1 auf K2 oder umgekehrt um, sonst wie unter Tasterbetätigung.

Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütze K1, K2
mit je 1S+1Ö,
Taster S0 mit 1Ö,
Taster S1, S2
mit je 1S+1Ö,
Überlastrelais F2
mit 1Ö

Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütze K1, K2
mit je 1Ö,
Befehlsgeber S1 mit 3 Schaltstellungen,
Überlastrelais
F2 mit 1Ö

Polumschaltbarer Drehstrom-Asynchronmotor mit einer Wicklung (Dahlander-Schaltung), zwei Drehzahlen, einer Drehrichtung

TIPP:

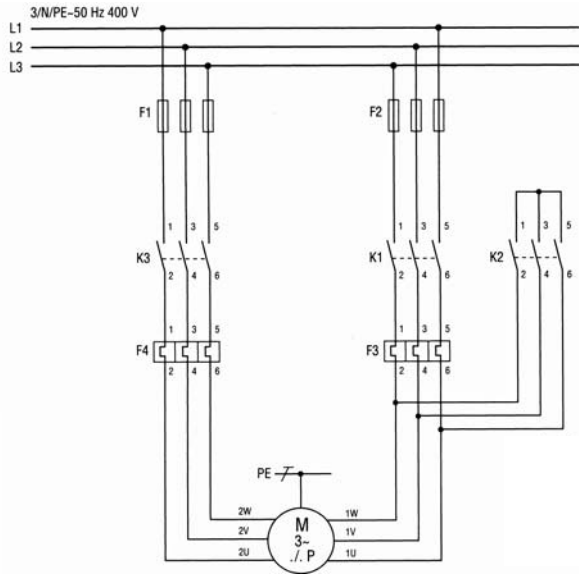
Die Anwendung der Dahlander-Schaltung bringt bei polumschaltbaren Motoren mit zwei Drehzahlen im Verhältnis 1:2 eine bessere Ausnutzung gegenüber einer Polumschaltung mit zwei getrennten Wicklungen, weil bei jeder Drehzahl die ganze Wicklung genutzt wird. Die Wicklung besteht aus zwei Spulengruppen je Phase.

Durch Umschalten und Stromumkehr der entsprechenden Spulengruppen wird die Polumschaltung erreicht. Zur besseren Anpassung an das Gegenmoment gibt es verschiedene Dahlander-Schaltungen.

Die gebräuchlichsten sind:

- Dreieck/Stern-Stern
  für Antriebe mit konstantem Moment, Leistungsverhältnis P1/P2= 1: 1,4,
- Stern-Stern/Dreieck
  für Antriebe mit konstanter Leistung, Leistungsverhältnis P1/P2=1 : 1,
- Stern/Stern-Stern
  für Antriebe mit quadratischem Gegenmoment (z. B. Lüfterantrieb), Leistungsverhältnis P1/P2 =1 :4 bis 8.

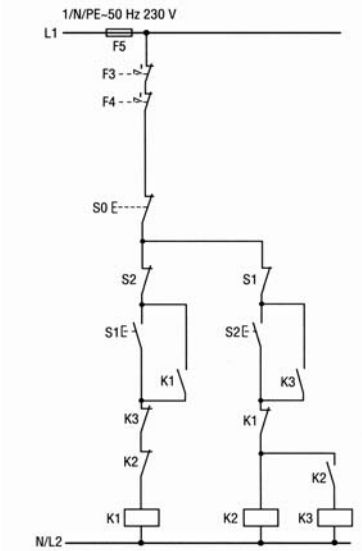
a) Hauptstromkreis



Stromlaufpläne für einen polumschaltbaren Drehstrom-Asynchronmotor mit einer Wicklung (Dahlander-Schaltung) für zwei Drehzahlen und eine Drehrichtung.

Weitere Vorteile sind:
Es werden nur sechs Klemmen benötigt. Eine Änderung der Drehzahl wird durch Umschaltung und Sternpunktbildung ermöglicht.
Bei der Dreieckschaltung ist Stern-Dreieck-Anlauf, bei der Stern-Stern-Schaltung der Anlauf über Einfachstern mit einem Strom- und Momentenverhältnis 1: 4 möglich.

b) Hilfsstromkreis bei Tasterbetätigung



Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütz K1 mit 1S+1Ö,
Schütz K2 mit 1S+1Ö,
Schütz K3 mit 1Ö,
Taster S0 mit 1Ö,
Taster S1, S2 mit je 1S+1Ö,
Überlastrelais F3, F4 mit je 1Ö

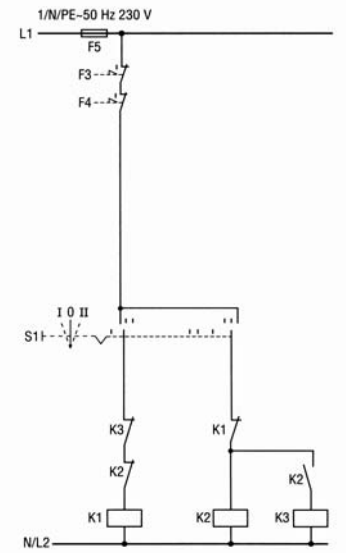
Tasterbetätigung b)

Einschalten: Der Taster S1 betätigt das Schütz K1, der Selbsthaltekontakt K1 schließt. Der Motor ist in der niedrigen Drehzahl eingeschaltet.
Umschalten: Bei Betätigen des Tasters S2 erhält das Schütz K1 über den Öffner des Tasters S2 Aus-Befehl und Schütz K2 über den Schließer des Tasters S2 Ein-Befehl. Der Ein-Befehl für das Schütz K2 wird erst wirksam, wenn der Öffner des Schützes K1 geschlossen ist. Der Selbsthaltekontakt K2 schließt. Durch einen Schließer von K2 wird das Netzschütz K3 eingeschaltet. Der Motor ist in der hohen Drehzahl eingeschaltet.

Das Umschalten in die niedrige Drehzahl geschieht in umgekehrter Reihenfolge.

Ausschalten: Durch Betätigen des Tasters SO öffnet die Schütze K1 bzw. K2 und K3. Der Motor wird ausgeschaltet.

c) Hilfsstromkreis bei Dauerkontaktgabe



Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütze K1, K3 mit je 1Ö,
Schütz K2 mit 1S+1Ö,
Befehlsgeber S1 mit 3 Schaltstellungen,
Überlastrelais F3, F4 mit je 1Ö

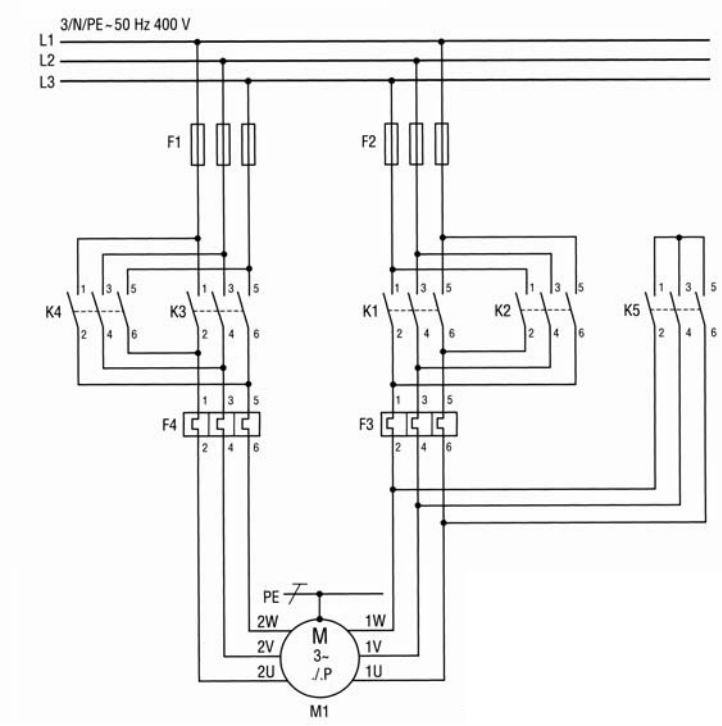
Dauerkontaktgabe c)

Der Befehlsgeber S1 schaltet laut Schaltstellungsanzeige die Schütze K1 bzw. K2 und K3 ein, um oder aus; wie unter Tasterbetätigung.

Hinweis:

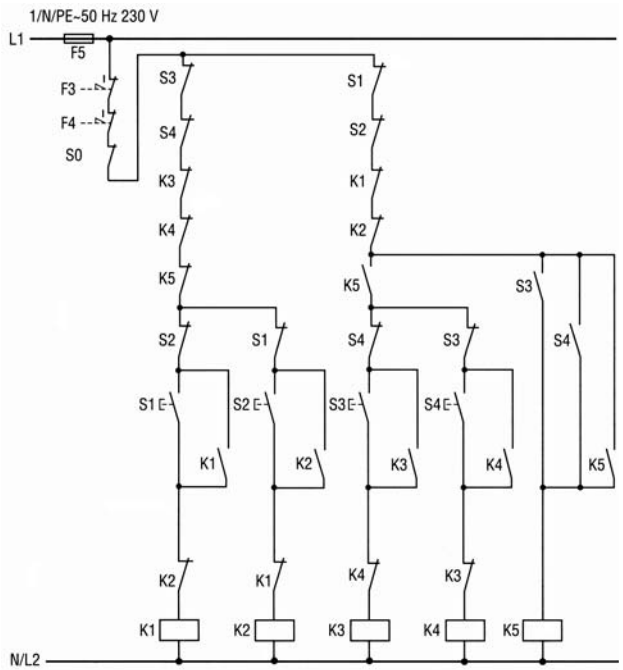
Bemerkung zum Hauptstromkreis: Die Sicherungen F1 und F2 sind entsprechend den Motor-Bemessungsströmen der beiden Drehzahlen auszuwählen. Unterscheiden sich die beiden Motorbemessungsströme nur wenig voneinander und können die Überlastrelais F3 und F4 mit gleichen Einstellbereichen verwendet werden, so ist eine gemeinsame Absicherung der Motorschütze K1 und K3 zulässig.

Stromlaufpläne für einen polumschaltbaren Drehstrom-Asynchronmotor mit einer Wicklung (Dahlander-Schaltung) für zwei Drehzahlen und zwei Drehrichtungen.



a) Hauptstromkreis

b) Hilfsstromkreis bei Tasterbetätigung



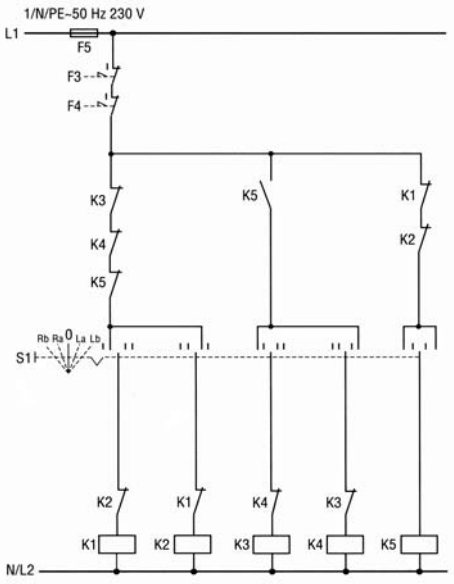
Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütze K1, K2, K3, K4
mit je 1S+2Ö,
Schütz K5 mit 2S+1Ö,
Taster S0 mit 1Ö,
Taster S1, S2 mit je 1S+2Ö,
Taster S3, S4 mit je 2S+2Ö,
Überlastrelais F3 und F4
mit je 1Ö

Tasterbetätigung b)
Einschalten z. B. für Rechtslauf des Motors: Der Taster S1 betätigt das Schütz K1, der Selbsthaltekontakt K1 schließt. Der Motor ist in der niedrigen Drehzahl eingeschaltet.
Umschalten auf die hohe Drehzahl: Bei Betätigen des Taster S3 erhält das Schütz K1 über den Öffner von S3 Aus-Befehl und das Sternschütz K5 und Schütz K3 über die Schließer von S3 Ein-Befehl. Der Ein-Befehl für das Schütz K5 wird erst wirksam, wenn der Öffner des Schützes K1 geschlossen ist.
Der Ein-Befehl für Schütz K3 wird erst wirksam, wenn der Schließer des Schützes K5 geschlossen ist. Die Selbsthaltekontakte der Schütze K5 und K3 schließen. Der Motor ist in der hohen Drehzahl eingeschaltet.

Umschalten in die niedrige Drehzahl: Dies geschieht in umgekehrter Reihenfolge.

Umschalten auf Linkslauf (hohe Drehzahl): Bei Betätigen des Tasters S4 wird durch den Öffner S4 das Schütz K3 ausgeschaltet, das Schütz K4 erhält über Schließer S4 Ein-Befehl. Dieser wird erst wirksam, wenn der Öffner von Schütz K3 geschlossen ist. Der Motor ist im Linkslauf in der hohen Drehzahl eingeschaltet.
Umschalten auf Linkslauf (niedrige Drehzahl): Das Umschalten bei niedriger Drehzahl geschieht sinngemäß wie bei hoher Drehzahl durch Betätigen des Tasters S2.
Ausschalten: Durch Betätigen von Taster SO werden die jeweils eingeschalteten Schütze und damit der Motor ausgeschaltet.

c) Hilfsstromkreis bei Dauerkontaktgabe

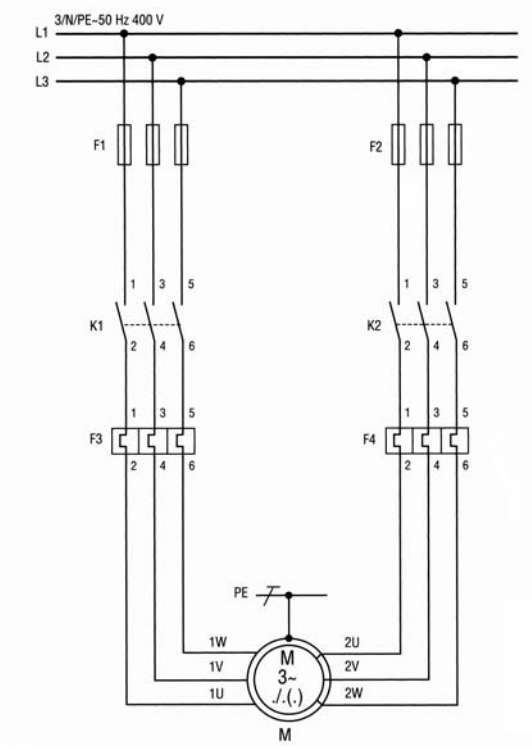


Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütze K1, K2, K3, K4
mit je 2Ö,
Schütz K5 mit 1S+1Ö,
Befehlsgeber S1
mit 5 Schaltstellungen,
Überlastrelais F3 und F4
mit je 1Ö

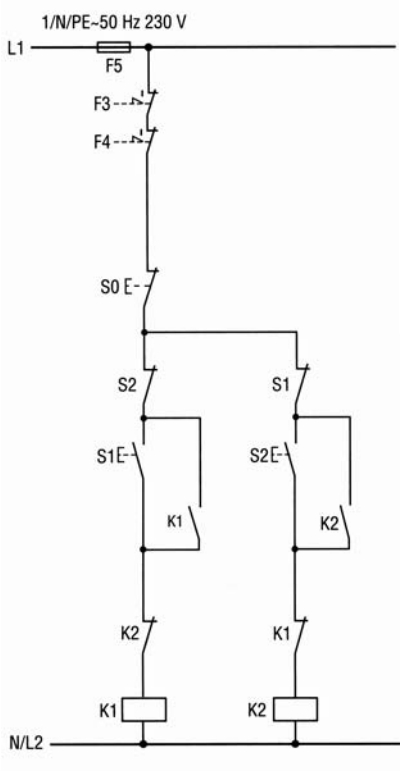
Dauerkontaktgabe c)

Durch Wahl der Schaltstellung des Befehlsgebers S1 wird das Schütz K1 oder das Schütz K2 für die niedrige Drehzahl im Rechts- oder Linkslauf eingeschaltet. Der Ein-Befehl ist nur wirksam, wenn die Öffner des Schützes K2 bzw. K1 geschlossen sind. Bei Umschalten auf die hohe Drehzahl im Links- oder Rechtslauf werden das Sternschütz K5 und das Schütz K3 oder K4 über den Schließer von K5 eingeschaltet. Der Ein-Befehl für das Sternschütz K5 wird erst wirksam, wenn die Öffner der Schütze K1 und K2 wieder geschlossen sind.

Stromlaufpläne für einen polumschaltbaren Drehstrom-Asynchronmotor mit zwei getrennten Wicklungen, zwei Drehzahlen und einer Drehrichtung.

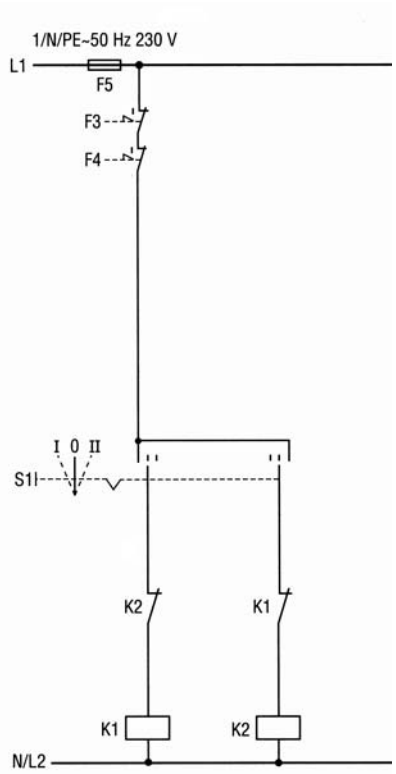


a) Hauptstromkreis



b) Hilfsstromkreis bei Tasterbetätigung

Erforderliche Hilfsschaltglieder: Schütze K1, K2 mit je 1S+1Ö, Taster S0 mit 1Ö, Taster S1, S2 mit je 1S+1Ö, Überlastrelais F3 und F4 mit je 1Ö

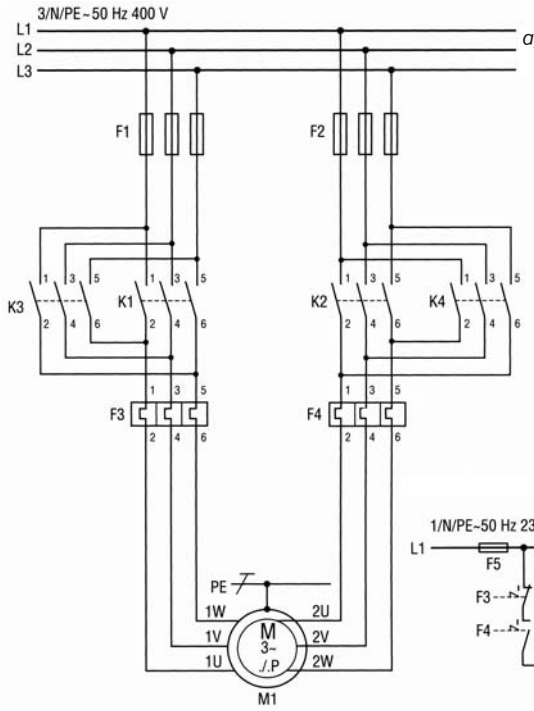


c) Hilfsstromkreis bei Dauerkontaktgabe

Erforderliche Hilfsschaltglieder: Schütze K1, K2 mit je 1Ö, Befehlsgeber S1 mit 3 Schaltstellungen, Überlastrelais F3 und F4 mit je 1Ö

Tasterbetätigung b)
Einschalten: Der Taster S1 betätigt das Schütz K1, der Selbsthaltekontakt K1 schließt. Der Motor läuft z. B. in der niedrigen Drehzahl an.
Umschalten: Bei Betätigen des Tasters S2 erhält das Schütz K1 über den Öffner des Tasters S2 Aus-Befehl und das Schütz K2 über den Schließer des Tasters S2 Ein-Befehl. Der Ein-Befehl für das Schütz K2 wird erst wirksam, wenn der Öffner des Schützes K1 geschlossen ist. Der Motor läuft in der hohen Drehzahl.
Ausschalten: Durch Betätigen von Taster SO öffnet das Schütz K1 oder K2. Der Motor wird ausgeschaltet.
Dauerkontaktgabe c)
Der Befehlsgeber S1 schaltet das Schütz K1 oder K2 ein, aus oder um (wie unter Tasterbetätigung).

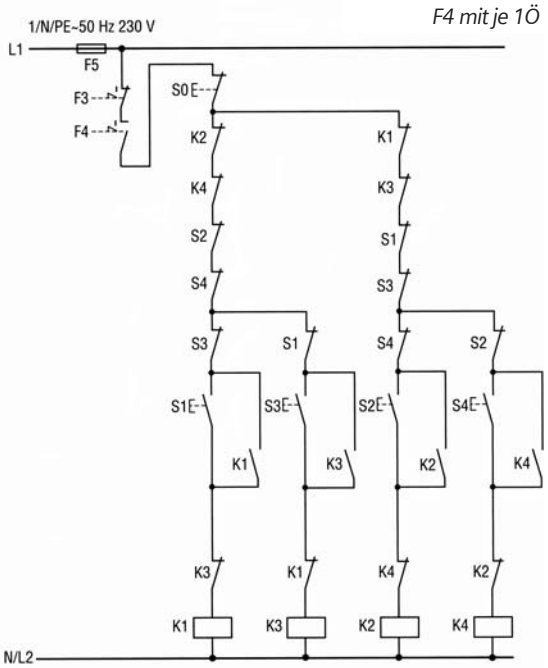
Stromlaufpläne für einen polumschaltbaren Drehstrom-Asynchronmotor mit zwei getrennten Wicklungen, zwei Drehzahlen und zwei Drehrichtungen.

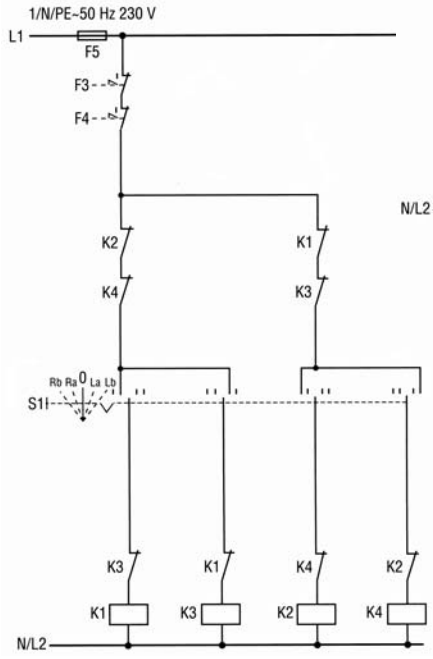


a) Hauptstromkreis

b) Hilfsstromkreis bei Tasterbetätigung

Erforderliche Hilfsschaltglieder: Schütze K1, K2, K3, K4 mit je 1S+2Ö, Taster S1, S2, S3, S4 mit je 1S+2Ö, Taster S0 mit 1Ö, Überlastrelais F3 und F4 mit je 1Ö





c) Hilfsstromkreis bei Dauerkontaktgabe

Erforderliche Hilfsschaltglieder: Schütze K1, K2, K3, K4 mit je 2Ö, Befehlsgeber S1 mit 5 Schaltstellungen, Überlastrelais F3 und F4 mit je 1Ö

Tasterbetätigung b)
Einschalten z. B. Rechtslauf des Motors: Der Taster S1 betätigt das Schütz K1, der Selbsthaltekontakt K1 schließt. Der Motor läuft z. B. in der niedrigen Drehzahl an.

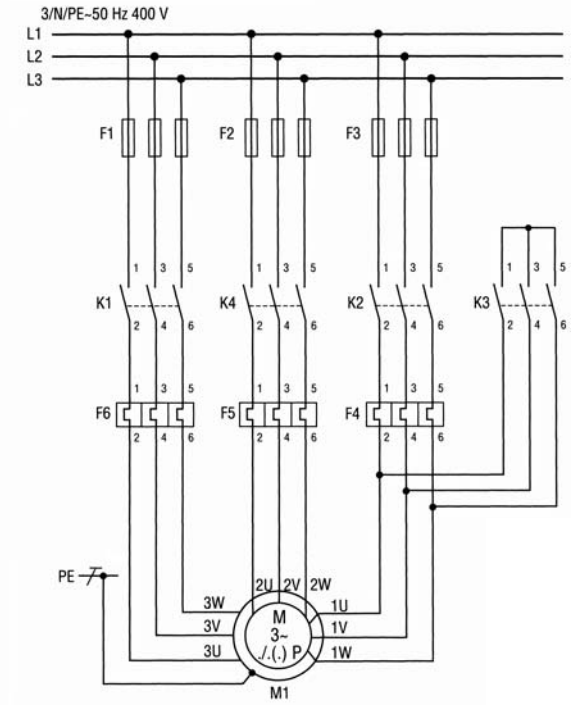
Umschalten von niedriger auf hohe Drehzahl: Bei Betätigen des Tasters S2 erhält das Schütz K1 über den Öffner des Tasters S2 Aus-Befehl und der Schütz K2 über den Schließer des Tasters S2 Ein-Befehl. Der Ein-Befehl für das Schütz K2 wird erst wirksam, wenn der Öffner des Schützes K1 geschlossen ist. Der Selbsthaltekontakt K2 schließt. Der Motor läuft in der hohen Drehzahl.

Umschalten von Rechtslauf auf Linkslauf, z. B. bei niedriger Drehzahl: Bei Betätigen des Tasters S3 erhält das Schütz K1 über den Öffner von S3 Aus-Befehl und das Schütz K3 über den Schließer S3 Ein-Befehl. Der Ein-Befehl für das Schütz K3 wird erst wirksam, wenn der Öffner des Schützes K1 geschlossen ist. Der Selbsthaltekontakt K3 schließt. Der Motor wird abgebremst und läuft links an.

Umschalten von Rechts- und Linkslauf des Motors und gleichzeitiges Umschalten von der niedrigen auf die hohe Drehzahl geschieht sinngemäß durch Betätigen des Tasters S4.
Ausschalten: Durch Betätigen des Tasters SO öffnet das jeweils eingeschaltete Schütz und der Motor wird ausgeschaltet.

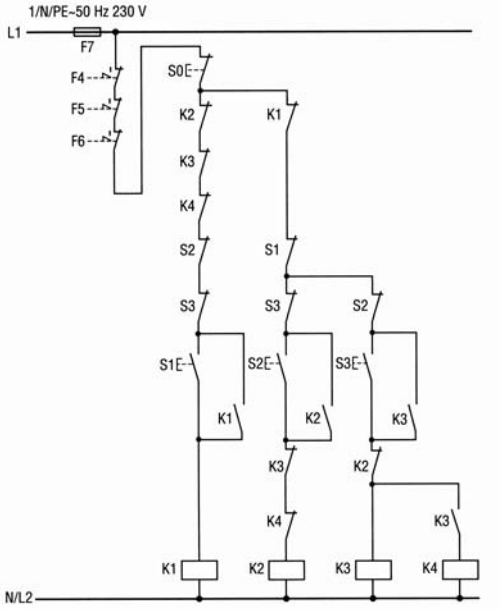
Dauerkontaktgabe c)
Der Befehlsgeber S1 schaltet die Schütze K1, K2, K3 oder K4 ein, um oder aus, wie bei Tasterbetätigung.

Die Stromlaufpläne für einen polumschaltbaren Drehstrom-Asynchronmotor mit zwei getrennten Wicklungen, drei Drehzahlen, einer Drehrichtung, eine Wicklung in Dahlanderschaltung, eine getrennte Wicklung für die niedrige Drehzahl



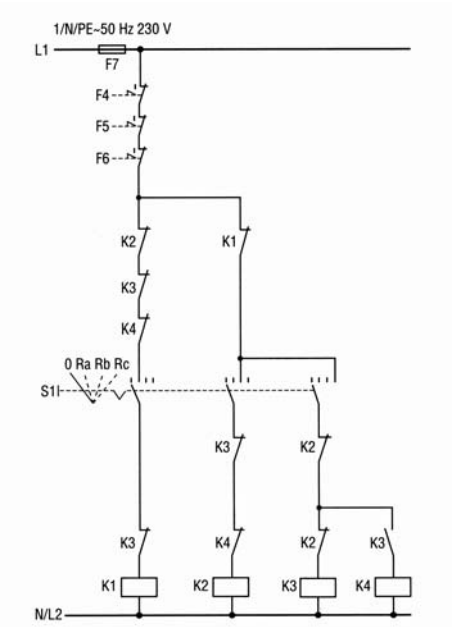
a) Hauptstromkreis

b) Hilfsstromkreis bei Tasterbetätigung



Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütz K1 mit 1S+1Ö,
Schütz K2 mit 1S+2Ö,
Schütz K3 mit 2S+2Ö,
Schütz K4 mit 2Ö,
Taster S0 mit 1Ö,
Taster S1 mit 1S+1Ö,
Taster S2, S3 mit je 1S+2Ö,
Überlastrelais F4, F5 und F6 mit je 1Ö

c) Hilfsstromkreis bei Dauerkontaktgabe

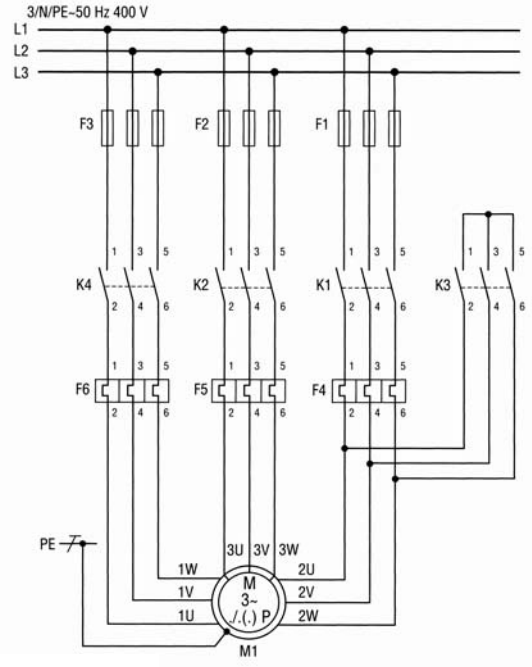


Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütz K1 mit 1Ö,
Schütz K2, K4 mit je 2Ö,
Schütz K3 mit 1S+2Ö,
Befehlsgeber S1 mit 5 Schaltstellungen,
Überlastrelais F4, F5 und F6 mit je 1Ö

Tasterbetätigung b)
Einschalten: Der Taster S1 betätigt das Schütz K1, der Selbsthaltekontakt K1 schließt. Der Motor läuft in der niedrigen Drehzahl an.
Umschalten: Bei Betätigen des Tasters S2 erhält das Schütz K1 über den Öffner des Tasters S2 Aus-Befehl und das Schütz K2 über den Schließer des Tasters S2 Ein-Befehl. Der Ein-Befehl für das K2 wird erst wirksam, wenn der Öffner des Schützes K1 geschlossen ist. Der Selbsthaltekontakt K2 schließt. Der Motor läuft in der mittleren Drehzahl.
Bei Betätigen des Tasters S3 wird das Schütz K3 eingeschaltet. Der Ein-Befehl für das Schütz K3 wird erst wirksam, wenn der Öffner von K2 geschlossen ist. Der Selbsthaltekontakt und der Schließer K3 schließen. Das Netzschütz K4 schaltet ein. Der Motor läuft in der hohen Drehzahl.
Ausschalten: Durch Betätigen des Tasters SO erhalten die jeweils eingeschalteten Schütze Aus-Befehl.

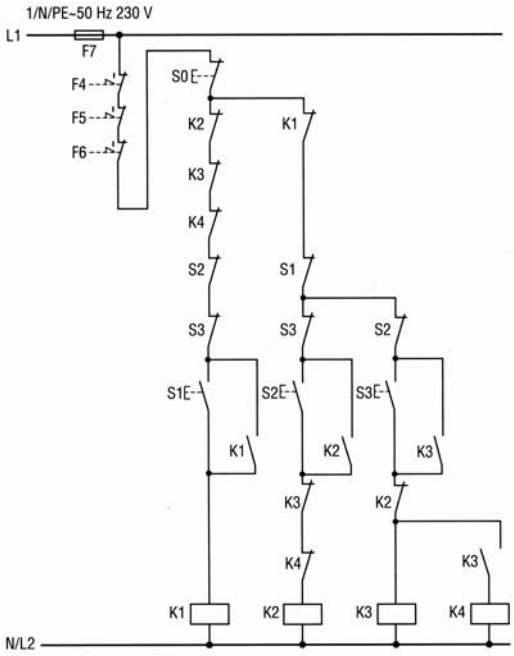
Dauerkontaktgabe c)
Der Befehlsgeber S1 schaltet wie unter Tasterbetätigung die Schütze K1, K2, K3 und K4 ein, um oder aus.

Stromlaufpläne für polumschaltbaren Drehstrom-Asynchronmotor mit zwei getrennten Wicklungen, drei Drehzahlen und einer Drehrichtung, eine Wicklung in Dahlander-Schaltung, eine getrennte Wicklung für die mittlere Drehzahl



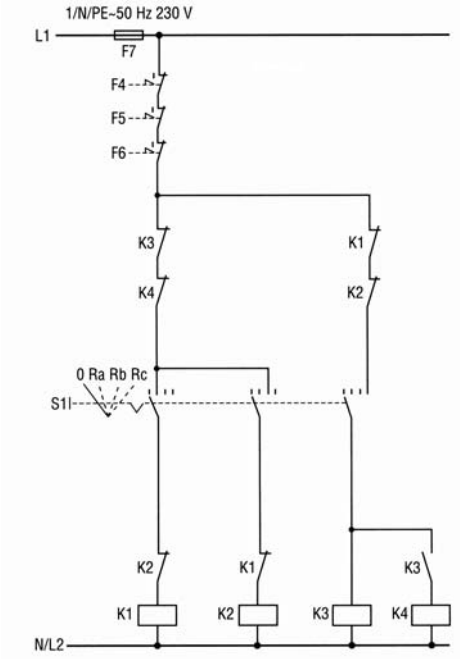
a) Hauptstromkreis

b) Hilfsstromkreis bei Tasterbetätigung



Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütz K1 mit 1S+1Ö,
Schütz K2 mit 1S+2Ö,
Schütz K3 mit 2S+2Ö,
Schütz K4 mit 2Ö,
Taster S0 mit 1Ö,
Taster S1 mit 1S+1Ö,
Taster S2, S3 mit je 1S+2Ö,
Überlastrelais F4, F5 und F6 mit je 1Ö

c) Hilfsstromkreis bei Dauerkontaktgabe

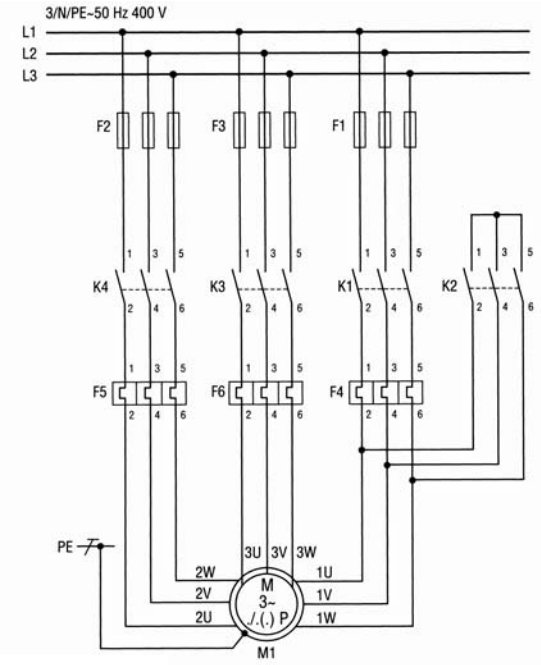


Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütze K1, K2 mit je 2Ö,
Schütze K3 mit 1S+1Ö,
Schütze K4 mit 1Ö,
Befehlsgeber S1 mit 4 Schaltstellungen,
Überlastrelais F4, F5 und F6 mit je 1Ö

Tasterbetätigung b)
Einschalten: Der Taster S1 betätigt das Schütz K1, der Selbsthaltekontakt K1 schließt. Der Motor läuft in der niedrigen Drehzahl an.
Umschalten: Bei Betätigen des Tasters S2 erhält das Schütz K1 über den Öffner des Tasters S2 Aus-Befehl und das Schütz K2 über den Schließer des Tasters S2 Ein-Befehl. Der Ein-Befehl für das Schütz K2 wird erst wirksam, wenn der Öffner des Schützes K1 geschlossen ist. Der Selbsthaltekontakt K2 schließt. Der Motor läuft in der mittleren Drehzahl.
Bei Betätigen von Taster S3 wird das Schütz K3 eingeschaltet. Der Ein-Befehl für das Schütz K3 wird erst wirksam, wenn der Öffner von K2 geschlossen ist. Der Selbsthaltekontakt K3 und der Schließer K3 schließen. Das Netzschütz K4 schaltet ein. Der Motor läuft in der hohen Drehzahl.
Ausschalten: Durch Betätigen des Tasters SO erhalten die zu dieser Zeit eingeschalteten Schütze Aus-Befehl.

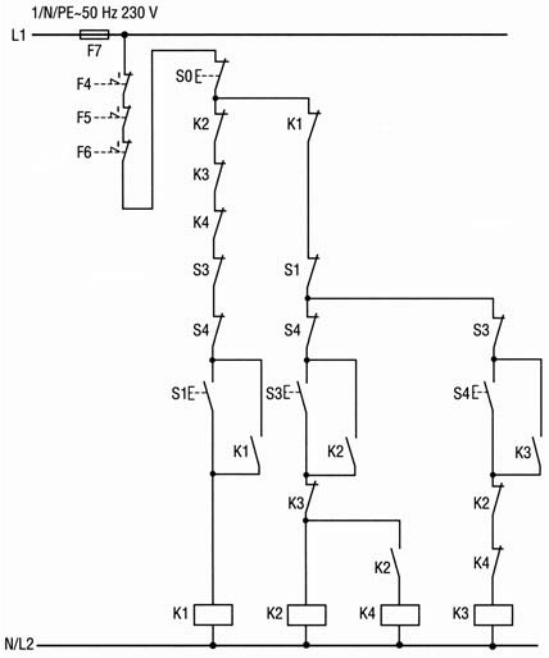
Dauerkontaktgabe c)
Der Befehlsgeber S1 schaltet wie unter Tasterbetätigung die Schütze K1, K2, K3 und K4 ein, um oder aus.

Stromlaufpläne für polumschaltbaren Drehstrom-Asynchronmotor mit zwei getrennten Wicklungen, drei Drehzahlen, einer Drehrichtung, eine Wicklung in Dahlander-Schaltung, eine getrennte Wicklung für die hohe Drehzahl



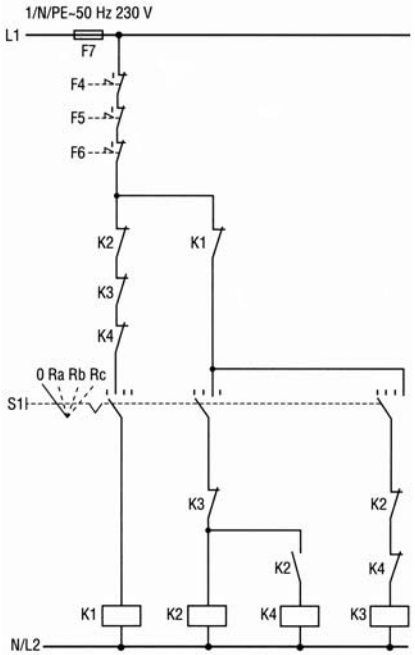
a) Hauptstromkreis

b) Hilfsstromkreis bei Tasterbetätigung



Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütz K1 mit 1S+1Ö,
Schütz K2 mit 2S+2Ö,
Schütz K3 mit 1S+2Ö,
Schütz K4 mit 2Ö,
Taster S0 mit 1Ö,
Taster S1 mit 1S+1Ö,
Taster S3, S4 mit je 1S+2Ö,
Überlastrelais F4, F5 und F6 mit je 1Ö

c) Hilfsstromkreis bei Dauerkontaktgabe

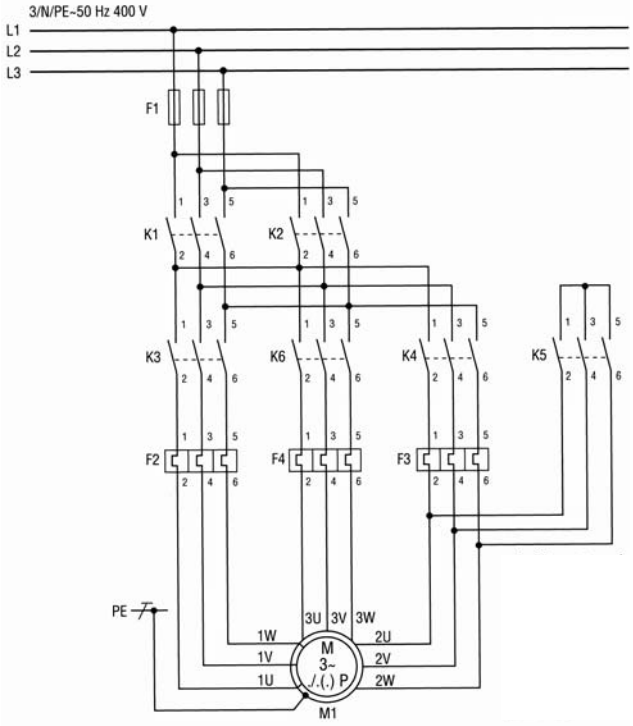


Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütze K1 mit 1Ö,
Schütze K2 mit 1S+2Ö,
Schütze K3, K4 mit je 2Ö,
Befehlsgeber S1 mit 4 Schaltstellungen,
Überlastrelais F4, F5 und F6 mit je 1Ö

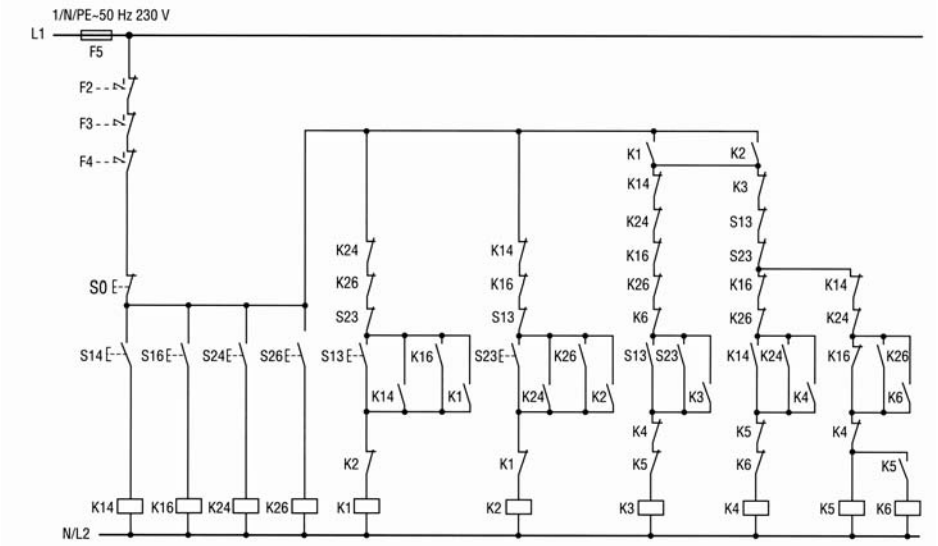
Tasterbetätigung b)
Einschalten: Taster S1 betätigt das Schütz K1, der Selbsthaltekontakt K1 schließt. Der Motor läuft in der niedrigen Drehzahl an.
Umschalten: Bei Betätigen des Tasters S3 erhält das Schütz K1 über den Öffner des Tasters S3 Aus-Befehl und das Schütz K2 über den Schließer des Tasters S3 Ein-Befehl. Der Ein-Befehl für das Schütz K2 wird erst wirksam, wenn der Öffner des Schützes K1 geschlossen ist. Der Selbsthaltekontakt und der Schließer K2 schließen. Das Netzschütz K4 schaltet ein. Der Motor läuft in der mittleren Drehzahl.
Bei Betätigen des Tasters S4 wird das Schütz K3 eingeschaltet, bezüglich der Verriegelung gilt für das für Schütz K2 Gesagte. Der Motor läuft in der hohen Drehzahl.
Ausschalten: Durch Betätigen von Taster SO erhalten die zu dieser Zeit eingeschalteten Schütze Aus-Befehl.

Dauerkontaktgabe c)
Der Befehlsgeber S1 schaltet wie unter Tasterbetätigung die Schütze K1, K2, K3 und K4 ein, um oder aus.

Stromlaufpläne für polumschaltbaren Drehstrom-Asynchronmotor mit zwei getrennten Wicklungen, drei Drehzahlen, zwei Drehrichtungen, eine Wicklung in Dahlander-Schaltung, eine getrennte Wicklung für die niedrige Drehzahl



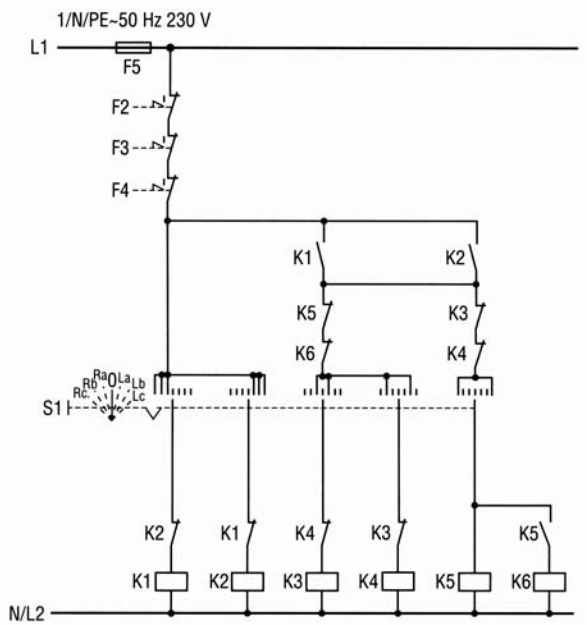
a) Hauptstromkreis



b) Hilfsstromkreis bei Tasterbetätigung

Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütze K1, K2 mit je 2S+1Ö,
Schütz K3 mit 1S+1Ö,
Schütze K4, K5, K6 mit je 1S+2Ö,
Hilfsschütze K14, K16, K24, K26 mit je 2S+3Ö,
Taster S0 mit 1Ö,
Taster S13, S23 mit je 2S+2Ö,
Taster S14, S16, S24, S26 mit je 1S,
Überlastrelais F2, F3 und F4 mit je 1Ö

c) Hilfsstromkreis bei Dauerkontaktgabe



Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütze K1, K2, K5 mit je 1S+1Ö,
Schütze K3, K4 mit je 2Ö,
Schütze K6 mit 1Ö,
Befehlsgeber S1 mit 7 Schaltstellungen,
Überlastrelais F2, F3 und F4 mit je 1Ö

Tasterbetätigung b)
Einschalten z. B. niedrige Drehzahl, Rechtslauf des Motors: Der Taster S13 betätigt die Schütze K1 und K3. Der Ein-Befehl für K3 wird erst wirksam, wenn der Schließer von K1 geschlossen ist. Die Selbsthaltekontakte K1 und K3 schließen. Der Motor läuft in der niedrigen Drehzahl rechts an.
Umschalten z. B. auf die mittlere Drehzahl, Linkslauf des Motors: Der Taster S24 betätigt das Hilfsschütz K24. Der Öffner K24 gibt Aus-Befehl für Schütze K1 und K3. Der Schließer K24 gibt Ein-Befehl für K2 und K4. Der Ein-Befehl für K2 wird erst wirksam, wenn der Öffner von K1 geschlossen ist, und für K4, wenn der Schließer von K2 geschlossen ist. Der Motor läuft bei der mittleren Drehzahl im Linkslauf.
Weiteres Ein- und Umschalten siehe Tabelle (Tasterbetätigung und Schaltbefehle für die Schütze für einen polumschaltbaren Drehstrom-Asynchronmotor für drei Drehzahlen und zwei Drehrichtungen).
Ausschalten: Durch Betätigen des Tasters SO werden alle jeweils eingeschalteten Schütze ausgeschaltet und damit der Motor abgeschaltet.

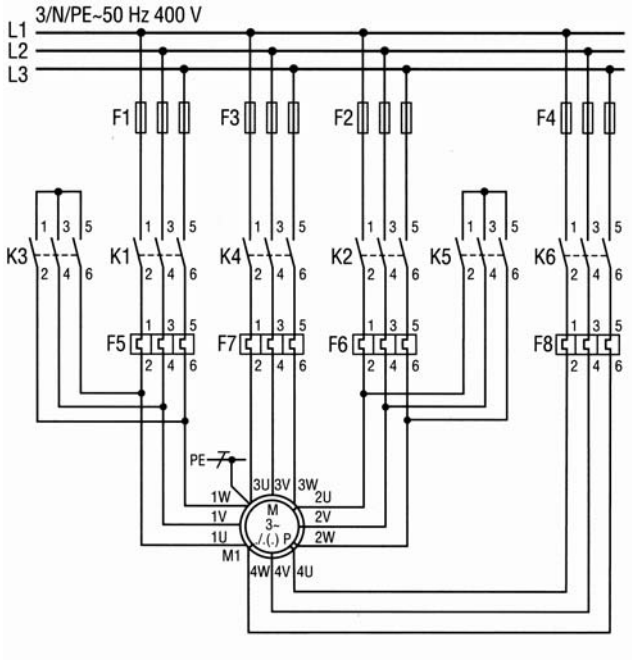
Dauerkontaktgabe c)
Der Befehlsgeber S1 schaltet die Schütze wie unter Tasterbetätigung ein, um, für Rechts- und Linkslauf oder aus.

Tasterbetätigung und Schaltbefehle für die Schütze für einen polumschaltbaren Drehstrom-Asynchronmotor für drei Drehzahlen und zwei Drehrichtungen.

(Hilfsschütze zur Kontaktvervielfältigung in Klammern)

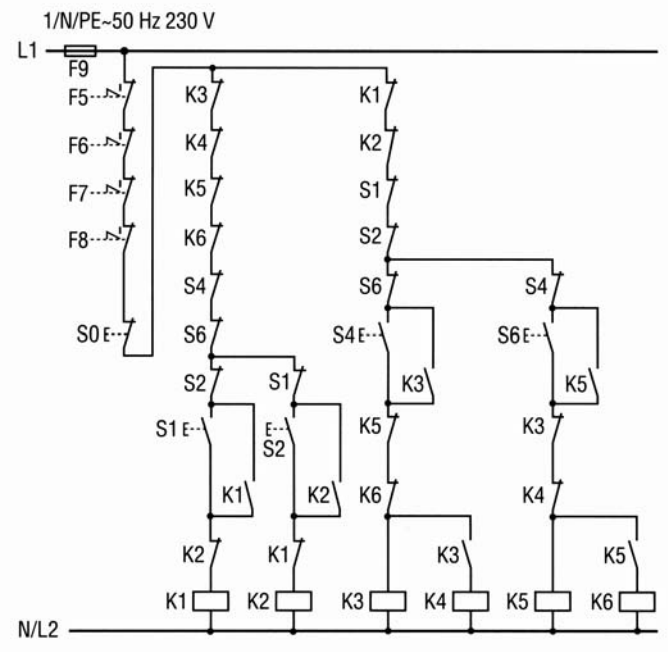
Motoranlauf	Betätigung des Tasters	Ein-Befehl für Schütze	Aus-Befehl für Schütze
Rechtslauf			
Niedrige Drehzahl	S13	K1, K3	K2, K4, K5, K6
Mittlere Drehzahl	S14 (K14)	K1, K4	K2, K3, K5, K6
Hohe Drehzahl	S16 (K16)	K1,K5, K6	K2, K3, K4
Linkslauf			
Niedrige Drehzahl	S23	K2, K3	K1, K4, K5, K6
Mittlere Drehzahl	S24 (K24)	K2, K4	K1, K3, K5, K6
Hohe Drehzahl	S26 (K26)	K2, K5, K6	K1, K3, K4

Stromlaufpläne für einen polumschaltbaren Drehstrom-Asynchronmotor mit zwei getrennten Wicklungen, vier Drehzahlen, einer Drehrichtung, beide Wicklungen in Dahlander-Schaltungen



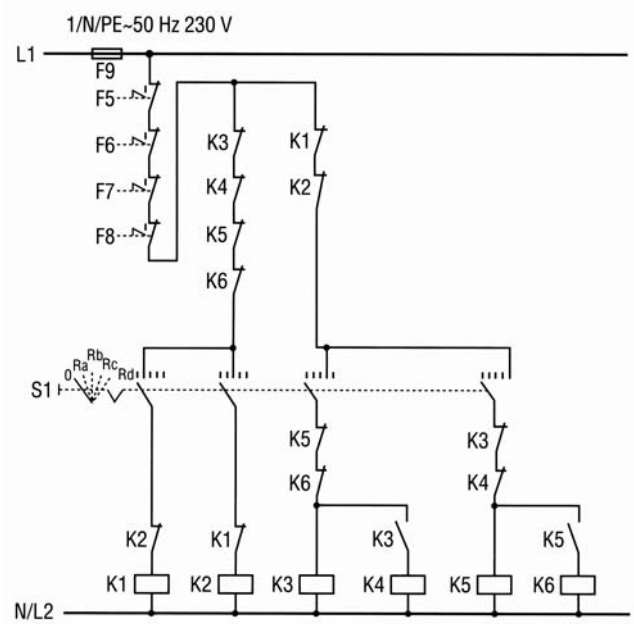
a) Hauptstromkreis

b) Hilfsstromkreis bei Tasterbetätigung



Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütze K1, K2 mit je 1S+2Ö,
Schütze K3, K5 mit je 2S+2Ö,
Schütze K4, K6 mit je 2Ö,
Taster S0 mit 1Ö,
Taster S1, S2, S4, S6 mit je 1S+2Ö,
Überlastrelais F5, F6, F7 und F8 mit je 1Ö

c) Hilfsstromkreis bei Dauerkontaktgabe



Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütze K1, K2, K4, K6 mit je 2Ö,
Schütze K3, K5 mit je 1S+2Ö,
Befehlsgeber S1 mit 5 Schaltstellungen,
Überlastrelais F5, F6, F7 und F8 mit je 1Ö

Tasterbetätigung b)
Einschalten: Taster S1 betätigt Schütz K1, der Selbsthaltekontakt K1 schließt. Der Motor läuft in der Drehzahl 1 an.
Umschalten: Bei Betätigen des Tasters S2 erhält das Schütz K1 über den Öffner des Tasters S2 Aus-Befehl und das Schütz K2 über den Schließer des Tasters S2 Ein-Befehl. Der Ein-Befehl für Schütz K2 wird erst wirksam, wenn der Öffner des Schützes K1 geschlossen ist, der Selbsthaltekontakt K2 schließt. Der Motor läuft in der Drehzahl 2.
Bei Betätigung von Taster S4 erhalten die Schütze K1 oder K2 über den Öffner von S4 Aus-Befehl und das Schütz K3 Ein-Befehl über den Schließer S4. Der Ein-Befehl wird erst wirksam, wenn die Öffner der Schütze K1, K2, K5 und K6 geschlossen sind. Der Selbsthaltekontakt K3 und der Schließer K3 schließen. Das Netzschütz K4 schaltet ein. Der Motor läuft in der Drehzahl 3.
Bei Betätigen von Taster S6 werden die Schütze K5 und K6 eingeschaltet. Verriegelung wie beim Einschalten der Schütze K3 und K4. Der Motor läuft in der Drehzahl 4.
Ausschalten: Durch Betätigen von Taster S0 erhalten die zu dieser Zeit eingeschalteten Schütze Aus-Befehl.

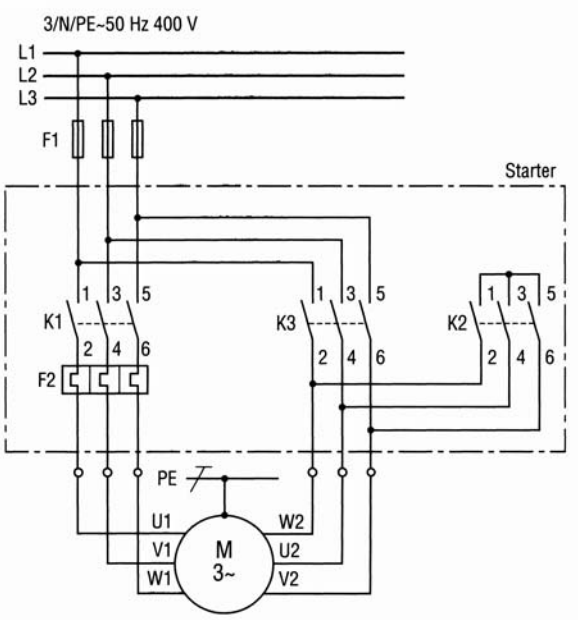
Dauerkontaktgabe c)
Befehlsgeber S1 schaltet wie unter Tasterbetätigung die Schütze K1 bis K6 ein, um oder aus.

Anlassen von Drehstrom-Asynchronmotoren mit Stern-Dreieck-Schaltungen

In diesem Abschnitt sind Schaltungsbeispiele für das Anlassen von Asynchronmotoren mit Schützen beschrieben.

Beachte:

Beim Stern-Dreieck-Anlassen ist es erforderlich zwischen Netz- und Dreieck-Schütz einen Phasentausch vorzunehmen.



Hauptstromkreis für Stern-Dreieck-Anlasser in der so genannten Europa-Schaltung.

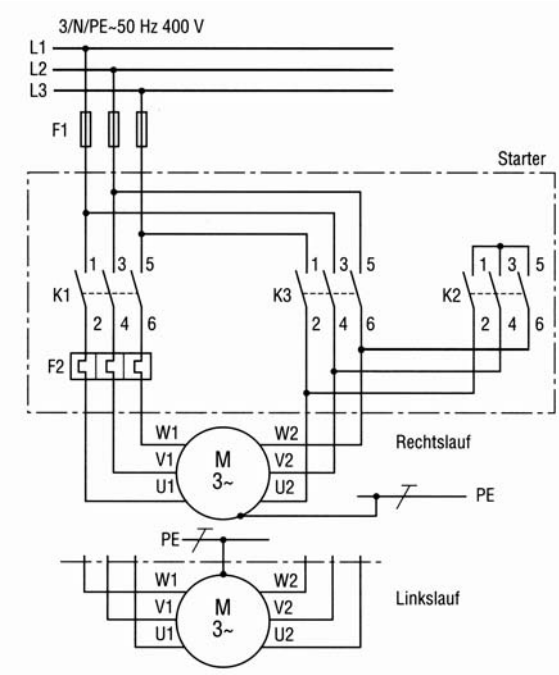
Stromlaufpläne für das Stern-Dreieck-Anlassen von Drehstrom-Asynchronmotoren mit Sternschütz, Dreieckschütz und Netzschütz

TIPP:

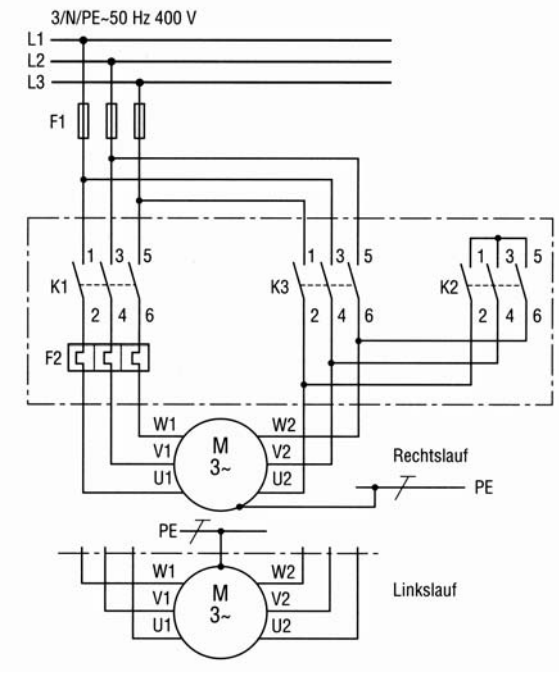
Um bei Stern-Dreieck-Startern für das Stern-Dreieck-Anlassen von Drehstrom-Asynchronmotoren Kurzschlüsse beim Umschalten von der Sternstufe in die Dreieckstufe zu vermeiden, ist ein Stern-Dreieck-Zeitrelais mit Umschaltpause zu verwenden. Damit ist sichergestellt, dass der Lichtbogen beim Öffnen des Sternschützes gelöscht ist, bevor das Dreieckschütz schließt.

Bemessung der Schütze für Anlaufzeiten bis 10 s:
Das Netzschütz K1 ist für 58 % der Motorleistung, das Sternschütz K2 für 33 % der Motorleistung und das Dreieckschütz K3 für 58 % der Motorleistung zu bemessen.

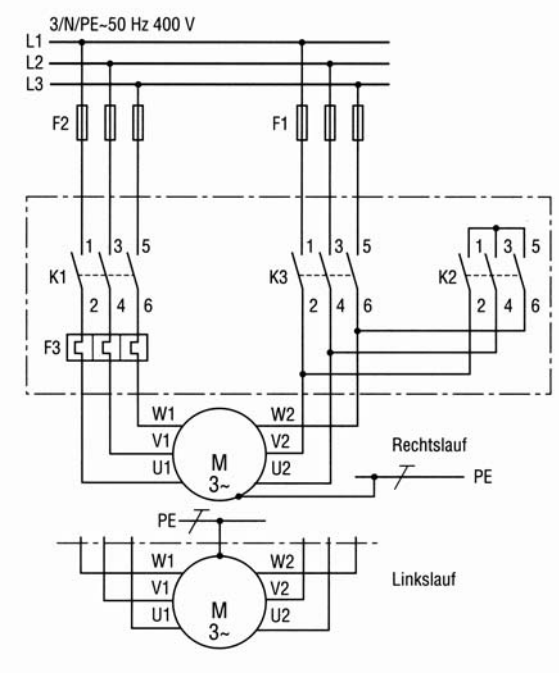
Bemessung der Schütze für Anlaufzeiten bis 60 s:
Die Leistungsangaben der Schütze für Umschaltzeiten bis 60 s sind den aktuellen Siemens-Katalogen zu entnehmen.



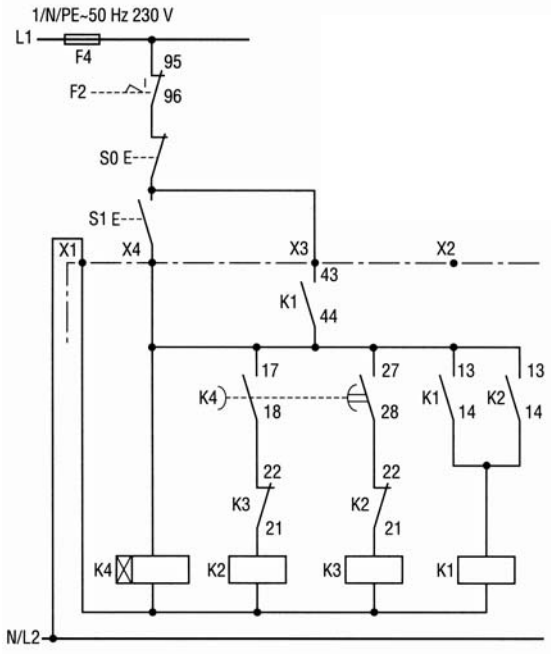
a) Hauptstromkreise für Stern-Dreieck-Anlasser bis 160 A. Gemeinsame Zuleitung von Netz- und Dreieckschütz sowie gemeinsame Absicherung.



b) Hauptstromkreise für Stern-Dreieck-Anlasser bis 630 A. Getrennte Zuleitung von Netz- und Dreieckschütz sowie gemeinsame Absicherung bis 630 A.



c) Hauptstromkreise für Stern-Dreieck-Anlasser bis 630 A. Getrennte Zuleitung von Netz- und Dreieckschütz sowie getrennte Absicherung.



d) Hilfsstromkreis bei Tasterbetätigung für 3TE von 45 A bis 630 A mit Stern-Dreieck-Zeitrelais.

Tasterbetätigung
Einschalten: Der Taster S1 betätigt das Zeitrelais K4 und das Sternschütz K2 über den verzögerten Schließer 17/18 des Stern-Dreieck-Zeitrelais K4. Die Selbsthalteschließer K1 und K2 schließen. Der Motor läuft in Sternstufe hoch.
Umschalten: Nach Ablauf der eingestellten Verzögerungszeit öffnet der verzögerte Schließer K4, das Sternschütz K2 wird ausgeschaltet. Wenn der verzögerte Schließer K4 des Stern-Dreieck-Zeitrelais nach 50 ms Umschaltpause schließt, wird das Dreieckschütz K3 über den Öffner von K2 eingeschaltet. Der Motor läuft in der Dreieckstufe.
Ausschalten: Durch Betätigen von Taster S0 öffnet das Netzschütz K1; der Schließer von K1 öffnet sich.
Das Dreieckschütz K3 und der Motor werden abgeschaltet.
Die nicht erwähnten Schützkontakte dienen zur Verriegelung zwischen Stern- und Dreieckschütz.

Stromlaufpläne für das Stern-Dreieck-Anlassen von Drehstrom-Asynchronmotoren mit unterbrechungsloser Umschaltung

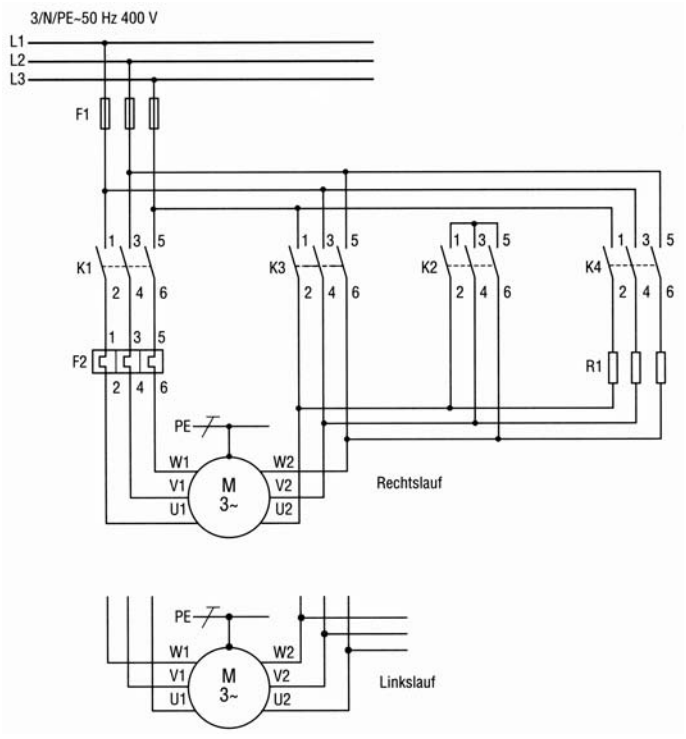
Beachte:

Beim normalen Stern-Dreieck-Anlassen ist beim Umschalten von der Stern- in die Dreieckstufe eine Umschaltpause von etwa 50 ms erforderlich.

Bei einer kürzeren Umschaltpause kann über den noch nicht gelöschten Lichtbogen im Sternschütz ein Phasenkurzschluss auftreten. Während der Umschaltpause ist der Motor jedoch stromlos und fällt in der Drehzahl leicht ab. Beim Einschalten der Dreieckstufe können Netzphase und Motorfeld deshalb in Opposition zueinander stehen, was durch die dann ablaufenden Ausgleichsvorgänge zu einer hohen Umschaltstromspitze führt.

Bei der geschlossenen Stern-Dreieck-Umschaltung wird der Motor nach Beendigung der Sternstufe ohne Umschaltpause über ein so genanntes Transitionsschütz und -widerstände in Dreieckschaltung ans Netz gebracht und nach etwa 50 ms ohne Pause in die normale Dreieckstufe umgeschaltet. Dadurch tritt am Motor keine stromlose Pause auf und die mögliche hohe Umschaltstromspitze des normalen Stern-Dreieck-Starters wird vermieden.

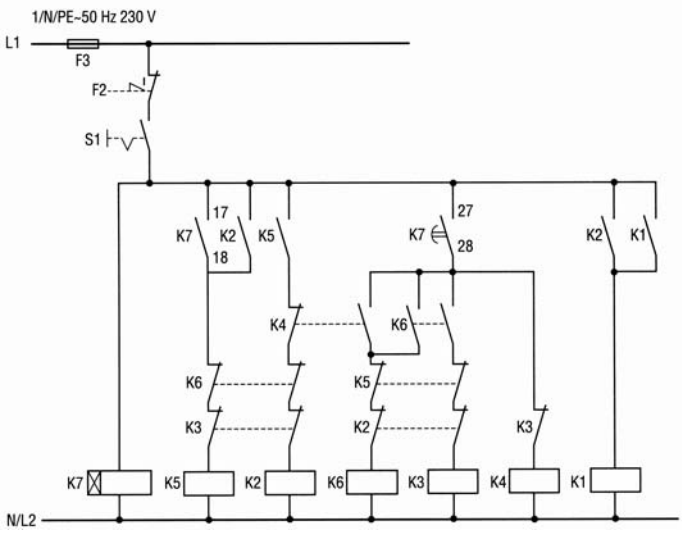
a) Hauptstromkreis



K1 Netzschütz
K2 Sternschütz
K3 Dreieckschütz
K4 Transitionsschütz
R1 Transitions-widerstände

b) Hilfsstromkreis bei Dauerkontaktgabe mit Stern-Dreieck-Zeitrelais.

Erforderliche Hilfsschaltglieder: Befehlsgeber S1 mit 1S, Schütz K1 mit 1S, Schütz K2 mit 2S+2Ö, Schütz K3 mit 3Ö, Schütz K4 mit 1S+1Ö, Hilfsschütz K5 mit 1S+2Ö, Hilfsschütz K6 mit 2S+2Ö, Zeitrelais K7 mit 1S und 1S anzugsverzögert, Überlastrelais F1 mit 1Ö



Dauerkontaktgabe b)
Einschalten: Befehlsgeber S1 betätigt das Stern-Dreieck-Zeitrelais K7. Hierdurch werden das Hilfsschütz K5, das Sternschütz K2 und das Netzschütz K1 angesteuert. Der Motor läuft in der Sternstufe an.
Umschalten: Nach Ablauf der eingestellten Hochlaufzeit schaltet das Transitionsschütz K4 die Motorwicklungen mit den Transitionswiderständen R1 im Dreieck und lässt das Stern-Schütz K2 abfallen. Anschließend wird über das Hilfsschütz K6 das Dreieckschütz K3 angesteuert, das die Stromführung übernimmt. Das Transitionsschütz K4 schaltet aus.
Ausschalten: Durch den Befehlsschalter S1 wird die Steuerung abgeschaltet und der Motor vom Netz getrennt.

Bemessung der Schütze:
Das Netzschütz K1 ist für 58 % des Bemessungsbetriebsstroms, das Dreieckschütz K3 für 58 % des Bemessungsbetriebsstroms, das Sternschütz K2 für 58 % des Bemessungsbetriebsstroms und das Transitionsschütz K4 für 26 % des Bemessungsbetriebsstroms auszulegen.

$$\frac{1{,}5 \bullet I_e \bullet \sqrt{3}}{10}$$

Das Zeitrelais K7 muss anzugsverzögert sein.

Das Sternschütz K3 muss den Sternstrom des Motors und der Transitionswiderstände abschalten. Da in den Transitionswiderständen etwa der 1,5-fache Bemessungsbetriebsstrom fließt, ist eine höhere Schaltleistung PR1 erforderlich. Unterbrechungslose Stern-Dreieck-Schaltungen werden meist mit großer Schalthäufigkeit betrieben. Daher entspricht das gegenüber der “normalen” Stern-Dreieck-Schaltung größer dimensionierte Sternschütz diesen Anforderungen.

Berechnung der Transitionswiderstände R1:

$$R_1 = \frac{U_e}{1{,}5 \bullet I_e \bullet \sqrt{3}}$$

$$P_{R1} = \frac{U_e^2}{1200 \bullet R_1}$$ in W für max. 12 Schaltspiele/h

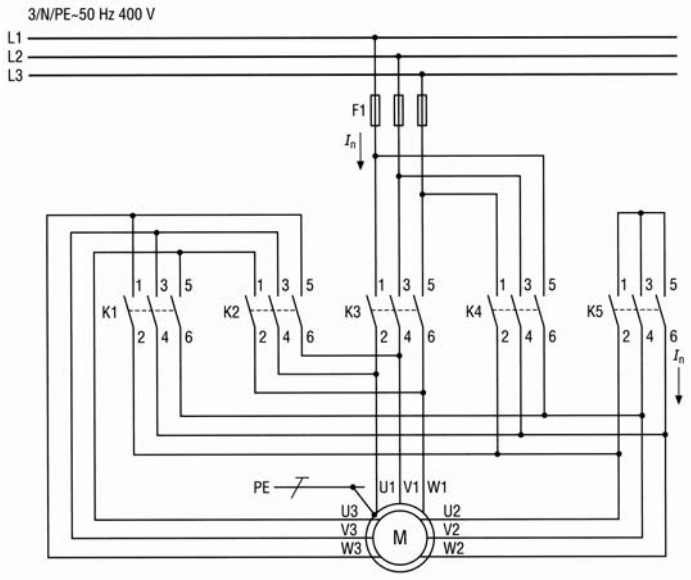
$$P_{R1} = \frac{U_e^2}{500 \bullet R_1}$$ in W für max. 30 Schaltspiele/h

Stromlaufpläne für das Vier-Stufen-Stern-Dreieck-Anlassen von Drehstrom-Asynchronmotoren

TIPP:

Die Vier-Stufen-Stern-Dreieck-Schaltung wird bei Antrieben mit hohen Gegenmoment verwendet, bei denen ein normaler Stern-Dreieck-Anlauf den Antrieb nicht auf ausreichende Umschaltdrehzahl beschleunigt.

a) Hauptstromkreis



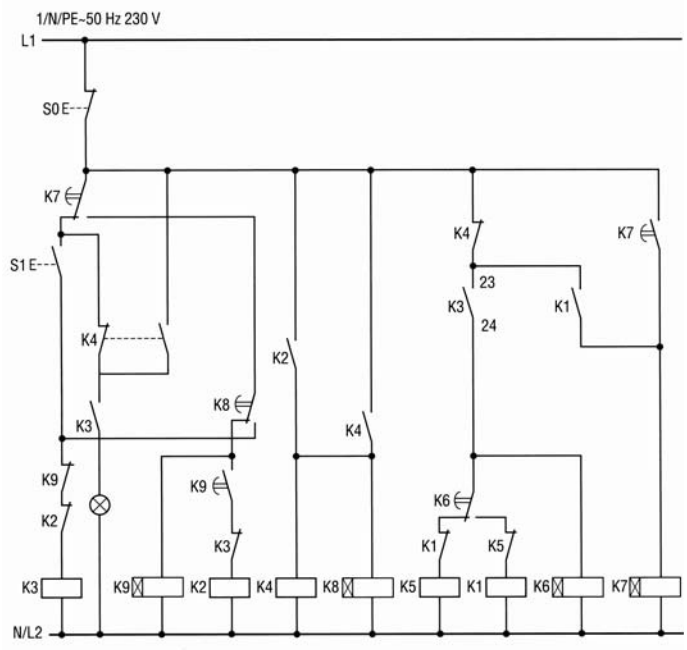
Stufe 1:
Schütze K3 und K5

Stufe 2:
Schütze K3 und K1

Stufe 3:
Schütze K4 und K2

Stufe 4:
Schütze K4 und K3

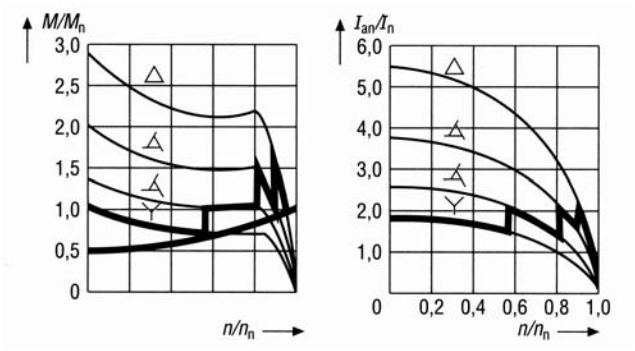
b) Hilfsstromkreis bei Tasterbetätigung und Zeitrelais für Zeitverzögerung (Vier-Stufen-Stern-Dreieck-Anlauf)

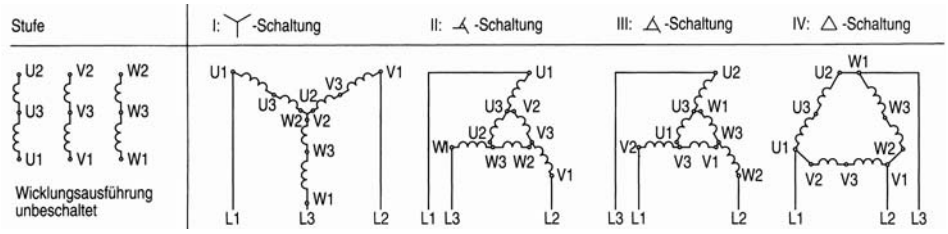


Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Taster S0 mit 1Ö,
Taster S1 mit 1S,
Schütz K1 mit 1S+1Ö,
Schütz K2 mit 1S+1Ö,
Schütz K3 mit 2S+1Ö,
Schütz K4 mit 2S+2Ö,
Schütz K5 mit 1Ö,
Zeitrelais K6 mit 1W,
Zeitrelais K7 mit 1W+1S, beide verzögert,
Zeitrelais K8 mit 1W verzögert,
Zeitrelais K9 mit 1S verzögert + 1Ö

Tasterbetätigung
Einschalten Stufe I:
Der Taster S1 erregt bei Betätigung die Schützspule K3. Dieses Schütz geht in Selbsthaltung und schaltet mit einem Schließer das Schütz K5 und das Zeitrelais K6 ein. Der Motor wird in der ersten Anlassstufe an das Netz gelegt.
Umschalten Stufe II:
Der einschaltverzögerte Wechsler des Zeitrelais K6 schaltet nach Ablauf seiner Verzögerungszeit das Schütz K5 aus und K1 ein. Der Motor wird in die zweite Anlass-stufe geschaltet.
Umschalten Stufe III:
Zugleich wird das Zeitrelais K7 erregt dessen Wechsler nach Ablauf der Verzögerunszeit K9 erregt. Das Schütz K3 wird abgeschaltet und K2 eingeschaltet. Das Schütz K2 schaltet K4 und das Zeitrelais K8 ein. Der Motor wird in die dritte Anlassstufe geschaltet.
Umschalten Stufe IV:
Der Wechsler von K8 schaltet nach Ablauf der Verzögerungszeit K2 aus und K3 ein.
Der Antrieb wird nun in der Dreieckstufe auf seine Nenndrehzahl beschleunigt.
Ausschalten:
Durch Betätigen des Tasters S0 wird die Steuerung ausgeschaltet.
Die Schütze werden nach den jeweiligen Strömen und Anlaufzeiten ausgewählt.
Aufgrund der unterschiedlichen Anlaufströme des Motors in den einzelnen Stufen empfiehlt sich die Verwendung eines Thermistor-Motorschutzes.

Momenten- und Stromverlauf während des Vier-Stufen-Stern-Dreieck-Anlaufs

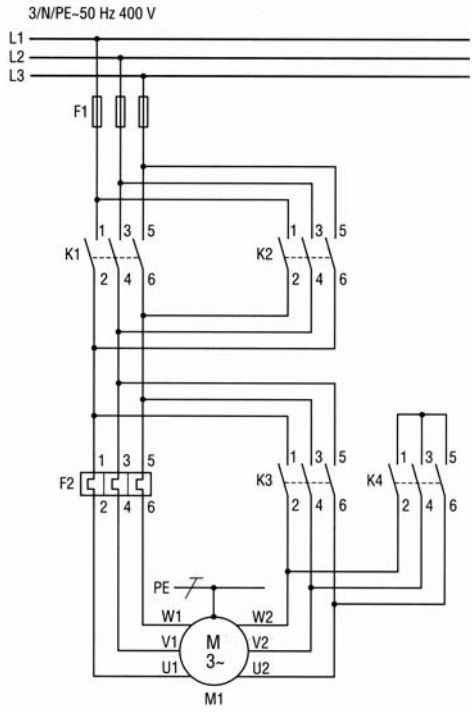




Anzugsmoment $M/M_{n\Delta}$	*o,30*	*0,41*	*0,61*	*1,0*
Anzugsstrom $I_{an}/I_{n\Delta}$	*o,30*	*0,41*	*0,61*	*1,0*

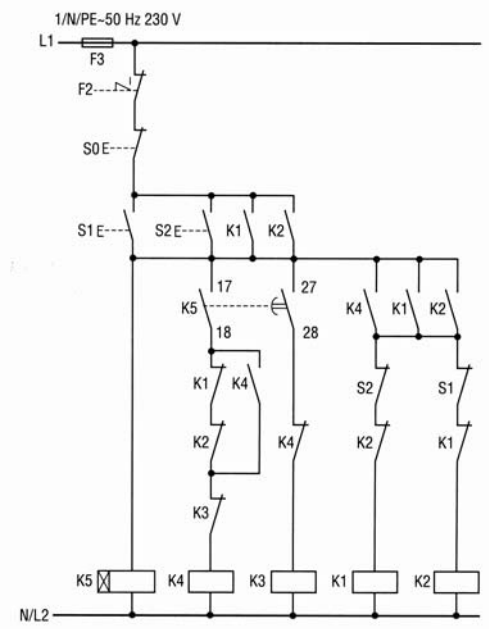
Schaltschema der Wicklungsunterteilung für Drehstrom-Asynchronmotoren in spezieller Stern-Dreieck-Schaltung, wobei die Wicklung innerhalb der Maschine geschaltet ist. Umwandlung der Sternschaltung (Stufe I) über die Zwischenstufe II und III zur Dreieckschaltung (Stufe IV).

Stromlaufpläne für das Stern-Dreieck-Anlassen von Drehstrom-Asynchronmotoren in zwei Drehrichtungen mit Stern-Dreieck-Zeitrelais mit Umschaltpause



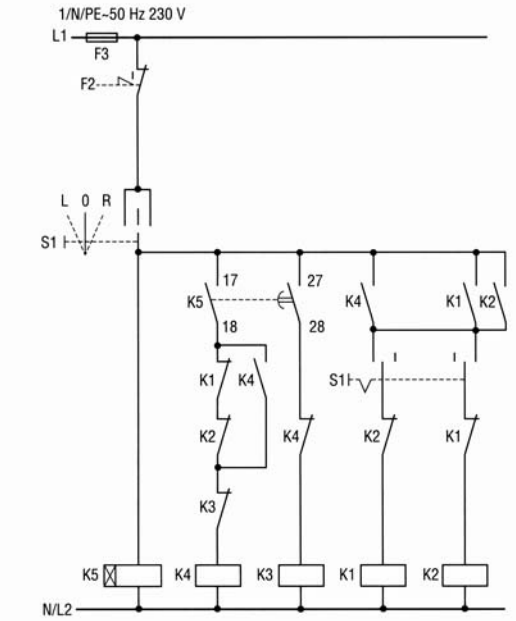
a) Hauptstromkreis

b) Hilfsstromkreis bei Tasterbetätigung



Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütz K1 mit 2S+2Ö,
Schütz K2 mit 2S+2Ö,
Schütz K3 mit 1Ö,
Schütz K4 mit 2S+1Ö,
Zeitrelais K5 mit 1S unverz. + 1S verzögert,
Taster S0 mit 1Ö,
Taster S1, S2 mit je 1S+1Ö

c) Hilfsstromkreis bei Dauerkontaktgabe



Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütz K1 mit 1S+2Ö,
Schütz K2 mit 1S+2Ö,
Schütz K3 mit 1Ö,
Schütz K4 mit 1S+1Ö,
Zeitrelais K5 mit 1S unverz. + 1S verzögert,
Befehlsgeber S1 mit 3 Schaltstellungen

Bemessung der Schütze:
Die Netzschütze K1 und K2 sind für 100 % der Motorleistung, das Sternschütz K4 für 33 % der Motorleistung und das Dreieckschütz K3 für 58 % der Motorleistung auszulegen.

Tasterbetätigung b)
Einschalten (Rechtslauf des Motors): Der Taster S1 betätigt Stern-Dreieck-Zeitrelais K5, dieses über den unverzögerten Schließer K5 das Sternschütz K4. Der Schließer K4 betätigt das Netzschütz K1, die Selbsthaltekontakte K1 und K4 schließen. Die Öffner von S1 und K1 verhindern, dass das Netzschütz K2 für Linkslauf eingeschaltet werden kann. Der Motor läuft in der Sternstufe im Rechtslauf hoch.
Umschalten in die Dreieckstufe: Nach Ablauf der eingestellten Verzögerungszeit t1 öffnet der unverzögerte Schließer von K5, das Sternschütz K4 wird ausgeschaltet. Der Öffner von Sternschütz K4 schließt. Dann schließt nach Ablauf der Umschaltpause t2 von etwa 50 ms der verzögerte Schließer von K5 und das Dreieckschütz K3 wird eingeschaltet, weil der Schließer vom Netzschütz K1 bereits geschlossen ist. Der Motor läuft in der Dreieckstufe.
Einschalten (Linkslauf des Motors): Der Taster S2 betätigt das Stern-Dreieck-Zeitrelais K5, dieses über den Schließer K5 das Sternschütz K4. Der Schließer K4 betätigt das Netzschütz K2, die Selbsthaltekontakte K2 und K4 schließen. Die Öffner von S2 und K2 verhindern, dass das Netzschütz K1 für Rechtslauf eingeschaltet werden kann. Der Motor läuft in der Sternstufe hoch.

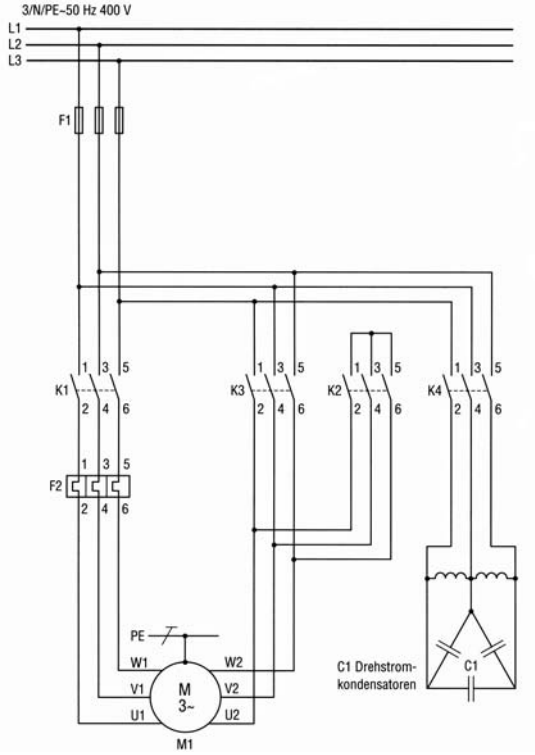
Umschalten in die Dreieckstufe: wie bei Rechtslauf des Motors.

Ausschalten: Durch Betätigen des Tasters SO fällt das Netzschütz K1 bzw. K2 ab. Durch den geöffneten Schließer von K1 bzw. K2 werden das Dreieckschütz K3 und der Motor abgeschaltet.

Die nicht erwähnten Schützkontakte dienen zur Verriegelung zwischen Stern- und Dreieckschütz.

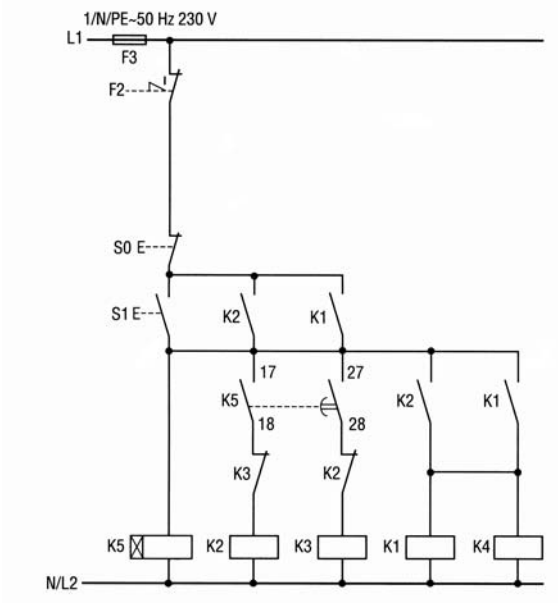
Dauerkontaktgabe c)
Der Befehlsgeber S1 schaltet über die Schütze den Motor wie unter Tasterbetätigung für Rechts- oder Linkslauf ein und aus.

Stromlaufpläne für das Stern-Dreieck-Anlassen von Drehstrom-Asynchronmotoren mit Blindstromkompensation, Kondensator unabhängig von der Motorwicklung, wobei ein Stern-Dreieck-Zeitrelais mit Umschaltpause verwendet wird



a) Hauptstromkreis

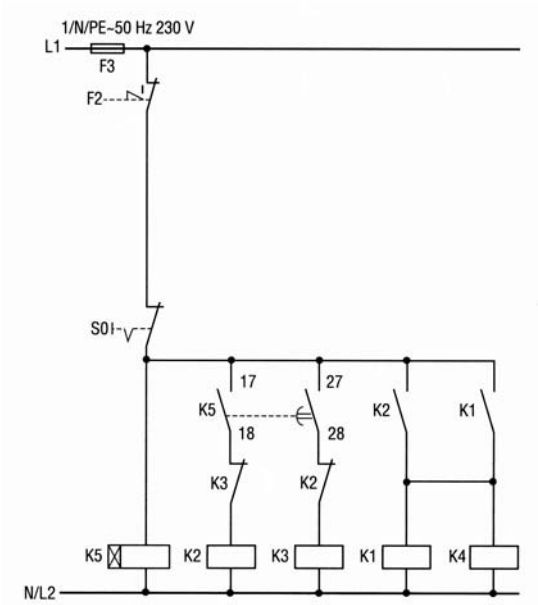
b) Hilfsstromkreis bei Tasterbetätigung



Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütz K1 mit 2S,
Schütz K2 mit 2S+1Ö,
Schütz K3 mit 1Ö,
Taster S0 mit 1Ö,
Taster S1 mit 1S,
Zeitrelais K5 mit 1S unverz. + 1S verzögert

K5: Die Schaltkontakte 17/18 und 27/28 sind nicht mechanisch gekoppelt.

c) Hilfsstromkreis bei Dauerkontaktgabe



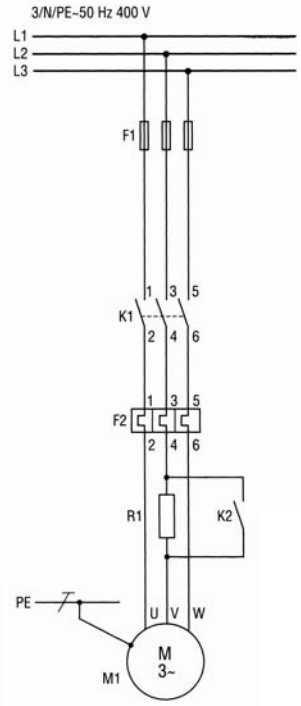
Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütz K1 mit 1S,
Schütz K2 mit 1S+1Ö,
Schütz K3 mit 1Ö,
Befehlsgeber S1 mit 1S,
Zeitrelais K5 mit 1S unverz. + 1S verzögert

K5: Die Schaltkontakte 17/18 und 27/28 sind nicht mechanisch gekoppelt.

Tasterbetätigung b)
Einschalten: Der Taster S1 betätigt das Stern-Dreieck-Zeitrelais K5, dieses über den unverzögerten Schließer K5 das Sternschütz K2. Der Schließer K2 betätigt das Netzschütz K1 und das Kompensationsschütz K4; die Selbsthaltekontakte K2 und K1 schließen. Der Motor läuft in der Sternstufe hoch.
Umschalten: Nach Ablauf der eingestellten Verzögerungszeit t1 öffnet der unverzögerte Schließer von K5; das Sternschütz K2 wird ausgeschaltet. Der Öffner des Sternschützes K2 schließt. Dann schließt nach Ablauf der Umschaltpause t_2 von etwa 50 ms der verzögerte Schließer von K5 und das Dreieckschütz K3 wird eingeschaltet, weil der Schließer vom Netzschütz K1 bereits geschlossen ist. Der Motor läuft in der Dreieckstufe.
Ausschalten: Durch Betätigen des Tasters SO öffnet das Netzschütz K1, der Schließer von K1 öffnet, das Dreieckschütz K3 und der Motor werden abgeschaltet. Das Kompensationsschütz K4 schaltet aus.
Die nicht erwähnten Schützkontakte dienen zur Verriegelung zwischen Stern- und Dreieckschütz.

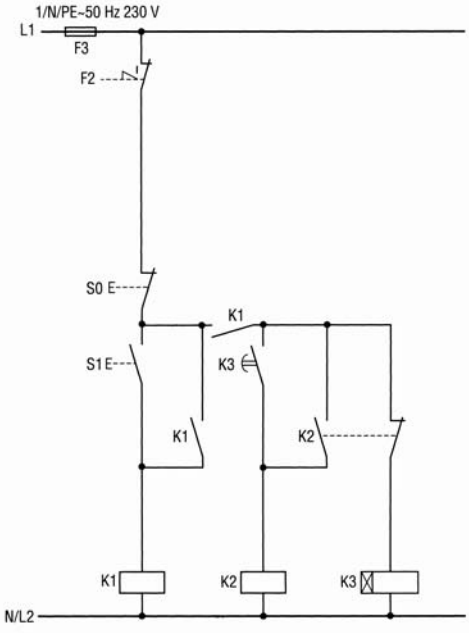
Dauerkontaktgabe c)
Der Befehlsgeber S1 schaltet die Schütze wie unter Tasterbetätigung ein und aus.

Stromlaufpläne für das selbsttätige Anlassen von Drehstrom-Asynchronmotoren mit Käfigläufer in Kurzschluss-Sanftanlauf-(KUSA-)Schaltung mit Zeitrelais



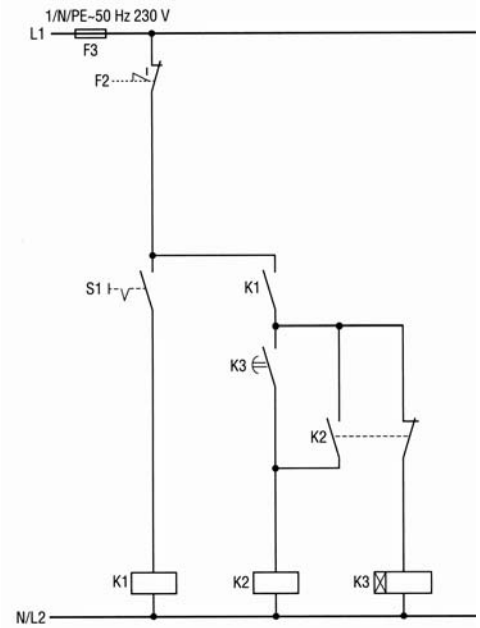
a) Hauptstromkreis

b) Hilfsstromkreis bei Tasterbetätigung



Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütz K1 mit 2S,
Schütz K2 mit 1S+1Ö,
Zeitrelais K3 mit 1S verzögert,
Taster S0 mit 1Ö,
Taster S1 mit 1S,
Überlastrelais F2 mit 1Ö

c) Hilfsstromkreis bei Dauerkontaktgabe

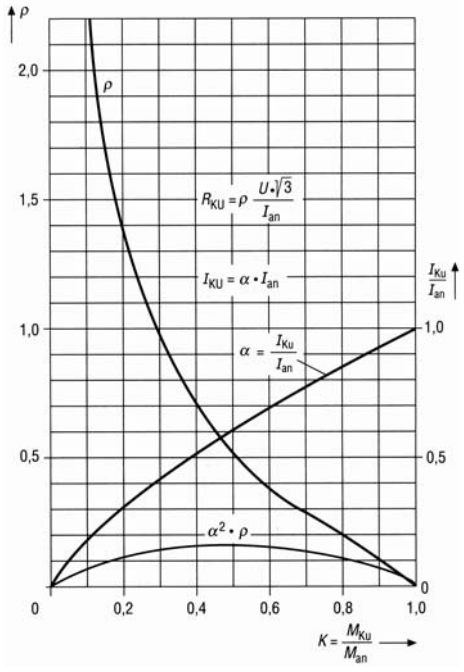


Erforderliche Hilfsschaltglieder: Schütz K1 mit 1S, Schütz K2 mit 1S+1Ö, Zeitrelais K3 mit 1S verzögert, Befehlsgeber S1 mit 1S, Überlastrelais F2 mit 1Ö

Tasterbetätigung b)
Einschalten: Der Taster S1 betätigt das Schütz Kl. Der Selbsthaltekontakt K1 schließt. Der Schließer von K1 betätigt Zeitrelais K3. Der Motor läuft mit vermindertem Drehmoment an. Nach Ablauf der eingestellten Zeit schaltet der Schließer von Zeitrelais K3 das Schütz K2 ein. Der Selbsthaltekontakt K2 schließt, der Öffner von Schütz K2 schaltet das Zeitrelais K3 ab. Der Schließer K2 im Hauptstromkreis schließt und überbrückt den Widerstand R1. Der Motor läuft mit Nennmoment.
Ausschalten: Durch Betätigen des Tasters S0 öffnen die Schütze K1 und K2. Der Motor wird ausgeschaltet.

Dauerkontaktgabe c)
Der Befehlsgeber S schaltet den Motor wie unter Tasterbetätigung ein und aus.

Bemessung der Schütze:
Das Schütz K1 ist auf 100 % der Motorleistung zu bemessen. Das Schütz K2 kann für die Gebrauchskategorie AC-1 ausgelegt werden.
Soll ein KUSA-Vorwiderstand für ein bestimmtes Anzugsmoment M_{Ku} berechnet werden, so ist zunächst die Kenntnis der Größe des Anzugsmoments M_{an} und des Anzugsstroms I_{an} des betreffenden Motors im Normalbetrieb erforderlich.

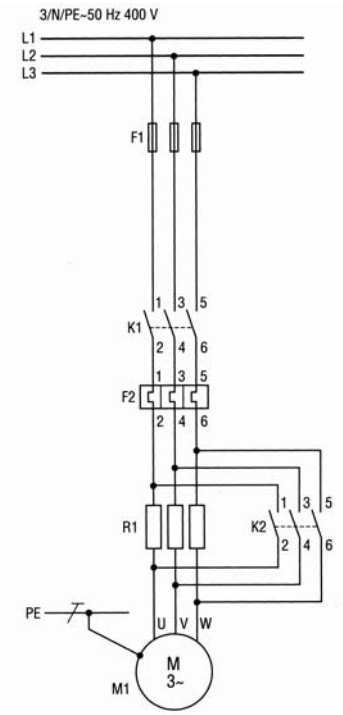


Aus dem Diagramm kann das Verhältnis α zur Ermittlung des KUSA-Vorwiderstands entnommen werden.

Mit dem Verhältnis $K=M_{Ku}/M_{an}$ kann aus dem Diagramm der Wert für ρ abgelesen werden. Zu dem Verhältnis $K=M_{Ku}/M_{an}$ gehört ein bestimmtes Verhältnis $\alpha=I_{Ku}/I_a$, damit wird $I_{Ku} = \alpha \bullet I_{an}$.

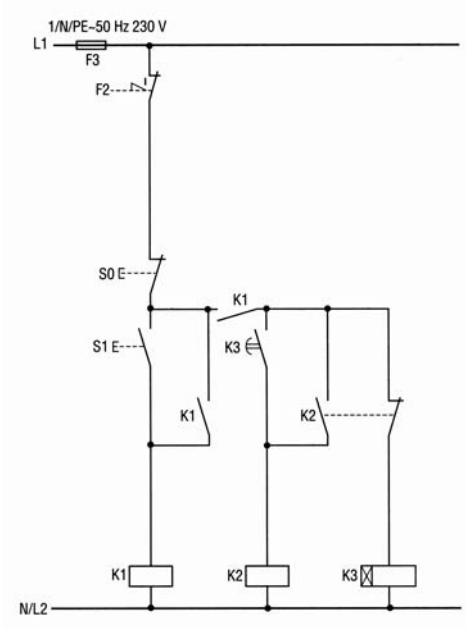
I_{an} Anzugsstrom
I_{Ku} Anzugsstrom mit KUSA-Widerstand
M_{an} Anzugsmoment
M_{Ku} Anzugsmoment mit KUSA-Widerstand

Stromlaufpläne für das selbsttätige Anlassen von Drehstrom-Asynchronmotoren mit Käfigläufer über dreisträngige Widerstände mit Zeitrelais



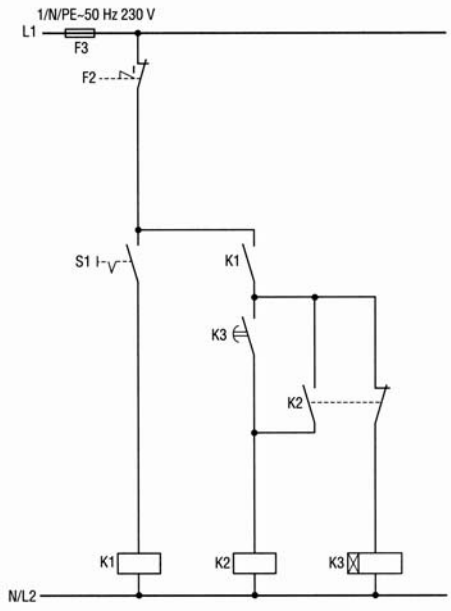
a) Hauptstromkreis

b) Hilfsstromkreis bei Tasterbetätigung



Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütz K1 mit 2S,
Schütz K2 mit 1S+1Ö,
Zeitrelais K3 mit 1S verzögert,
Taster S1 mit 1Ö,
Taster S1 mit 1S,
Überlastrelais F2 mit 1Ö

c) Hilfsstromkreis bei Dauerkontaktgabe



Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütz K1 mit 1S,
Schütz K2 mit 1S + 1Ö,
Zeitrelais K3 mit 1S verzögert,
Befehlsgeber S1 mit 1S,
Überlastrelais F2 mit 1Ö

Tasterbetätigung b)
Einschalten: Der Taster S1 betätigt das Schütz K1. Der Selbsthaltekontakt K1 schließt. Der Schließer von K1 betätigt das Zeitrelais K3. Der Motor läuft mit vermindertem Drehmoment an.
Nach Ablauf der eingestellten Zeit schaltet der Schließer des Zeitrelais K3 das Schütz K2 ein. Der Selbsthaltekontakt K2 schließt, der Öffner von Schütz K2 schaltet das Zeitrelais K3 ab. Das Schütz K2 im Hauptstromkreis schließt und überbrückt den Widerstand R1. Der Motor läuft mit dem Bemessungsmoment.
Ausschalten: Durch Betätigen des Tasters S0 öffnen die Schütze K1 und K2. Der Motor wird ausgeschaltet.

Dauerkontaktgabe c)
Der Befehlsgeber S1 schaltet den Motor wie unter Tasterbetätigung ein und aus.

Bemessung der Schütze:
Das Schütz K1 ist für 100 % der Motorleistung zu bemessen. Das Schütz K2 kann für die Gebrauchskategorie AC-1 ausgelegt werden. Bei Parallelschaltung von drei Strombahnen kann der zulässige Bemessungsbetriebsstrom um den Faktor 2,4 erhöht werden.
Zur Berechnung des KUSA-Vorwiderstands für ein bestimmtes Anzugsmoment MRV ist zunächst die Kenntnis der Größe des Anzugsmoments M_{an} und des Anzugsstroms I_{an} des betreffenden Motors im Normalbetrieb erforderlich.

Zu dem Verhältnis $K=M_{RV}/M_{an}$ gehört ein bestimmtes Verhältnis $\alpha=I_{RV}/I_{an}$, damit wird $I_{RV} = \alpha \bullet I_a$.

I_{an} Anzugsstrom
I_{RV} Anzugsstrom mit Vorwiderstand (R 1)
M_{an} Anzugsmoment
M_{RV} Anzugsmoment mit Vorwiderstand (R 1)

Das Verhältnis α kann dem entsprechenden Diagramm entnommen werden.

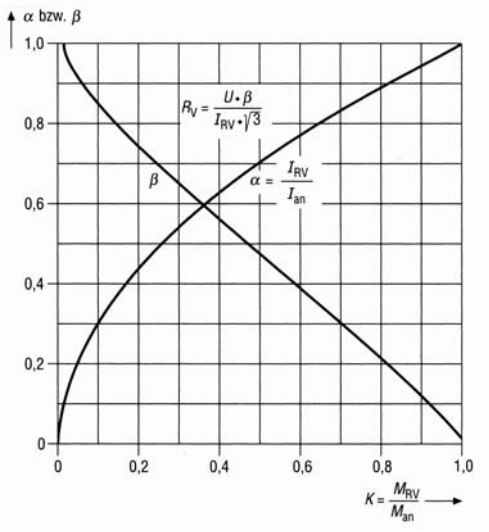
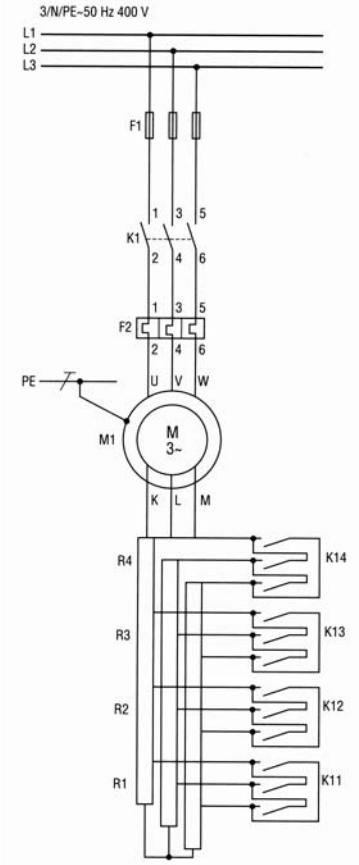
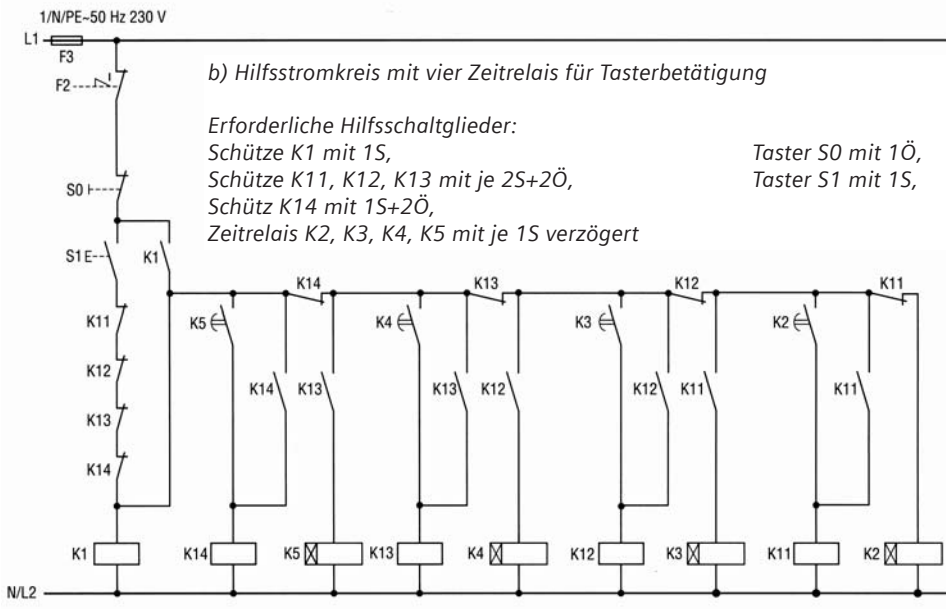


Diagramm zur Bestimmung eines dreisträngigen Vorwiderstands.

Die Stromlaufpläne für das selbsttätige Anlassen von Drehstrom-Asynchronmotoren mit Schleifringläufer, Widerstandsstufen im Läuferkreis.
In dieser Schaltung mit vier Stufen sind vier Zeitrelais eingesetzt.

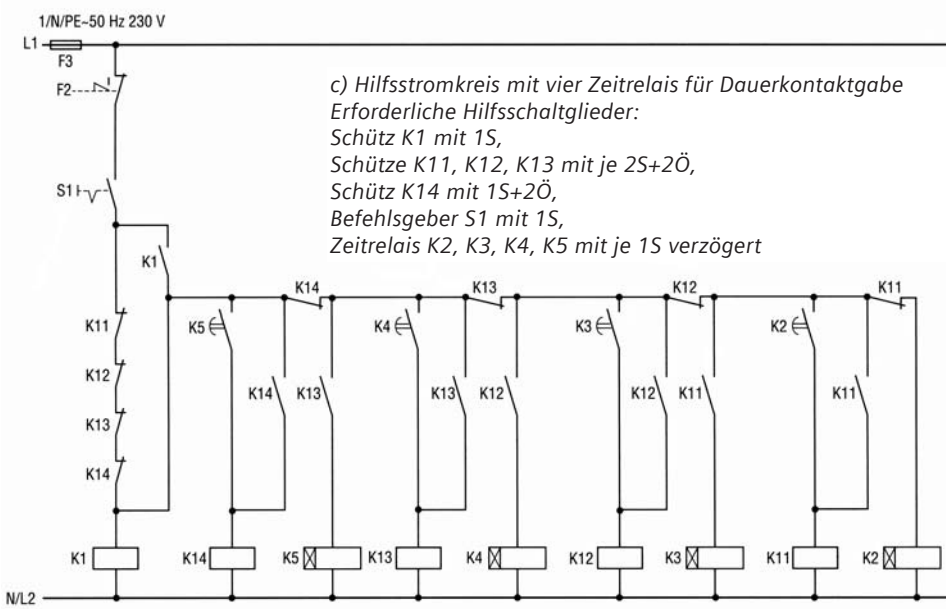


a) Hauptstromkreis



b) Hilfsstromkreis mit vier Zeitrelais für Tasterbetätigung

Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütze K1 mit 1S, *Taster S0 mit 1Ö,*
Schütze K11, K12, K13 mit je 2S+2Ö, *Taster S1 mit 1S,*
Schütz K14 mit 1S+2Ö,
Zeitrelais K2, K3, K4, K5 mit je 1S verzögert



c) Hilfsstromkreis mit vier Zeitrelais für Dauerkontaktgabe
Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütz K1 mit 1S,
Schütze K11, K12, K13 mit je 2S+2Ö,
Schütz K14 mit 1S+2Ö,
Befehlsgeber S1 mit 1S,
Zeitrelais K2, K3, K4, K5 mit je 1S verzögert

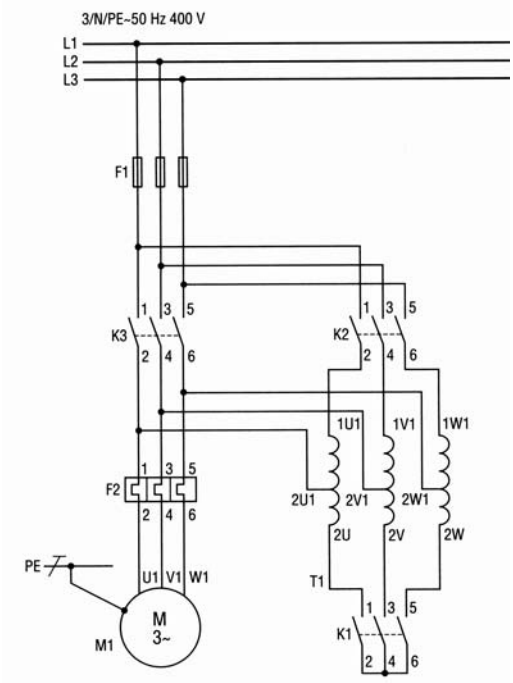
Tasterbetätigung b)
Einschalten und Anlassen: Taster S1 betätigt das Schütz K1. Der Selbsthaltekontakt K1 schließt, das Zeitrelais K2 wird angesteuert. Der Motor läuft mit vollem Läuferwiderstand R1 an.
Nach Ablauf der eingestellten Zeit schaltet der Schließer des Zeitrelais K2 das Läuferschütz K11 ein. Der Öffner des Läuferschützes K11 schaltet das Zeitrelais K2 aus, der Selbsthaltekontakt K11 schließt. Der Schließer des Läuferschütz K11 steuert das Zeitrelais K3 an. Der Motor läuft mit eingeschaltetem Läuferwiderstand R2.
Nach Ablauf der eingestellten Zeit schaltet der Schließer des Zeitrelais K3 das Läuferschütz K12 ein, der Öffner des Läuferschützes K12 schaltet das Läuferschütz K11 und das Zeitrelais K3 aus, der Selbsthaltekontakt K12 schließt. Der Schließer vom Läuferschütz K12 steuert das Zeitrelais K4 an. Der Motor läuft mit eingeschaltetem Läuferwiderstand R3 usw. bis das Läuferschütz K14 eingeschaltet ist und der Motor mit Nennmoment läuft.
Ausschalten: Durch Betätigen des Tasters SO öffnen das Ständerschütz K1 und das Läuferschütz K14. Der Motor wird ausgeschaltet.

Dauerkontaktgabe c)
Der Befehlsgeber S1 betätigt die Schütze und Zeitrelais wie unter Tasterbetätigung.

Stromlaufplan für geschlossenes Umschalten von Anlasstransformatoren mit drei Wicklungen (Korndörfer-Schaltung)

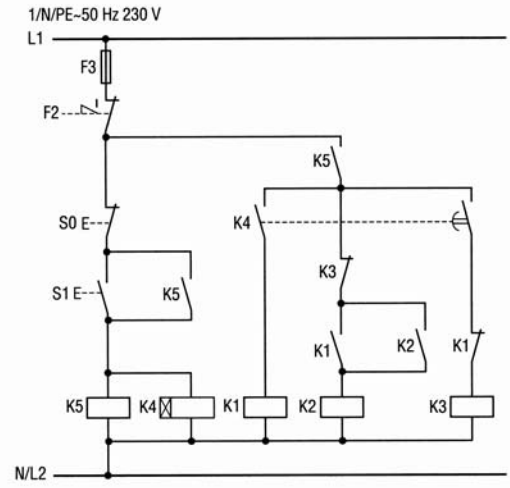
TIPP:

Anlasstransformatoren mit Schützen eignen sich zum automatischen Anlassen von Motoren im Leerlauf oder bei nur geringer Motorbelastung, wenn die Netzverhältnisse wegen eines zu hohen Anzugsstroms ein direktes Einschalten nicht zulassen.



a) Hauptstromkreis

b) Hilfsstromkreis bei Tasterbetätigung

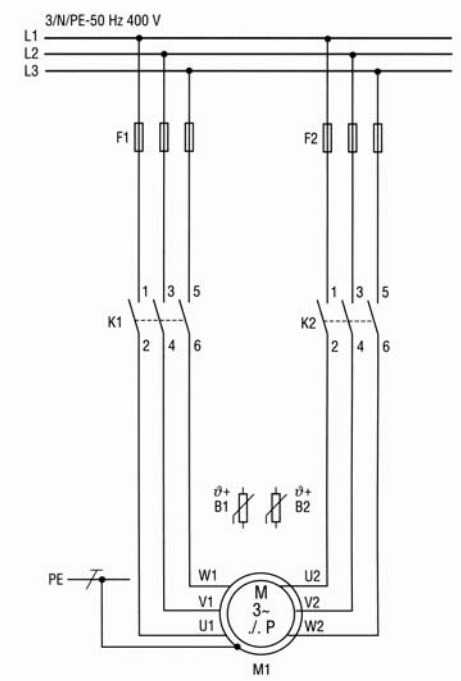


Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütz K1 mit 1S+1Ö,
Schütz K2 mit 1S,
Schütz K3 mit 1Ö,
Hilfsschütz K5 mit 2S,
Zeitrelais K4 mit 1S unverzögert + 1S verzögert,
Taster S0 mit 1Ö,
Taster S1 mit 1S

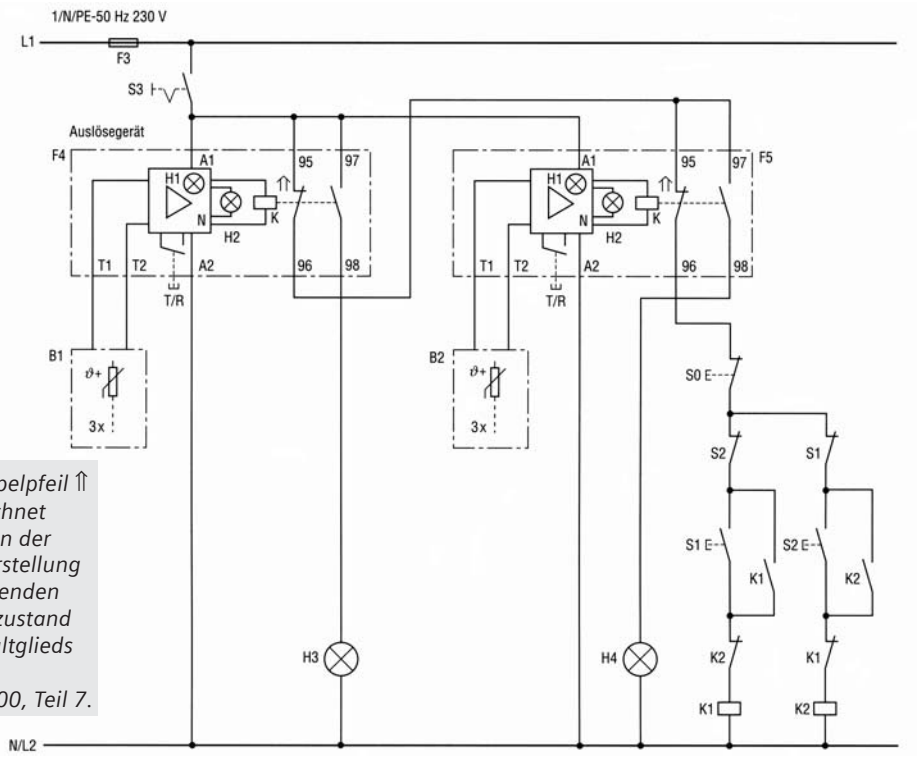
Tasterbetätigung b)
Einschalten: Der Taster S1 schaltet das Steuerschütz K5 und das Zeitrelais K4 ein. Das Sternschütz K1 wird angesteuert und schaltet über seinen Hilfsschalter das Transformatorschütz K2 ein. Der Motor läuft mit reduzierter Spannung und kleinem Strom an. Das Drehmoment des Motors ist quadratisch von der Spannung abhängig ($M \sim U^2$).
Für eine gute Anpassung des Motordrehmoments an die Anlaufbedingungen haben die Anlasstransformatoren meist in jeder Phase drei wählbare Anzapfungen.
Umschalten: Nach erfolgtem Hochlauf bei reduzierter Spannung wird das Transformator-Sternschütz K1 geöffnet. Die Transformator-Teilwicklung wirkt jetzt als Drossel. Der Motor liegt nun an der durch die Drosseln reduzierten Netzspannung. Die Motordrehzahl bleibt konstant. Über die Hilfsschaltglieder des abgefallenen Sternschützes wird das Motorschütz K3 angesteuert und der Motor an volle Netzspannung gelegt. Durch das Motorschütz K3 wird das Transformatorschütz K2 entregt. Die Umschaltung des Transformator- und Motor-schützes geschieht unterbrechungslos.
Ausschalten: Durch Betätigen des Tasters SO öffnet das Hilfsschütz K5. Über das nun abfallende Schütz K1 wird der Motor ausgeschaltet.

Schaltungen zum Motorschutz

Stromlaufpläne für einen Thermistor-Motorschutz für einen polumschaltbaren Drehstrom-Asynchronmotor mit zwei getrennten Wicklungen und zwei Drehzahlen



a) Hauptstromkreis



Der Doppelpfeil ⇑ kennzeichnet einen von der Regeldarstellung abweichenden Betriebszustand des Schaltglieds nach DIN 40900, Teil 7.

b) Hilfsstromkreis *T/R: Test/Reset-Taste*

b) Hilfsstromkreis

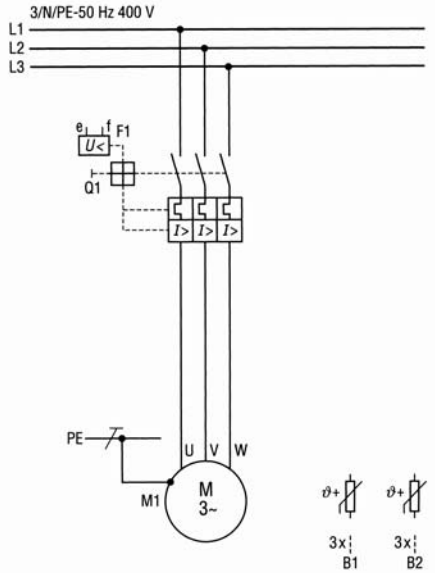
Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütze K1, K2 mit je 1S+1Ö,
Befehlsgeber S3 mit 1S,
Taster S0 mit 1Ö,

Schließer bzw. Öffner betätigt dargestellt

Taster S1, S2 mit je 1S+1Ö,
Auslösegeräte (monostabil) F4, F5 mit je 1S+1Ö

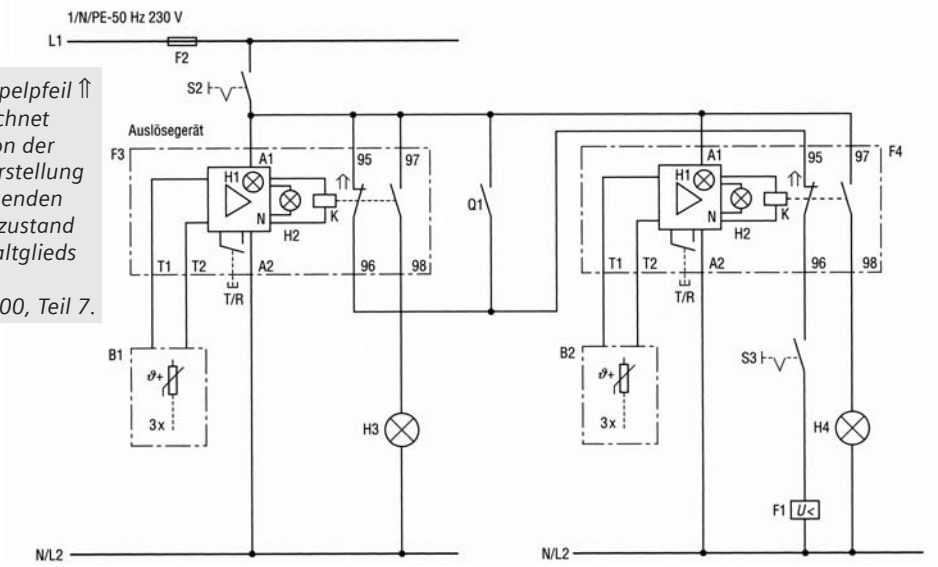
Dauerkontaktgabe b)
Einschalten: Über den Befehlsgeber S3 liegen die Erregerkreise der Auslösegeräte F4 und F5 für die getrennten Wicklungen an Spannung. Die Öffner 97-98 sind geöffnet und die Schließer 95-96 geschlossen.
Der Taster S1 betätigt das Schütz K1, der Selbsthaltekontakt K1 schließt. Der Motor läuft z.B. in der niedrigen Drehzahl an.
Bei Betätigen des Tasters S2 erhält das Schütz K1 über den Öffner des Tasters S2 Aus-Befehl und das Schütz K2 über den Schließer des Tasters S2 Ein-Befehl. Der Ein-Befehl für Schütz K2 wird erst wirksam, wenn der Öffner des Schützes K1 geschlossen ist. Der Selbsthaltekontakt K2 schließt. Der Motor läuft in der hohen Drehzahl.
Ausschalten über B 1 oder B2: Wenn der Motor bei Betrieb z. B. in der niedrigen Drehzahl überlastet und die Bemessungsansprechtemperatur der Kaltleiter-Temperaturfühler B 1 erreicht wird, spricht das Auslösegerät F4 an. Der Schließer 95-96 öffnet und der Öffner 97-98 schließt. Das Schütz K1 und der Motor werden ausgeschaltet. Der Leuchtmelder H3 leuchtet auf.
Bei Überlastung des Motors bei Betrieb in der hohen Drehzahl wird das Schütz K2 und damit der Motor sinngemäß über das Auslösegerät F5 ausgeschaltet. Der Leuchtmelder H4 leuchtet auf.
Ausschalten von Hand: Durch Betätigen des Tasters S0 öffnet das Schütz K1 oder K2. Der Motor wird ausgeschaltet.

Stromlaufpläne für einen Thermistor-Motorschutz mit je drei Fühlern in zwei Fühlerkreisen und Auslösegerät für Warnung und Abschaltung eines Motors über einen Leistungsschalter mit stromabhängig verzögertem Überlastauslöser (a-Auslöser) und unverzögertem elektromagnetischen Kurzschlussauslöser (n-Auslöser)



a) Hauptstromkreis

Der Doppelpfeil ⇑ kennzeichnet einen von der Regeldarstellung abweichenden Betriebszustand des Schaltglieds nach DIN 40900, Teil 7.

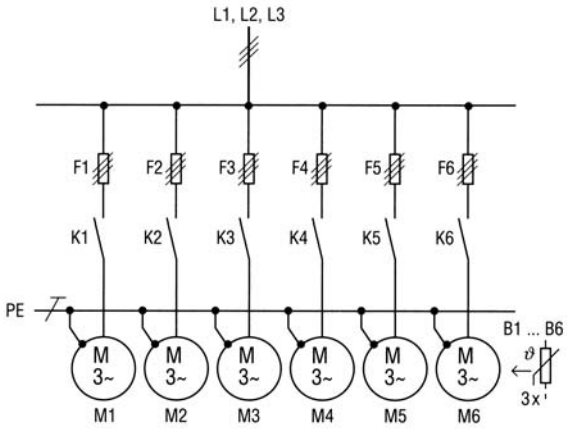


b) Hilfsstromkreis *T/R: Test/Reset-Taste*

Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schutzschalter Q1 mit 1S,
Befehlsgeber S2, S3 mit je 1S,
Schließer bzw. Öffner betätigt dargestellt Auslösegerät (monostabil) F3, F4 mit je 1S+1Ö,
Unterspannungsauslöser F1

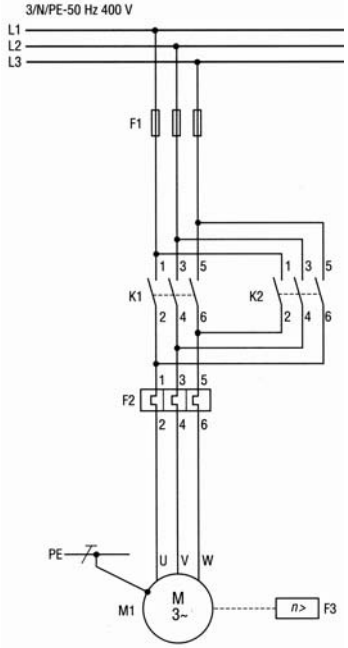
Dauerkontaktgabe b)
Einschalten: Über den Befehlsgeber S2 liegen die Erregerkreise der Auslösegeräte F3 für Warnung und F4 für Abschaltung an Spannung. Die Öffner 97-98 öffnen und die Schließer 95-96 schließen. Der Unterspannungsauslöser F1 des Leistungsschalters Q1 liegt über den Befehlsgeber S3 an Spannung. Der Leistungsschalter Q l wird von Hand eingeschaltet. Der Motor ist eingeschaltet.
Wenn der Motor überlastet wird und die Bemessungsansprechtemperatur der Kaltleiter-Temperaturfühler B 1 für Warnung erreicht ist, spricht das Auslösegerät F3 an. Der Öffner 97-98 von F3 schließt, der Leuchtmelder H3 für Warnung ist eingeschaltet.
Ausschalten über B2: Erreicht der Motor bei weiterer Erwärmung die Bemessungsansprechtemperatur TNF der Kaltleiter-Temperaturfühler B2 für Abschaltung, so spricht das Auslösegerät F4 an, der Schließer 95-96 von F4 öffnet und der Unterspannungsauslöser F1 schaltet den Leistungsschalter Q1 und damit den Motor aus. Der Leuchtmelder H4 ist über den Öffner 97-98 von F4 eingeschaltet.
Ausschalten von Hand: Dies geschieht über den Befehlsgeber S3.

Stromlaufpläne eines Thermistor-Motorschutzes für das Abschalten von sechs Drehstrom-Asynchronmotoren über Schütze

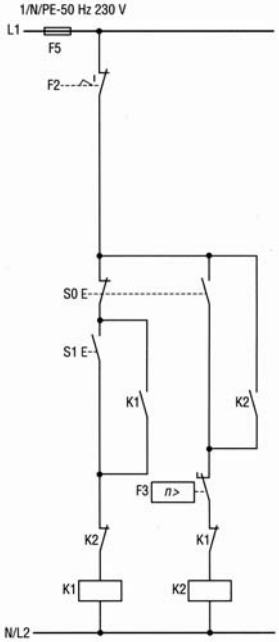


a) Hauptstromkreis (einpolige Darstellung)

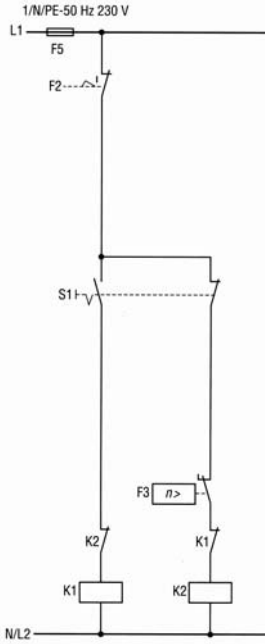
Stromlaufpläne für direktes Ein- und Ausschalten von Drehstrom-Asynchronmotoren mit Gegenstrombremsung



a) Hauptstromkreis



b) Hilfsstromkreise bei Tasterbetätigung



c) Hilfsstromkreise bei Dauerkontaktgabe

Tasterbetätigung b)
Einschalten: Der Taster S1 betätigt das Schütz K1. Der Selbsthaltekontakt K1 schließt. Der Motor ist eingeschaltet. Der Kontakt des Drehzahlwächters F3 schaltet um.
Ausschalten: Bei Betätigen des Aus-Drucktasters S0 wird durch den Öffner das Schütz K1 ausgeschaltet und durch den Schließer Schütz K2 eingeschaltet. Der Ein-Befehl für Schütz K2 wird erst wirksam, wenn der Öffner von K1 geschlossen ist. Der Selbsthaltekontakt K2 schließt. Der Motor wird durch Gegenstrom abgebremst.
Bei einer niedrigen, eingestellten Drehzahl des Drehzahlwächters schaltet der Kontakt von F3 in seine Ausgangsstellung um, das Schütz K2 wird ausgeschaltet, die Gegenstrombremsung ist beendet.

Dauerkontaktgabe c)
Durch Schließen des Befehlsgebers S 1 wird das Schütz K1 betätigt. Durch Öffnen des Befehlsgebers wird der Bremsvorgang eingeleitet;
sonst wie bei Tasterbetätigung.

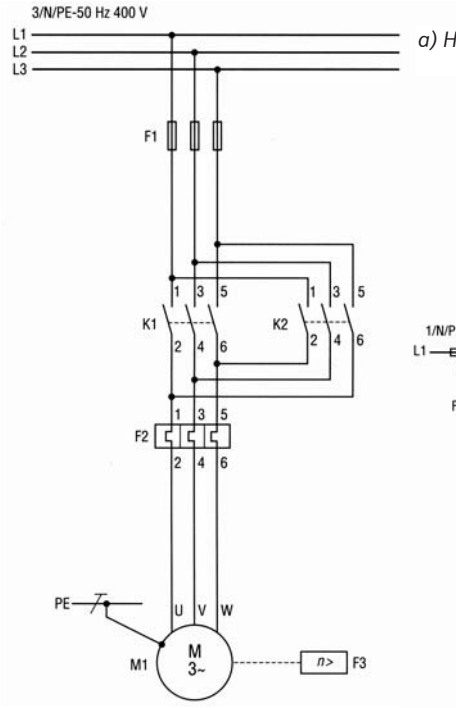
Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütze K1, K2 mit je 1S+1Ö,
Taster S0 mit 1S+1Ö,
Taster S1 mit 1S,
Drehzahlwächter F3 mit 1W,
Überlastrelais F2 mit 1Ö

Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütze K1, K2 mit je 1Ö,
Dauerkontaktgeber S1 mit 1S+1Ö,
Drehzahlwächter F3 mit 1W,
Überlastrelais F2 mit 1Ö

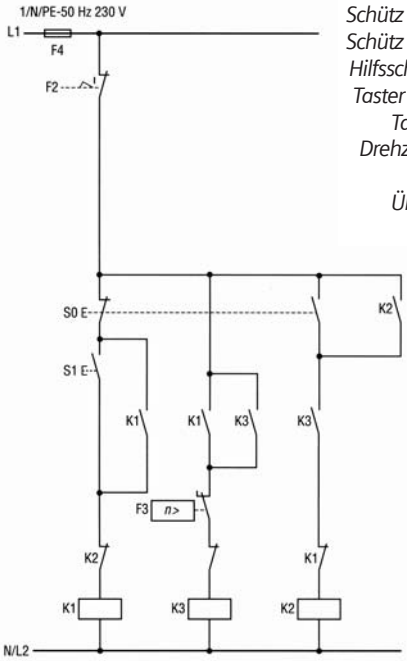
Die Stromlaufpläne für direktes Ein- und Ausschalten von Drehstrom-Asynchronmotoren mit Gegenstrombremsung

Beachte:

Diese Schaltung mit Hilfsschütz wird erforderlich, wenn beim Einrichten des Antriebs gefahrvolles Selbsteinschalten von Hand verhindert werden soll.

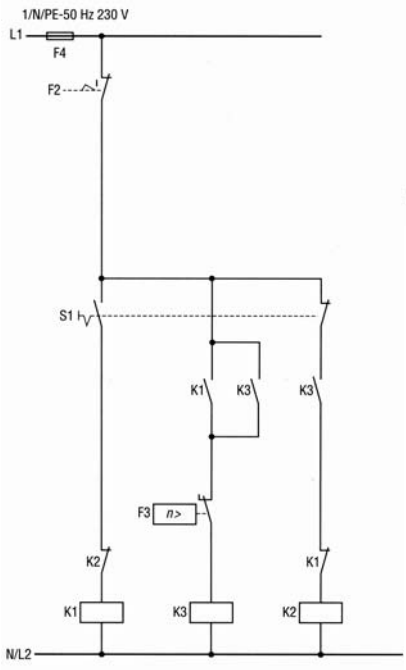


a) Hauptstromkreis



b) Hilfsstromkreise bei Tasterbetätigung

Erforderliche Hilfsschaltglieder: Schütz K1 mit 2S+1Ö, Schütz K2 mit 1S+1Ö, Hilfsschütz K3 mit 2S, Taster S0 mit 1S+1Ö, Taster S1 mit 1S, Drehzahlwächter F3 mit 1W, Überlastrelais F2 mit 1Ö



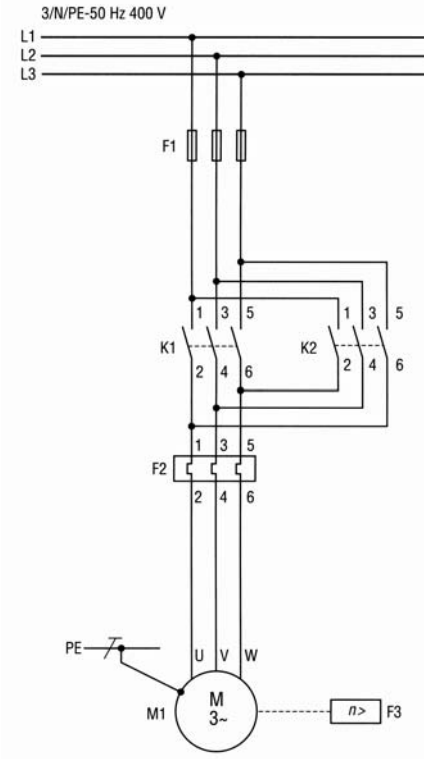
c) Hilfsstromkreise bei Dauerkontaktgabe

Erforderliche Hilfsschaltglieder: Schütz K1 mit 1S+1Ö, Schütz K2 mit 1Ö, Hilfsschütz K3 mit 2S, Dauerkontaktgeber S1 mit 1S+1Ö, Drehzahlwächter F3 mit 1W, Überlastrelais F2 mit 1Ö

Tasterbetätigung b)
Einschalten: Der Taster S1 betätigt das Schütz K1. Der Selbsthaltekontakt K1 schließt. Der Motor ist eingeschaltet.
Der Kontakt des Drehzahlwächters F3 schaltet um. Da der Schließer des Schützes K1 geschlossen ist, schaltet Hilfsschütz K3 ein. Selbsthaltekontakt und Schließer von K3 schließen.
Ausschalten: Bei Betätigung des Aus-Tasters S0 wird durch den Öffner das Schütz K1 ausgeschaltet und durch den Schließer das Schütz K2 eingeschaltet. Der Ein-Befehl für K2 wird erst wirksam, wenn der Öffner von K1 geschlossen ist. Der Selbsthaltekontakt von K2 schließt. Der Motor wird durch Gegenstrom abgebremst. Bei einer niedrigen, eingestellten Drehzahl des Drehzahlwächters schaltet der Kontakt F3 in seine Ausgangsstellung um. Das Hilfsschütz K3 wird ausgeschaltet. Der Schließer von K3 öffnet und schaltet das Schütz K2 ab. Die Gegenstrombremsung ist beendet.

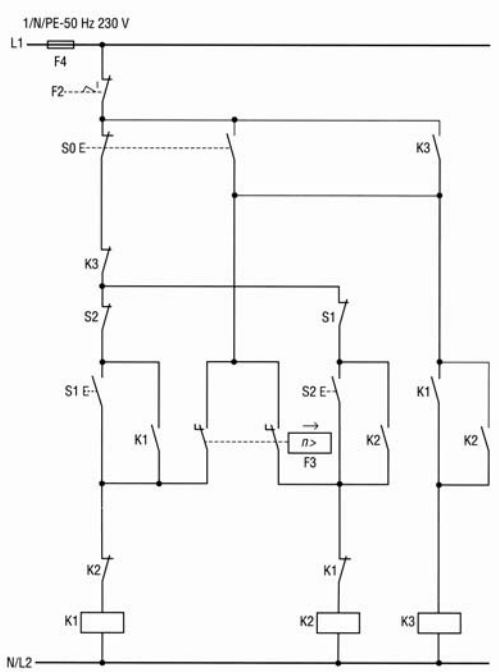
Dauerkontaktgabe c)
Durch Schließen des Befehlsgebers S1 wird das Schütz K1 betätigt. Durch Öffnen des Befehlsgebers wird der Bremsvorgang eingeleitet; sonst wie unter Tasterbetätigung.

Stromlaufpläne für direktes Umsteuern von Drehstrom-Asynchronmotoren mit Gegenstrombremsen in beiden Drehrichtungen



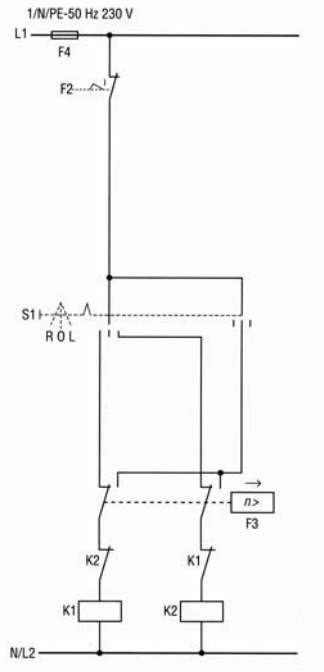
a) Hauptstromkreis

b) Hilfsstromkreis bei Tasterbetätigung



Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütze K1, K2 mit je 2S+1Ö,
Schütz K3 mit 1S+1Ö,
Taster S0, S1, S2 mit je 1S+1Ö,
Drehzahlwächter F3 mit 1W,
Überlastrelais F2 mit 1Ö

c) Hilfsstromkreis bei Dauerkontaktgabe



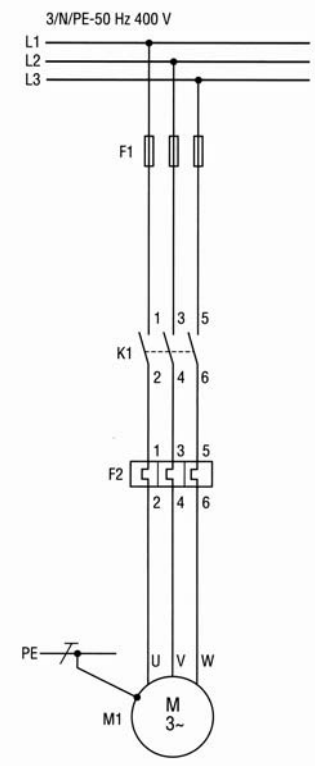
Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütze K1, K2 mit je 1Ö,
Befehlsgeber S1 mit 3 Schaltstellungen,
Drehzahlwächter F3 mit 2W,
Überlastrelais F2 mit 1Ö

Tasterbetätigung b)
Einschalten: Der Taster S1 betätigt das Schütz K1. Der Selbsthaltekontakt K1 schließt. Der Motor läuft z. B. rechts an. Der Kontakt F3 des Drehzahlwächters für rechte Drehzahl schaltet um.
Umschalten: Bei Betätigen des Tasters S2 erhält das Schütz K1 über den Öffner des Tasters S2 Aus-Befehl und das Schütz K2 über den Schließer des Tasters S2 Ein-Befehl. Der Ein-Befehl für das Schütz K2 wird erst wirksam, wenn der Öffner des Schützes K1 geschlossen ist. Der Selbsthaltekontakt K2 schließt. Der Motor wird abgebremst und läuft links an.
Ausschalten: Bei Betätigen des Aus-Druckknopfs S0 werden, wenn das Schütz K1 eingeschaltet war, durch den Öffner S0 das Schütz K1 ausgeschaltet und durch den Schließer von S0 über den umgeschalteten Bremswächterkontakt von F3 das Schütz K2 eingeschaltet. Der Ein-Befehl für das Schütz K2 wird erst wirksam, wenn der Öffner von K1 geschlossen ist. Der Selbsthaltekon-takt und der Schließer von K2 schließen. Das Hilfsschütz K3 wird eingeschaltet. Der Selbsthaltekontakt K3 schließt, der Öffner K3 öffnet, der Selbsthaltekontakt K2 wird unwirksam. Der Motor wird durch Gegenstrom abgebremst.
Bei einer niedrigeren eingestellten Drehzahl des Drehzahlwächters schaltet der Kontakt von F3 zu seiner Ausgangsstellung um, das Schütz K2 wird ausgeschaltet. Der Schließer von K2 öffnet und schaltet das Hilfsschütz K3 ab. Die Gegenstrombremsung ist beendet.
War das Schütz K2 eingeschaltet, läuft der Vorgang sinngemäß ab.

Dauerkontaktgabe c)
Einschalten: Der Befehlsgeber S1 schaltet z. B. in Stellung R (rechts) das Schütz K1 ein. Der Motor läuft rechts an. Der Kontakt des Drehzahlwächters F3 für die rechte Drehzahl schaltet um. Der Öffner von S1 öffnet.
Umschalten: Den Befehlsgeber S1 von Stellung R (rechts) über Stellung 0 in Stellung L (links) schalten.
Zuerst öffnet der Schließer der Stellung R (Schütz K1 wird ausgeschaltet), dann schließt der Öffner der Stellung 0 (Schütz K2 wird eingeschaltet, da Öffner von K1 geschlossen ist). Der Motor wird durch Gegenstrom abgebremst. Danach schließt der Schließer der Stellung L (nach Umschaltung des Kontakts von F3, rechts, bleibt das Schütz K2 eingeschaltet), der Motor läuft links an.
Ausschalten, z. B. wenn das Schütz K1 eingeschaltet ist (Motor läuft rechts): Den Befehlsgeber S1 von Stellung R in Stellung 0 schalten. Der Schließer der Stellung R öffnet, das Schütz K1 wird ausgeschaltet. Der Öffner der Stellung 0 schließt, das Schütz K2 wird eingeschaltet, sobald der Öffner K1 geschlossen ist. Der Motor wird durch Gegenstrom abgebremst. Bei einer niedriger eingestellten Drehzahl des Drehzahlwächters schaltet der Kontakt von F3 in seine Ausgangsstellung um, das Schütz K2 wird ausgeschaltet. Die Gegenstrombremsung ist beendet.
War das Schütz K2 eingeschaltet (Motor läuft links), dann läuft das Ausschalten sinngemäß ab.

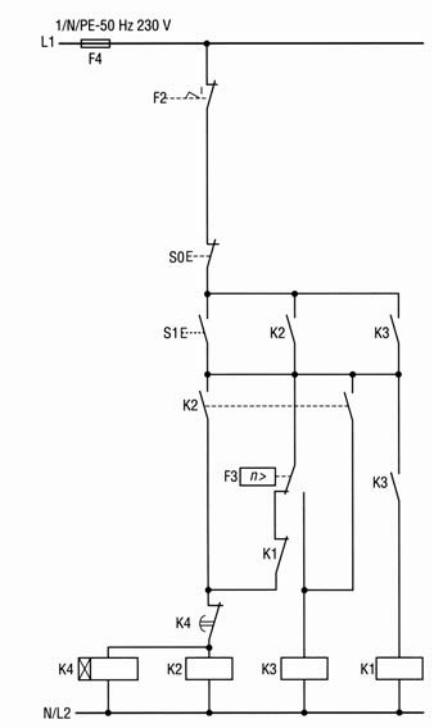
Stromlaufpläne für eine Schaltung mit Bandwächter

Bandwächter dienen zum Überwachen von Förderbändern. Wenn das Band festklemmt, reißt, unzulässig stark rutscht oder wenn die Drehzahl des Antriebs einen bestimmten Wert unterschreitet, gibt der Bandwächter dem Motorschaltgerät einen Aus-Befehl.
Der Bandwächter kann außerdem noch den ordnungsgemäßen Anlauf eines Bands überwachen. Hier schaltet der Bandwächter den Motor des zufördernden Bands erst bei Überschreiten einer bestimmten Drehzahl des abfördernden Bands ein. Das Zeitrelais K4 und das Hilfsschütz K2 überbrücken während des Bandanlaufs die vorgegebene Umschaltzeit des Wechslers am Bandwächter F3.



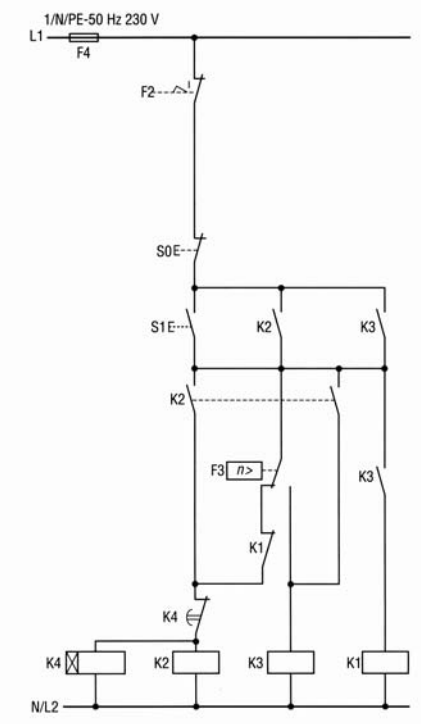
a) Hauptstromkreis

b) Hilfsstromkreis bei Tasterbetätigung



Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütz K1 mit 1Ö,
Schütz K2 mit 3S,
Schütz K3 mit 2S,
Taster S0 mit 1Ö,
Taster S1 mit 1S,
Zeitrelais K4 mit 1Ö verzögert,
Drehzahlwächter F3 mit 1W,
Überlastrelais F2 mit 1Ö

c) Hilfsstromkreis bei Dauerkontaktgabe

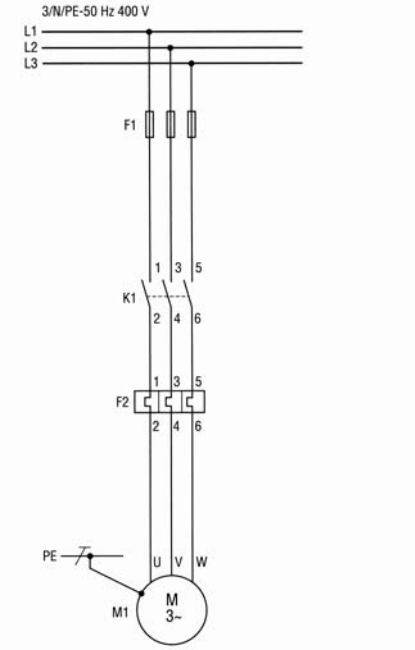


Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütz K2 mit 3S,
Schütz K3 mit 1S,
Schütz K4 mit 1S+1Ö,
Befehlsgeber S1 mit 1S,
Zeitrelais K5 mit 1Ö verzögert,
Bandwächter F3 mit 1W,
Überlastrelais F2 mit 1Ö

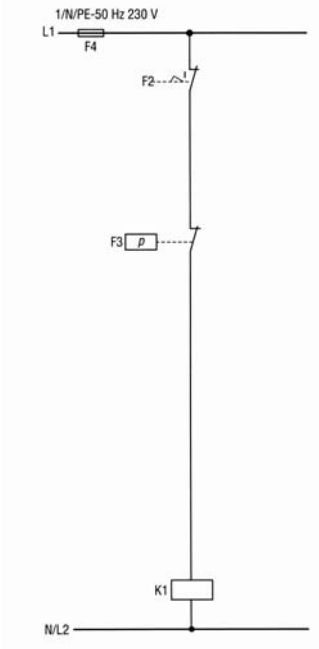
Tasterbetätigung b)
Einschalten: Der Taster S1 betätigt das Hilfsschütz K2 und das Zeitrelais K4. Der Selbsthaltekontakt K2 schließt. Der Schließer K2 und damit das Hilfsschütz K3 schließen. Der Selbsthaltekontakt und der Schließer K3 schließen. Das Schütz K1 schaltet den Motor ein. Der Umschaltkontakt von F3 schaltet um. Der Öffner von Zeitrelais K4 schaltet nach Ablauf der eingestellten Zeit das Hilfsschütz K2 ab.
Ausschalten: Klemmt das Förderband, so schaltet der Umschaltkontakt von F3 zurück. Der geöffnete Öffner K1 verhindert das Wiedereinschalten des Hilfsschützes K2 und des Zeitrelais K4. Hilfsschütz K3 und damit das Schütz K1 und der Motor werden abgeschaltet.
Bei Verwendung eines abfallverzögerten Hilfsschützes K3 wird das Ausschalten des Motors bei kurzen Schwankungen der Bandgeschwindigkeit verhindert.

Dauerkontaktgabe c)
Einschalten: Der Befehlsgeber S1 betätigt Hilfsschütz K2 und das Zeitrelais K5. Der Selbsthaltekontakt K2 schließt. Der Schließer K2 betätigt die Schütze K3 und K4. Der Selbsthaltekontakt K4 schließt. Der Schließer K3 betätigt das Schütz K1. Der Motor schaltet ein. Ein selbsttätiges Wiederanlaufen des Motors nach Abschaltung durch Bandwächter F3 ist verhindert, da der Öffner des Hilfsschützes K4 geöffnet ist.
Weitere Schaltungsbeschreibung wie bei Tasterbetätigung.

Stromlaufpläne für einen Drehstrom-Asynchronmotor mit Druckwächter in Schützsteuerung



a) Hauptstromkreis

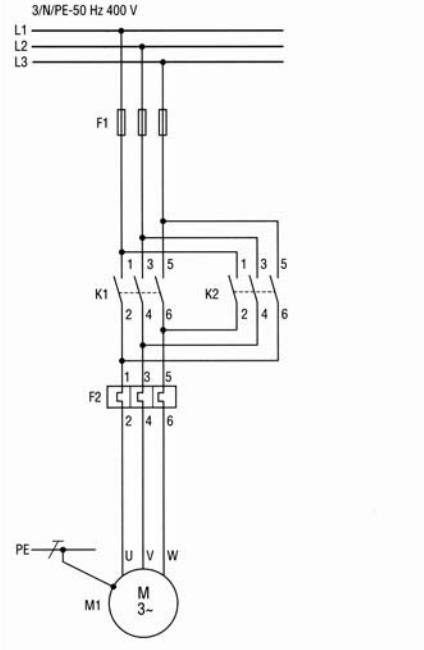


b) Hilfsstromkreis

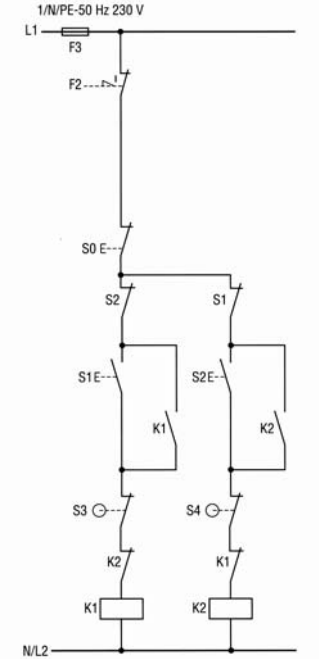
Der Druckwächter F3 gibt über den Öffner von F3 Schaltbefehle für das Schütz K1. Der Motor wird aus- bzw. eingeschaltet.

Erforderliche Hilfsschaltglieder: Druckwächter F3 mit 1Ö, Überlastrelais F2 mit 1Ö

Stromlaufpläne für eine Wendeschaltung mit Positionsschaltern zum Öffnen und Schließen eines Tors (Torschaltung)



a) Hauptstromkreis

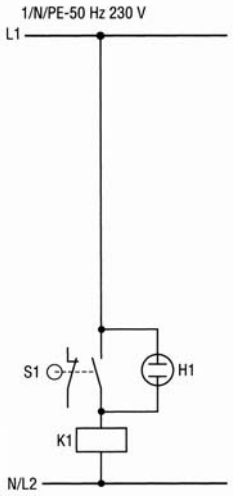


b) Hilfsstromkreis

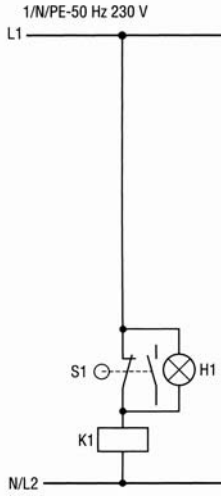
Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütze K1, 2 mit je 1S+1Ö,
Taster S0 mit 1Ö,
Taster S1, S2 mit je 1S+1Ö,
Positionsschalter S3, S4 mit je 1Ö,
Überlastrelais F2 mit 1Ö

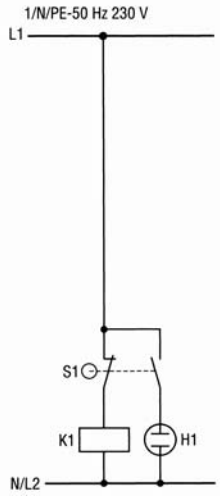
Tasterbetätigung b)
Tor schließen: Der Taster S1 betätigt das Schütz K1. Der Selbsthaltekontakt K1 schließt. Der Motor läuft rechts an, das Tor wird geschlossen. Wenn das Tor geschlossen hat, öffnet der Positionsschalter S3, das Schütz K1 und der Motor werden abgeschaltet.
Tor öffnen: Der Taster S2 betätigt das Schütz K2. Der Selbsthaltekontakt K2 schließt. Der Motor läuft links an, das Tor wird geöffnet.
Ist das Tor vollständig geöffnet, so öffnet der Positionsschalter S4. Das Schütz K2 und der Motor werden abgeschaltet.
Für nicht vollständiges Schließen und Öffnen des Tores ist der Aus-Taster S0 vorhanden.

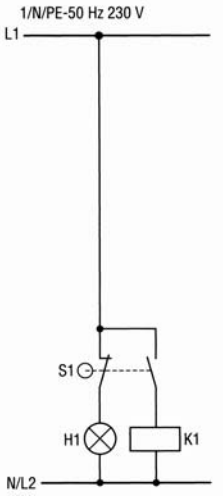
Stromlaufpläne für Positionsschalter mit Leuchtmelder



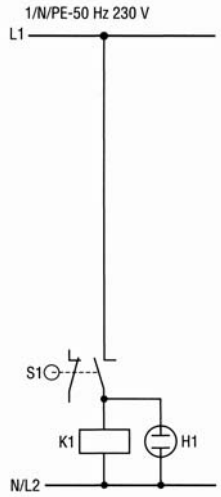
a) Meldung bei ausgeschalteter Schützspule: Leuchtmelder parallel zum Schaltglied des Positionsschalters

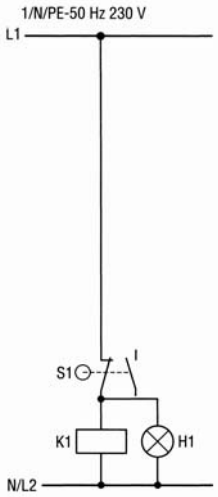






b) Meldung bei ausgeschalteter Schützspule: Leuchtmelder parallel zur Schützspüle





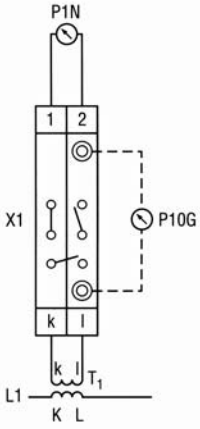
b) Meldung bei eingeschalteter Schützspule: Leuchtmelder parallel zur Schützspule

Der Leuchtmelder H1 kann unmittelbar parallel zum Schließer bzw. Öffner des Positionsschalters 51, der die Schützspule K1 betätigt, geschaltet werden (Bild a). Bei ausgeschalteter Schützspule K1 ist der Leuchtmelder H1 eingeschaltet. H1 und K1 liegen in Reihe. Der Lampenwiderstand ist jedoch so groß, dass die Schützspule nicht betätigt wird. Bei eingeschalteter Schützspule K1 wird der Leuchtmelder Hl überbrückt und ist ausgeschaltet.
Die Positionsschalter sind mit einsetzbarer Lampenfassung lieferbar, so dass der Leuchtmelder in einfacher Weise parallel zum Schließer oder Öffner des Positionsschalters geschaltet werden kann.
Werden die Schützspule K1 vom Öffner des Positionsschalters S1 und der Leuchtmelder H1 vom Schließer S1 (bzw. umgekehrt) eingeschaltet (Bild b), so erfolgt Meldung bei ausgeschalteter Schützspule K1.
Werden die Schützspule K1 und der Leuchtmelder H1 durch das gleiche Schaltglied des Positionsschalters S1 (Schließer bzw. Öffner) eingeschaltet, so erfolgt Meldung bei eingeschalteter Schützspule K1 (Bild c).

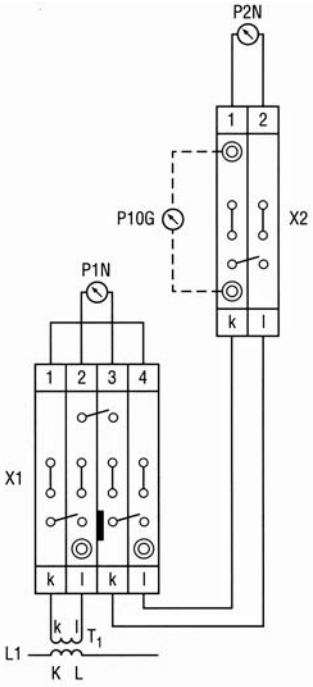
Schaltungen mit schaltbaren Wandler-Reihenklemmen

Hinweis:

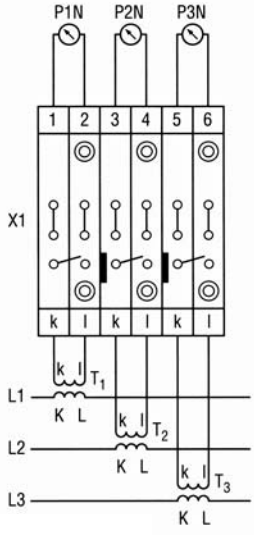
In Niederspannungs-Schaltanlagen und -Verteilern sowie in Warten und dergleichen können Wandler-Reihenklemmen zum Prüfen, Trennen und Schalten von Stromkreisen ohne Betriebsunterbrechung eingesetzt werden.



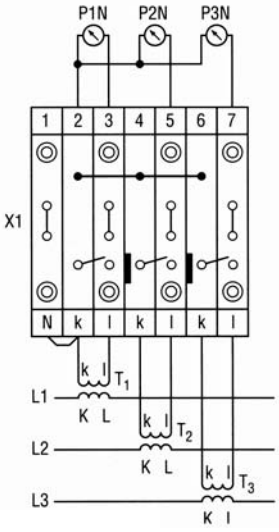
a) Schaltung 1:
ein Wandler ohne Abgang



b) Schaltung 2:
ein Wandler mit Abgang



c) Schaltung 3:
drei Wandler ohne Abgang und
OHNE gemeinsame Sternpunktleitung



d) Schaltung 4:
drei Wandler ohne Abgang
MIT gemeinsamer Sternpunktleitung

Wandler-Reihenklemmen stehen in zwei Ausführungen zur Verfügung, und zwar als:

- Trennklemme ohne Prüfbuchsen,
- Messtrennklemme mit Prüfbuchsen

In vielen Fällen wird das Trennglied in der Durchgangsverbindung nicht benötigt (Bild d - Schaltung 4), und es kann ohne weiteres eine Durchgangsklemme ohne Prüfbuchsen eingesetzt werden. Hierdurch werden Übergangsstellen und evtl. Fehlbetätigungen vermieden, die zur Beschädigung der Wandler führen könnten.
Durch Einlegen einer Schaltbrücke lassen sich zwei Reihenklemmen parallelschalten, so dass z. B. der Stromwandler sekundärseitig überbrückt und Messinstrumente während des Betriebs ausgewechselt werden können.
Die Grundschaltung der Wandler-Reihenklemmen wird am besten bei dem Messsatz für einen Wandler deutlich (Bild a).

Prüfen: (Ein Wandler ohne Abgang, Bild a)
Das Prüfinstrument P1OG mit Buchsen der Klemme 2 (Schaltung 1, Klemmenleiste X1) verbinden und Trennglied der Klemme 1 öffnen. Das Prüfinstrument P10G ist mit dem Messinstrument P1N in Reihe geschaltet.
Sinngemäß in Schaltung 2 (Ein Wandler mit Abgang, Bild b).
Das Prüfinstrument P10G mit Buchsen der Klemme 1 (Schaltung 2, Klemmleiste X2) verbinden und die Trennglieder dieser Klemmen öffnen. Das Prüfinstrument ist mit dem Messinstrument P1N bzw. P2N in Reihe geschaltet.
Die Bilder c und d zeigen in Schaltung 3 bzw. Schaltung 4 die entsprechenden Prüfmöglichkeiten bei drei Stromwandlern ohne Abgang sowie ohne bzw. mit gemeinsamer Sternpunktleitung.

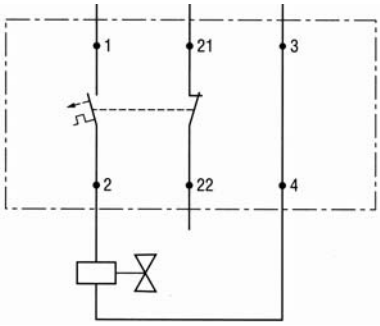
Messinstrumente während des Betriebs auswechseln:
Die Möglichkeiten für das Auswechseln von Messinstrumenten in den Schaltungen 1 bis 4 während des Betriebs sind aus der entsprechenden Tabelle ersichtlich.

Zur Überbrückung der Wandler in				Ausgewechselt werden kann Messinstrument
Schaltung 1	Schaltung 2	Schaltung 3	Schaltung 4	
Schaltbrücke auf Klemmenleiste X1 einlegen zwischen den Klemmen				
-- 1 und 2 -- --	1 und 2 2 und 3 3 und 4 (1 und 2)[1)] --	-- 1 und 2 3 und 4 5 und 6	-- 2 und 3 4 und 5 6 und 7	P1N und P2N P1N P2N P3N

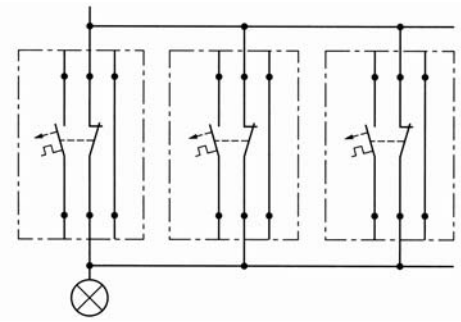
[1)] Klemmenleiste X2

Schutzschalterklemmen für Hilfsstromkreise

Schutzschalterklemmen sind für den Leitungs- und Geräteschutz in Hilfsstromkreisen bestimmt. Sie werden vor allem für Steuerleitungen zu Befehlsgebern, Magnetventilen und anderen Verbrauchern eingesetzt, aber auch zum Schützen von Ein- und Ausgängen einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) oder Schützsicherheitskombinationen und kommen dem Wunsch nach sicherungsloser Bauweise entgegen. Die Beschaffung von Sicherungen durch die Ersteller und Betreiber von Schaltanlagen entfallen. Somit wird auch eine schnellere Wiederbereitschaft der Anlage nach einer Auslösung sichergestellt.
Durch die Montage der Schutzschalterklemmen auf der Klemmenleiste entsteht eine eindeutige räumliche Zuordnung der Schutzschalterklemmen zu den abgehenden Leitungen.
Hieraus ergeben sich klare Vorteile: Im Fall einer Auslösung erfolgt die Anzeige unmittelbar an dem betroffenen Hilfsstromkreis, so dass die Störungssuche erheblich vereinfacht wird. Bei einer Inbetriebnahme oder Umstellung lassen sich z. B. die Stromkreise bequem einzeln zu- oder abschalten.
Die Schutzschalterklemmen entsprechen der “Bestimmung für Niederspannung-Schaltgeräte, Leistungsschalter” DIN VDE 0660 Teil 101, der IEC-Publikation 947-2 und der “Bestimmung für Reihenklemmen zum Anschließen oder Verbinden von Kupferleitungen” DIN VDE 0611 Teil 3, soweit diese für Schutzschalterklemmen zutreffen.
Die Schutzschalterklemmen mit Hilfsschaltglied haben einen Öffner, der bei eingeschaltetem Hauptstromkreis geöffnet ist und bei einer Auslösung schließt. Dadurch kann eine Meldung erfolgen. Zusätzlich ist eine Durchgangsverbindung für die Rückleitung des geschützten Stromkreises vorhanden. Alle Anschlussklemmen sind für den Anschluss von zwei Leitern ausgelegt, z. B. zum Parallelschalten der Hilfsschaltglieder für eine Sammelstörmeldung.



Verwendung der eingebauten Durchgangsverbindung für die Rückleitung vom Verbraucher.



Parallelschalten der Hilfsschalter für Sammelstörmeldungen

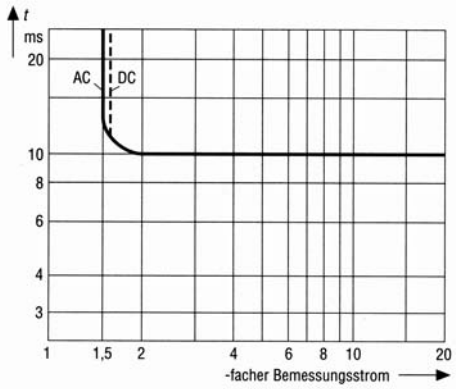
TIPP:

Mit Hilfe einer Einspeiseklemme und Verbindungsschiene kann der Verdrahtungsaufwand erheblich reduziert werden.

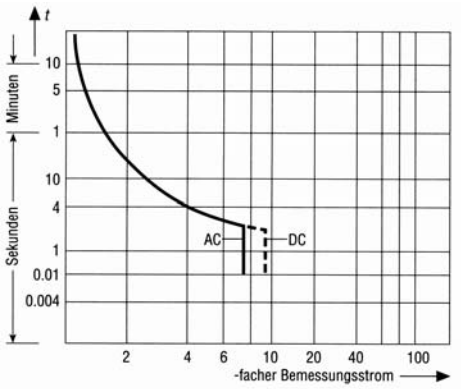
Induktive Wechselstromverbraucher, wie Schützspulen und Magnetventile, haben Einschaltstromspitzen in Höhe des zehnfachen Dauerstroms. Schutzschalterklemmen mit unverzögerten Kurzschlussauslösern sind so auszuwählen, dass sie nicht infolge der Einschaltstromspitzen auslösen.
Es ist auch gegebenenfalls zu überprüfen, ob der angeschlossene Leiter entsprechend der gewählten Schutzschalterklemme ausreichend dimensioniert ist.

TIPP:

Bei Verwendung einer Schutzschalterklemme mit stromabhängig verzögertem Überlastauslöser kann ein Gerät mit niedrigerem Bemessungsstrom ausgewählt werden, weil hierbei die Kurzschlussauslöser erst bei höheren Werten ansprechen.



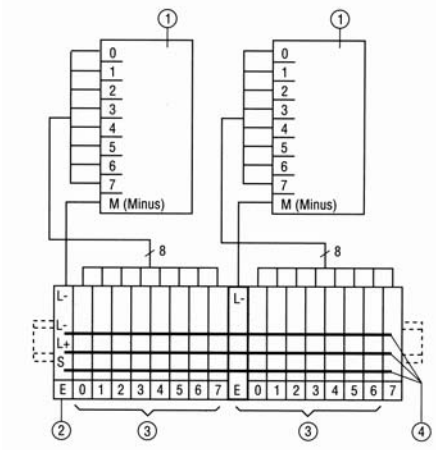
Auslösekennlinien der Schutzschalterklemmen mit Kurzschlussauslöser (n-Auslöser).



Auslösekennlinien der Schutzschalterklemmen mit kombinierten Überlast- und Kurzschlussauslösern (an-Auslöser) bei 40°C Umgebungstemperatur

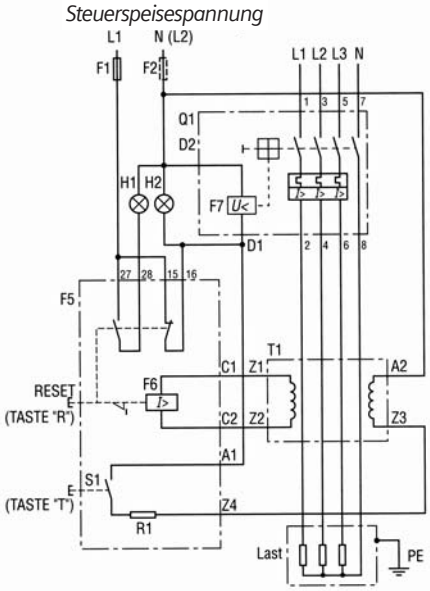
Initiator-Aktor-Klemmen

Bei Initiator-Aktor-Klemmen zum Anschluss von Signalgebern an eine SPS können Schaltzustände bzw. das Anliegen der Spannung durch LED sichtbar gemacht werden. Somit entfällt das Prüfen mit Messgeräten. Über spezielle Verbindungsmodule werden die Potentiale L+, L- und Schirm der Initiator-Aktor-Klemmen beim Aufstecken automatisch verbunden. Das sonst übliche “Brücken” ist überflüssig.
Die Verbindungsmodule mit einer Einspeiseklemme und 8 Initiator-Aktor-Klemmen bzw. einer Einspeiseklemme und 17 Initiator-Aktor-Klemmen können auf 35-mm-Hutschiene geschnappt oder geschraubt werden.
Die Anschlusszahl der Verbindungsmodule ist exakt auf die Ein-/Ausgabebaugruppen der SPS abgestimmt. Zum Weiterbrücken kann eine Klemmstelle vom breiten Modul (18 Steckplätze) verwendet werden. Das Lösen einer Initiator-Aktor-Klemme aus dem Block ist ohne Stromunterbrechung möglich.
Die Einspeiseklemmen sind mit einem zusätzlichen Minus-Abgang versehen, der zur Versorgung von potentialgetrennten Digital-Ein-/Ausgabebaugruppen genutzt werden kann. Somit kann die Masse (M) über die Klemmen gebrückt werden.

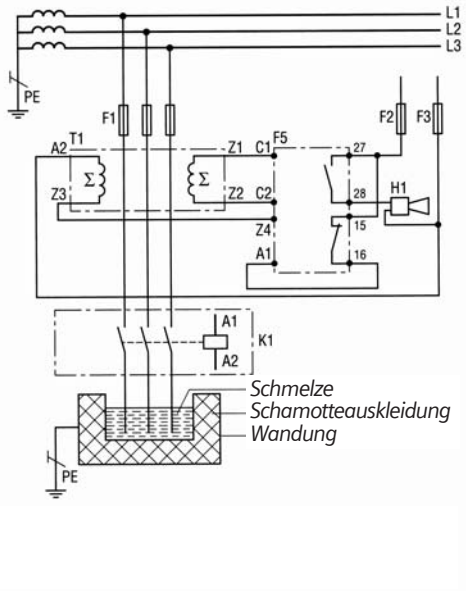


Initiator-Aktor-Klemmen mit potentialgetrennten Digital-Ein-/Ausgabebaugruppen.

Schaltungen mit Fehlerstrom-(Differenzstrom-)Schutzeinrichtungen



Fehlerstrom-Schutzschaltung mit Leistungsschalter und Fehlerstrom-Schutzeinrichtung. Abgriff der Spannung des Prüfstromkreises vor dem Leistungsschalter oder von einer Fremdspannungsquelle. Die Unterbrechung mit dem Hilfsschalter 15-16 des Auslöserelais ist notwendig.



Beispiel für die Überwachung von Schmelzöfen mit einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung.

F1, F2 Steuerleitungssicherungen 1)
F5 Auslöserelais
F6 Fehlerstromauslöser
F7 Unterspannungsauslöser
H1 Meldung "Störung durch Fehlerstrom"
H2 Meldung "Bereit"
Q1 Leistungsschalter
Reset Entriegelungstaste "R"
R1 Prüfwiderstand
T1 Summenstromwandler
S1 Prüftaste "T"

1)F2 kann entfallen, wenn die Spannung des Prüfstromkreises zwischen Außenleiter udn N-Leiter bzw. hinter einem Steuerspannungstransformator abgegriffen wird.

Das Bild links zeigt den Schutz eines Stromkreises durch einen Leistungsschalter mit einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung. Wenn kein Fehlerstrom (Differenzstrom) fließt, erfolgt die Meldung "Bereit" (H2) und der Unterspannungsauslöser F7 im Leistungsschalter wird an Spannung gelegt. Der Leistungsschalter Q1 kann eingeschaltet werden.

Während des Betriebs kann in der überwachten Leitung und/oder in der Last ein Fehlerstrom oder Erdschluss, z. B. durch fehlerhafte Isolierung auftreten. Überschreitet der Fehlerstrom den Wert des Bemessungsfehlerstroms $I_{\Delta n}$, so bewirkt die induzierte Spannung in der Sekundärwicklung (Z1, Z2) des Summenstromwandlers T1 ein Ansprechen des Fehlerstromauslösers F6 in dem Auslöserelais F5. Der Öffner (15, 16) und der Schließer (27, 28) werden von dem

Fehlerstromauslöser F6 mechanisch betätigt. Dadurch löst einerseits der Unterspannungsauslöser F7 den Leistungsschalter Q1 aus und andererseits erfolgt die Meldung “Störung durch Fehlerstrom” (H1). Die Meldung “Bereit” wird dabei gelöscht. Durch das Auslösen des Unterspannungsauslösers F7 wird der Leistungsschalter Q1 geöffnet und damit die Fehlerstromstelle vom Netz getrennt.
Da der Fehlerstromauslöser F6 mechanisch selbstverriegelnd ist, muss vor einem erneuten Einschalten des Leistungsschalters Q1 nach einer Fehlerstromauslösung die Entriegelungstaste R (Reset) am Fehlerstromauslöser F6 betätigt werden.

Zur Funktionsprüfung wird mit Hilfe der Prüftaste T (S1) über die Prüfwicklung (A2, Z3) die Sekundärwicklung (Z1, Z2) des Summenstromwandlers T1 erregt. Es fließt ein Prüfstrom, der dem des Fehlerstroms $I_{\Delta n}$ entspricht. Der Fehlerstromauslöser F6 wird aktiviert und betätigt unter anderem den Öffner (15, 16), wodurch der Prüfstromkreis unterbrochen wird.

Das Bild rechts zeigt die Überwachung eines Schmelzofens mit Hilfe einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung. Bei stromleitfähigem Schmelzmaterial und aufgrund eines Alterungsprozesses bei zu dünner oder fehlerhafter Schamottauskleidung fließt ein Strom von dem stromleitfähigen Material der Schmelze zu der geerdeten Wandung.
Überschreitet dieser Erschlussstrom in der Sekundärwicklung (Z1, Z2) des Summenstromwandlers T1 den Wert des Fehlerstroms $I_{\Delta n}$, so wird in dem Auslöserelais F5 über den Schließer (27, 28) die Hupe eingeschaltet. Zusätzlich wird der Öffner (15-16) betätigt. Hierdurch kann die Funktion der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung erst im zurückgestellten Zustand, d. h. nach Betätigung der Entriegelungstaste R, geprüft werden.

Koppelglieder

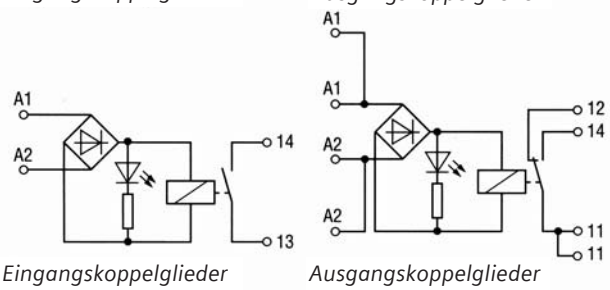
Koppelglieder übernehmen gleichzeitig verschiedene Aufgaben:

- Verbinden von Geräten und Anlagen mit unterschiedlichem Signalpegel, vor allem Elektroniksysteme mit elektromechanischen Geräten.
- Galvanische Trennung zwischen Eingang (z. B. Spule) und Ausgang (z. B. Schaltglieder) innerhalb des Koppelglieds.

- Keine Weiterleitung von Überspannungen infolge von Schaltvorgängen und atmosphärischen Störungen.
- Verstärken von leistungsschwachen Signalen. Dies ermöglicht z. B. die Belastung der Ausgänge eines Elektroniksystems niedrig zu halten und das Elektroniksystem selbst kompakter zu gestalten.

Die Koppelglieder in Klemmenform sind insbesondere für die Montage auf Reihenklemmentragschienen vorgesehen. Die Eingangs- und Ausgangs-Koppelglieder unterscheiden sich durch die räumliche Lage der Anschlüsse. Die Anschlüsse sind nach DIN EN 50005 gekennzeichnet.

Eingangskoppelglieder *Ausgangskoppelglieder*

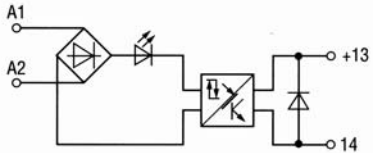


Eingangskoppelglieder *Ausgangskoppelglieder*

Geräteschaltpläne von Koppelgliedern in Klemmenform.

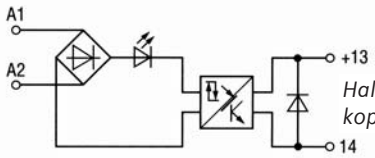
Relaiskoppelglieder

Eingangskoppelglieder

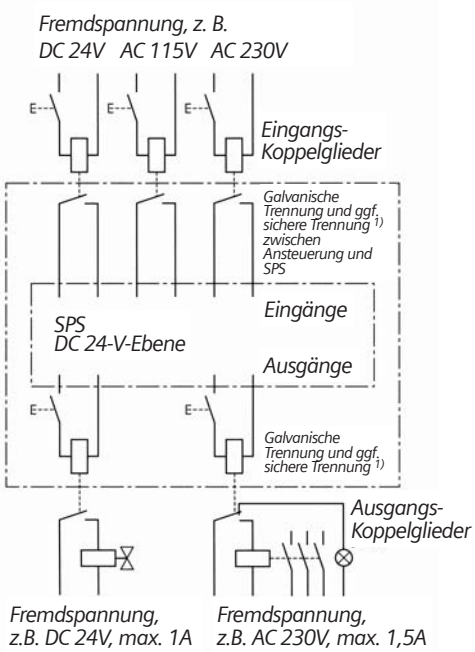


Optokoppler

Ausgangskoppelglieder



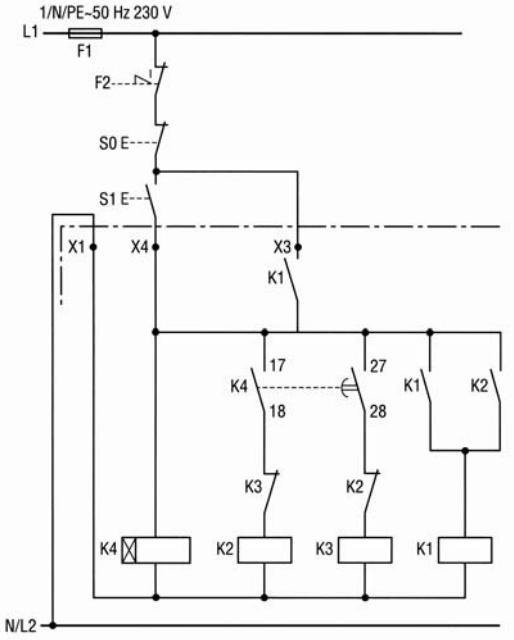
Halbleiter-koppelglieder



Eingangs- und Ausgangskoppelglieder.

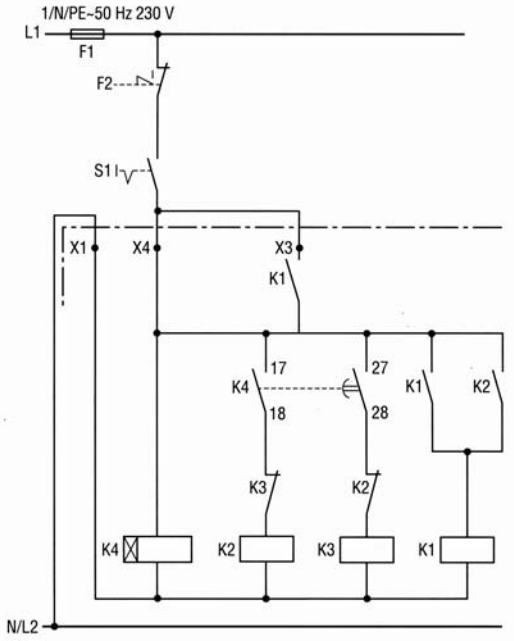
Schaltungen mit Zeitrelais in Hilfsstromkreisen: Stern-Dreieck-Anlassen von Drehstrom-Asynchronmotoren mit Sternschütz, Dreieckschütz, Netzschütz und Zeitrelais

a) Hilfsstromkreise bei Tasterbetätigung



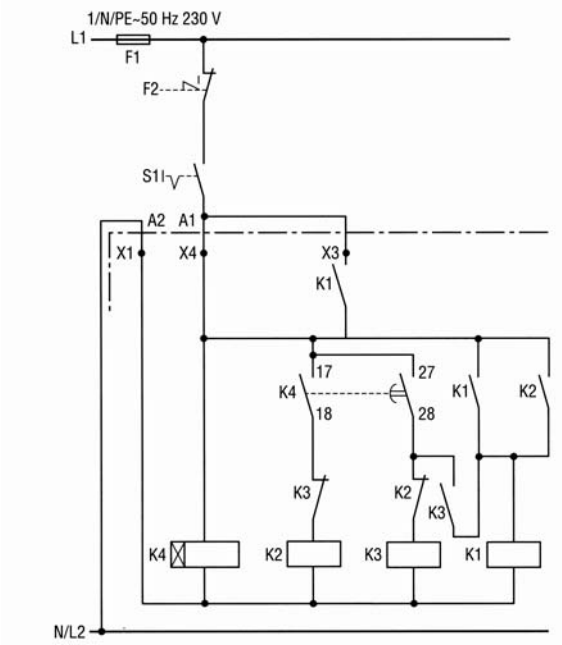
Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Taster S0 mit 1Ö,
Taster S1 mit 1S,
Zeitrelais K4
mit 1S+1S verzögert,
Schütz K1 mit 2S,
Schütz K2 mit 1S+1Ö,
Schütz K3 mit 1Ö,
Überlastrelais F2 mit 1Ö

b) Hilfsstromkreise bei Dauerkontaktgabe: Neustart bei Spannungswiederkehr nach Spannungseinbruch



Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Dauerkontaktgeber S1
mit 1S,
Zeitrelais K4
mit 1S+1S verzögert,
Schütz K1 mit 2S,
Schütz K2 mit 1S+1Ö,
Schütz K3 mit 1Ö,
Überlastrelais F2 mit 1Ö

c) Hilfsstromkreise bei Dauerkontaktgabe: Weiterlauf bei kurzzeitigem Spannungseinbruch



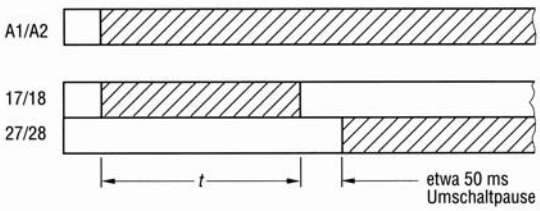
Erforderliche Hilfsschaltglieder: Dauerkontaktgeber S1 mit 1S, Zeitrelais K4 mit 1S+1S verzögert, Schütz K1 mit 2S, Schütz K2 mit 1Ö+1S, Schütz K3 mit 1Ö+1S, Überlastrelais F2 mit 1Ö

Tasterbetätigung a)
Einschalten: Der Taster S1 betätigt das Stern-Dreieck-Zeitrelais K4 und das Sternschütz K2 über den unverzögerten Schließer 17-18 des Zeitrelais. Die Selbsthalteschließer K1 und K2 schließen. Der Motor läuft in der Sternstufe hoch.
Umschalten: Nach Ablauf der eingestellten Verzögerungszeit öffnet der unverzögerte Schließer K4, das Sternschütz K2 wird ausgeschaltet. Wenn der verzögerte Schließer K4 des Stern-Dreieck-Zeitrelais nach 50 ms Umschaltpause schließt, wird das Dreieckschütz K3 über den Öffner von K2 eingeschaltet. Der Motor läuft in der Dreieckstufe.
Ausschalten: Durch Betätigen von Taster S0 öffnet das Netzschütz K1; der Schließer von K1 öffnet, das Dreieckschütz K3 und der Motor werden abgeschaltet.
Die nicht erwähnten Schützkontakte dienen zur Verriegelung zwischen Stern- und Dreieckschütz.

Dauerkontaktgabe b) und c)
Der Dauerkontaktgeber S1 schaltet die Schütze wie unter Tasterbetätigung ein und aus.

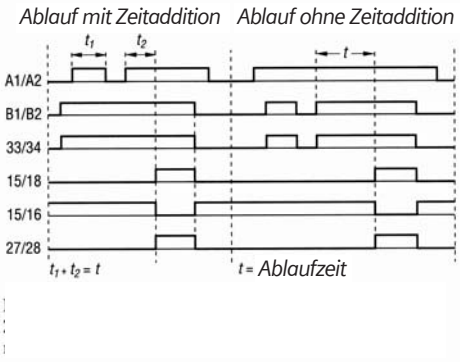
Verhalten bei kurzzeitiger Unterbrechung der Steuerspannung während des Dreieckbetriebs: Bei Unterbrechung der Steuerspannung fallen die Schütze K1 und K3 sowie das Zeitrelais K4 ab. Bei Spannungswiederkehr innerhalb der Wiederbereitschaftszeit des Stern-Dreieck-Zeitrelais K4 kann der verzögerte Schließer 27-28 von K4 sofort schließen. Dadurch kann jedoch keines der Schütze angesteuert werden. Es ist also ein Neustart durch Öffnen von S1 und nachfolgendes Schließen erforderlich.
Um einen automatischen Weiterlauf des Motors in Dreieckbetrieb nach kurzzeitigen Spannungseinbrüchen innerhalb der Wiederbereitschaftszeit von K4 zu erreichen, ist neben der Brücke zwischen den Anschlüssen 17 und 27 am Zeitrelais folgende Änderung des serienmäßigen Steuerstromkreises erforderlich (Bild c):

- *Ein zusätzlicher Schließer K3 zur Ansteuerung von K1.*

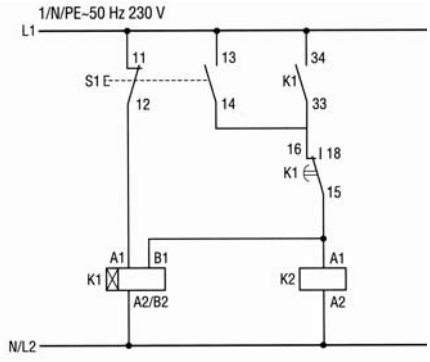


Funktionsdiagramm des Stern-Dreieck-Zeitrelais.

Funktionsmöglichkeiten eines motorischen Zeitrelais



Zeitablaufdiagramme für motorische Zeitrelais mit und ohne Zeitaddition.



Stromlaufplan des motorischen Zeitrelais mit rückfallverzögerter Zeitfunktion.

Die getrennte Ansteuerung von Motor A1/A2 und Hilfsrelais B1/B2 des Zeitrelais ermöglicht wahlweise einen Zeitablauf mit oder ohne Zeitaddition. Dabei ist der Druckknopf am Gerät grundsätzlich in die Stellung “ohne Nullspannungssicherheit” zu stellen.

Ablauf mit Zeitaddition:
Bei Ansteuerung des Hilfsrelais (Anschlüsse B1/B2) wird der Motor eingekuppelt und der unverzögerte Schließer (33-34) betätigt. Der Zeitablauf beginnt dann mit der Ansteuerung des Motors (A1/A2). Bei Unterbrechung der Ansteuerung des Motors wird auch der Zeitablauf unterbrochen und nach Spannungswiederkehr fortgesetzt. Nach Zeitablauf schalten die beiden verzögerten Schaltglieder (Wechsler 15-16 auf 15-18 und Schließer 27-28). Bei Entregung des Hilfsrelais wird der Motor ausgekuppelt und alle Schaltglieder fallen in die Ausgangsstellung zurück.

Ablauf ohne Zeitaddition:
Das Hilfsrelais (Anschlüsse B1/B2) wird bei bereits laufendem Motor angesteuert (Schnellstart) und gleichzeitig der unverzögerte Schließer (33-34). Bei Unterbrechung der Ansteuerung des Hilfsrelais wird der Motor ausgekuppelt, das Zeitrelais läuft in seine Ausgangsstellung zurück und der unverzögerte Schließer wird geöffnet. Nach Spannungswiederkehr beginnt der Zeitablauf von neuem.
Durch den “Schnellstart” wird die Wiederholgenauigkeit im Bereich bis 6 s verbessert, sie beträgt ± 0,3 % bei Referenzbedingungen (Bemessungssteuerspeisespannung, Umgebungstemperatur +25 °C).

Das Zeitrelais kann auch mit gleichzeitiger Ansteuerung von Motor und Hilfsrelais betrieben werden, hierbei kann dann wahlweise mit dem Druckknopf am Gerät die Nullspannungssicherheit ein- oder ausgeschaltet werden.

Wird das Gerät mit Druckknopf in Stellung “mit Nullspannungssicherheit” betrieben, so darf vor Beendigung des Zeitablaufs das Hilfsrelais nicht alleine entregt werden, da sonst bei Beendigung des Zeitablaufs die verzögerten Schaltglieder eine undefinierte Stellung einnehmen.

Rückfallverzögerte Zeitfunktion:
Die getrennte Ansteuerung von Motor und Hilfsrelais ermöglicht außerdem die Verwendung als rückfallverzögertes Zeitrelais mit Hilfsspannung. Durch Schließen des Schließers S1 wird das Hilfsrelais (Anschlüsse B1/B2) des Zeitrelais K1 erregt, der unverzögerte Schließer 33-34 wird geschlossen und die Last K2 liegt an Spannung. Wird von S1 der Schließer geöffnet und der Öffner geschlossen, so wird der Motor (Anschlüsse A1/A2) an Spannung gelegt und der Zeitablauf beginnt. Nach Zeitablauf schaltet der verzögerte Wechsler des Zeitrelais von 15-16 auf 15-18, damit wird die Last ausgeschaltet.

Ersatzstromversorgungsanlagen

Je komplexer die netzabhängigen Systeme, je schwerwiegender sich ein Netzausfall auswirken und je länger er andauern kann, desto notwendiger wird eine autonome Ersatzstromversorgung. Dies gilt insbesondere dort, wo hochwertige Geräte und Systeme betrieben werden, wo Information und Kommunikation im Vordergrund stehen, wo man produziert, automatisiert und verwaltet, sowie dort, wo bereits kleine Netzstörungen große Folgen haben können.
In der Struktur der Ersatzstromversorgung gilt folgende Hierarchie und Arbeitsteilung:

- Die USV-Anlage versorgt unterbrechungsfrei die empfindlichsten Verbraucher. Die Batterie überbrückt die Zeit, bis die Netzersatzanlage (Dieselgenerator) angelaufen ist.
- Der Generator versorgt neben der USV-Anlage die zum reibungslosen Betriebsablauf unentbehrliche Elektrotechnik, z.B. Beleuchtung, Klimaanlage, Aufzüge u.a. wichtige Einrichtungen.

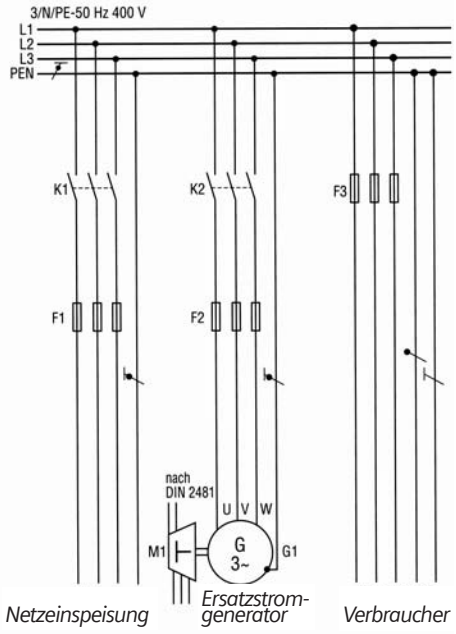
Die Stromversorgung kritischer Verbraucher kann aber nur dann zuverlässig gewährleistet werden, wenn eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV-Anlage) integrierter Bestandteil des Systems ist. USV-Anlagen sorgen dafür, dass die Spannungsschwankungen, Kurzunterbrechungen und Netzausfälle ohne Auswirkungen bleiben. Unabhängig davon, ob es um Unregelmäßigkeiten im Millisekundenbereich oder um den Ausfall für Minuten geht. Gleichrichter, Wechselrichter, Netzrückschalteinrichtungen (NRE) und Handumgehung sind die Hauptbestandteile einer USV-Anlage. Zusammen mit einer Batterie als Energiespeicher bietet diese Konfiguration eine absolut unterbrechungsfreie Stromversorgung.

Beachte:

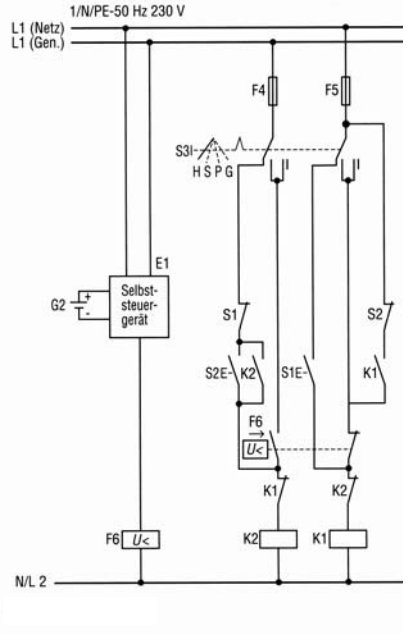
Wegen der Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Anlagenteilen muss deren Zusammenwirken im Ersatznetzverbund besonders sorgfältig projektiert werden.

Bei Ausfall der Netzspannung soll in den meisten Fällen die Ersatzstromversorgungsanlage automatisch die Stromversorgung übernehmen. Voraussetzung für den automatischen Betrieb des Dieselmotors ist die elektrische Starteinrichtung, bestehend aus Anlasser, Starterbatterie und Lichtmaschine. Die Umschaltung von Netz- auf Generatorbetrieb geht bei automatischem Betrieb von einem Netzüberwachungsrelais aus, der wiederum von einem Steuergerät, das an der Batteriespannung liegt, angesteuert wird. Neben dem Automatikbetrieb ist meistens auch Hand- und Probebetrieb möglich.

Stromlaufpläne für dreipolige Umschaltung mit Schützen von Netzbetrieb auf Ersatzstromversorgungsanlage



a) Hauptstromkreis



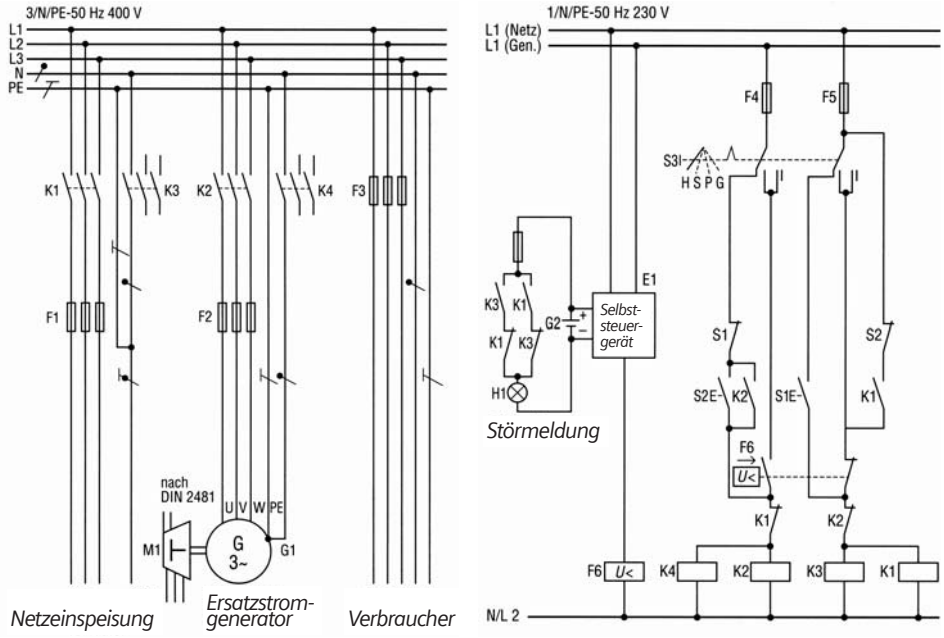
b) Hilfsstromkreis

Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütze K1, K2 mit je 1S+1Ö
Taster S1, S2 mit je 1S+1Ö,
Spannungswächter F6 mit 1S+1Ö,
Wahlschalter S3 mit 4 Schaltstellungen

Betätigung b)
Wahlschalter S3 in Stellung "Hand" (H): Durch den Taster S2 kann der Generator und durch den Taster S1 das Netz zugeschaltet werden.

Wahlschalter S3 in Stellung "Selbst" (S): Bei Netzausfall öffnet der Öffner und schließt der Schließer vom Spannungswächter F6. Das Netzschütz K1 schaltet aus. Der Öffner K1 des Netzschützes schließt und schaltet das Generatorschütz K2 ein. Der Generator wird über das Selbststeuergerät angelassen. Bei Wiederkehr der Netzspannung öffnet der Schließer des Spannungswächters F6. Das Generatorschütz K2 schaltet ab. Der Generator wird über das Selbststeuergerät abgeschaltet. Der Öffner des Spannungswächters F6 und der Öffner des Generatorschützes K2 schließen, das Netzschütz K1 schaltet ein und damit das Netz wieder zu.

Stromlaufpläne für die Umschaltung von Netzbetrieb auf Ersatzstromversorgungsanlage mit vierpoliger Abschaltung des Verteilungsnetzes durch zwei dreipolige Schütze



a) Hauptstromkreis

b) Hilfsstromkreis

Erforderliche Hilfsschaltglieder:
Schütz K1 mit 1S+1Ö,
Schütz K2 mit 1S+1Ö,
Schütz K3 mit 1S+1Ö,
Taster S1, S2 mit je 1S+1Ö,
Spannungswächter F6 mit 1S-1Ö,
Wahlschalter S3 mit 4 Schaltstellungen

Betätigung b)
Wahlschalter S3 in Stellung "Hand" (H): Mit dem Taster S2 kann der Generator über das Generatorschütz K2 eingeschaltet werden. Mit dem Taster S1 werden das Neutralleiter-Schütz K3 und das Netzschütz K1 eingeschaltet. Der Ein-Befehl für das Netzschütz K1 wird erst wirksam, wenn der Schließer von K3 geschlossen ist.

Wahlschalter S3 in Stellung "Selbst" (S): Bei Netzausfall öffnet der Öffner und schließt der Schließer des Spannungswächters F6. Durch den Öffner von F6 wird das Neutralleiterschütz K3 ausgeschaltet. Der Schließer von K3 öffnet und schaltet das Netzschütz K1 aus.
Durch den Schließer von F6 wird das Generatorschütz K2 betätigt. Der Ein-Befehl für K2 wird erst wirksam, wenn der Öffner von K1 geschlossen ist, K2 schaltet auf Generatorbetrieb um.
Bei wiederkehrender Netzspannung öffnet der Schließer des Spannungswächters F6. Das Schütz K2 und der Generator schalten aus. Die Öffner von F6 und K2 schließen und das Neutralleiterschütz K3 schaltet ein. Der Schließer von K3 schließt und das Netzschütz K1 schaltet ein.
Eine Störmeldung erfolgt, wenn das Schütz K1 oder K3 nicht aus- bzw. eingeschaltet ist.

Näheres zu drei- oder vierpoliger Abschaltung des Verteilungsnetzes bei Ersatzstrom-versorgungsanlagen ist in der Bestimmung in DIN VDE 0100 Teil 728 enthalten.

Auswahlkriterien für Niederspannungs-Schaltgeräte in Hauptstromkreisen

Niederspannungs-Schaltgeräte lassen sich grundsätzlich entsprechend ihren Aufgaben in Geräte für Hauptstromkreise und für Hilfsstromkreise einteilen.

Hinweis:

Die Änderung von "Nenn..." in "Bemessungs..." wurde erforderlich, weil entsprechend internationaler Vereinbarungen "Nennwerte" die Daten des Versorgungsnetzes (z. B. Nennspannung) angeben. Dagegen sind Schaltgeräte für bestimmte physikalische Werte bemessen, daher Bemessungswerte.

Bemessungsspannung und Netzfrequenz

Die Netzspannung und die Netzfrequenz sind maßgebend für die Auswahl der Schaltgeräte nach der Bemessungsisolationsspannung U_i und der Bemessungsbetriebsspannung U_e.
Die Bemessungsisolationsspannung U_i ist der genormte Wert der Spannung, für den die Isolation eines Schaltgeräts oder Zubehörteils bemessen ist.
Die Bemessungsbetriebsspannung U_e eines Schaltgeräts ist die Spannung, auf die sich z. B. beim Leistungsschalter die Kenngrößen seines Schaltvermögens oder bei Motorstartern und Schützen auch die Betriebsart und die Gebrauchskategorie beziehen.

Bei Drehstromsystemen gilt die Dreieckspannung des Netzes. Einem Schaltgerät können mehrere Bemessungsbetriebsspannungen für jeweils andere Kenngrößen (z. B. Schaltvermögen und Lebensdauer) zugeordnet werden.

Hinweis:

Nenndaten für Niederspannungs-Schaltgeräte entsprechen seit Inkrafttreten der Vorschriften IEC 947-... bzw. der neuen DIN VDE 0660-... den in Katalogen und anderen Veröffentlichungen genannten Bemessungswerten.

Bemessungs-Kurzschlussfestigkeit und Bemessungsschaltvermögen

Der Kurzschlussstrom an der Einbaustelle ist maßgebend für die Auswahl der Schaltgeräte. Die dynamische Kurzschlussfestigkeit und der Bemessungs-Stoßkurzschlussstrom I_S sind nicht mehr in den Vorschriften enthalten. I_S entspricht nach DIN VDE 0660 Teil 100 dem Selektivitäts-Grenzstrom und nach DIN VDE 0102, 01.90, dem Stoßkurzschlussstrom i_p.
Die zulässige thermische Kurzschlussbelastbarkeit wird als Bemessungskurzzeitstrom bezeichnet. Er ist der zulässige Strom, den das Schaltgerät eine bestimmte Zeit ohne Schaden führen kann.

Das Bemessungs-Kurzschlussausschaltvermögen I_{cn} ist der Kurzschlussstrom, den der Leistungsschalter bei Bemessungsbetriebsspannung +10 %, Bemessungsfrequenz und festgelegtem Leistungsfaktor ausschalten kann. Es wird durch den Effektivwert der Wechselstromkomponente ausgedrückt.
Hiernach wird dem angegebenen Schaltvermögen die Prüffolge O-t-CO-t-CO zugrunde gelegt. Zusätzlich kann noch das Schaltvermögen nach der verkürzten Schaltfolge O-t-CO angegeben werden.

Bemessungs-Kurzschlussausschalt-vermögen I_{cn} A			Leistungs-faktor cos φ	Zeitkonstante ms	Bemessungs-Kurzschluss-einschalt-vermögen (Mindestwert) $I_{cm} = n \cdot I_{cn}$
	$I_{cn} \leq$	1500	0,95	5	$1{,}41 \cdot I_{cn}$
1500	$< I_{cn} \leq$	3000	0,9	5	$1{,}42 \cdot I_{cn}$
3000	$< I_{cn} \leq$	4500	0,8	5	$1{,}47 \cdot I_{cn}$
4500	$< I_{cn} \leq$	6000	0,7	5	$1{,}5 \cdot I_{cn}$
6000	$< I_{cn} \leq$	10000	0,5	5	$1{,}7 \cdot I_{cn}$
10000	$< I_{cn} \leq$	20000	0,3	10	$2{,}0 \cdot I_{cn}$
20000	$< I_{cn} \leq$	50000	0,25	15	$2{,}1 \cdot I_{cn}$
50000	$< I_{cn}$		0,2	15	$2{,}2 \cdot I_{cn}$

Abhängigkeit des Bemessungs-Kurzschlusseinschaltvermögens I_{cm} vom Bemessungs-Kurzschlussausschaltvermögen I_{cn}.

Kurzschlusskategorie	Bemessungs-Grenzkurzschlussausschalt-vermögen	Bemessungs-Betriebskurzschlussausschalt-vermögen
Schaltzyklus	O-t-CO [1)]	O-t-CO-t-CO [1)]
Zustand des Leistungsschalters nach der Kurzschlussprüfung	Erwärmungsprüfung mit thermischem Bemessungsstrom ist auszuführen. Angrenzende Isolierstoffe dürfen nicht beschädigt werden. Geringe Kennlinienverschiebung beim Überlastauslöser zulässig	Ohne Wartung soll der Schalter seinen thermischen Bemessungsstrom führen können (Erwärmungsprüfung nur nötig, wenn Zweifel bestehen). Keine Kennlinienverschiebung beim Überlastauslöser zulässig.

Kurzschlussausschaltkategorien nach DIN VDE 0660 Teil 101: [1)] O - Ausschaltung (O Open); CO - Ein- und Ausschaltung (C Close); t - Pause (t time).

Bemessungsströme

Die Bemessungsbetriebsart, wie Dauerbetrieb, Aussetzbetrieb oder Kurzzeitbetrieb, ist maßgebend für die Auswahl der Schaltgeräte nach deren Bemessungsströmen. Nach dem thermischen Verhalten werden folgende Bemessungsströme unterschieden:

- Konventioneller thermischer Bemessungsstrom I_{th} in freier Luft
- Bemessungsdauerstrom I_u
- Bemessungsbetriebsstrom I_e

Der konventionelle thermische Strom I_{th} in freier Luft oder I_{the} für Motorstarter im Gehäuse ist als 8-h-Strom entsprechend DIN VDE 0660 Teil 100, Teil 102, Teil 104 und Teil 107 definiert. Er ist der maximale Strom, der ohne zwischenzeitliches Schalten in dieser Zeit geführt werden kann, ohne dass ein Eingriff notwendig ist und ohne dass die Grenztemperatur überschritten wird. Der Bemessungsdauerstrom I_u kann entsprechend unbegrenzt geführt werden.

Hinweis:

Bei einstellbaren, stromabhängig verzögerten Auslösern und Relais ist der höchste Einstellstrom der Bemessungsdauerstrom.

Der Bemessungsbetriebsstrom I_e ist der Strom, der durch die Einsatzbedingungen des Schaltgeräts, die Bemessungsbetriebsspannung, die Bemessungsfrequenz, das Schaltvermögen, die Bemessungsbetriebsart, durch die Gebrauchskategorie, die Schaltstücklebensdauer und durch die Schutzart bestimmt wird.

Hinweis:

Einem Schaltgerät können mehrere unterschiedliche Bemessungsbetriebsströme zugeordnet sein.

Schaltaufgaben und -bedingungen

In einer Schaltanlage liegen im Allgemeinen folgende Schaltaufgaben vor: Trennen, Leerschalten, Lastschalten, Motorschalten und Leistungsschalten. Für jede dieser Schaltaufgaben gibt es spezielle Schaltgeräte, wobei Geräte auch für mehrere der genannten Schaltaufgaben gebaut sein können.

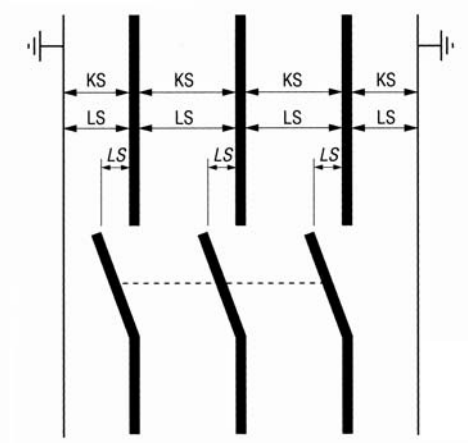
Trennen:

Trenner sind Schalter, die einen Stromkreis in allen Strompfaden bei zuverlässiger Schaltstellungsanzeige auftrennen.

Beachte:

Vor Instandsetzungs- und Wartungsarbeiten an aktiven Teilen elektrischer Anlagen und Betriebsmittel muss der spannungsfreie Zustand hergestellt und für die Dauer der Arbeiten sichergestellt werden.

Bei Trennern werden die nach DIN VDE 0110 vorgeschriebenen Luftstrecken nicht nur zwischen den Strombahnen und benachbarten geerdeten Teilen, sondern auch bei den Öffnungswegen eingehalten.
Wenn der spannungsfreie Zustand während der Dauer der Arbeiten sichergestellt werden soll, ist der Trenner mit einem Antrieb zu versehen, der das Verriegeln in der Stellung "Aus", z. B. mit einem oder mehreren Vorhängeschlössern während der einzelnen Inbetriebnahmephasen einer Anlage, ermöglicht.



Prinzipdarstellung der Luft- und Kriechstrecken bei Trennern.
KS: Kriechstrecke
LS: Luftstrecke

Leerschalten:
Unter Leerschalten versteht man das Ein- und Ausschalten von Stromkreisen, wobei dies entweder stromlos erfolgt oder beim Öffnen zwischen den Schaltstücken jedes Pols nur ein geringer (z. B. durch Leitungskapazitäten bedingter) Strom auftritt.
Das Verwenden von Leerschaltern setzt voraus, dass auf jeden Fall durch andere Maßnahmen verhindert wird, dass versehentlich unter Last, z. B. im Störungsfall, geschaltet wird. Die Folge wäre eine Zerstörung des Schaltgeräts und somit der Anlage, vor allem aber eine ernste Gefährdung des Bedienungspersonals durch den Schaltlichtbogen. Leerschalter finden daher nur noch vereinzelt Verwendung, z. B. in Hochstromanlagen. Im Übrigen werden zumindest Lastschalter verwendet.

Lastschalten:
Mit Lasttrennschaltern lassen sich Betriebsmittel und Anlagenteile schalten, wenn diese im ungestörten Zustand ihren Betriebsstrom führen. Lasttrennschalter können definitionsgemäß auch Überströme ein- und ausschalten. Ihr Schaltvermögen liegt nach DIN VDE 0660 Teil 107 zwischen 1,5 bis 10 • I_e.
AC-21: 1,5 • Bemessungsbetriebsstrom I_e
AC-22: 3 • Bemessungsbetriebsstrom I_e
AC-23 8 bis 10 • Bemessungsbetriebsstrom I_e

Das Schaltvermögen der Lasttrennschalter und Sicherungs-Lasttrennschalter von Siemens ist ein Vielfaches ihres Bemessungsstroms. Damit ist es es möglich, mit ihnen auch alle betriebsmäßig auftretenden Überströme, wie Motoranzugsströme,

auszuschalten. Mit den Siemens-Lasttrennschaltern kann darüber hinaus gefahrlos unbeabsichtigt auf einen bestehenden Kurzschluss geschaltet werden, da sie ein sehr hohes Einschaltvermögen aufweisen.

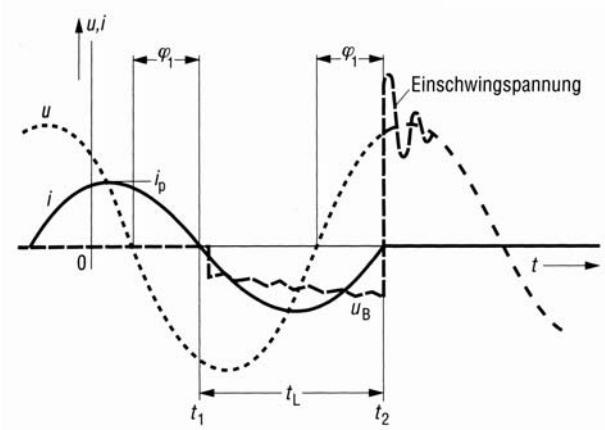
Motorschalten:
Leistungsschalter für den Motorschutz sind Schaltgeräte zum Schalten von Motoren. Ihr Schaltvermögen entspricht den Beanspruchungen, die beim Ein- und Ausschalten der unterschiedlichen Motorarten sowie bei verschiedenen Betriebsarten, z. B. bei Tippbetrieb, auftreten.
Sicherungs-Lasttrennschalter und Lasttrennschalter mit Sicherungen haben auch ein Kurzschluss-Einschaltvermögen wie Leistungsschalter.

TIPP:

Lasttrennschalter, Sicherungs-Lasttrennschalter und -leisten sowie Lasttrennschalter mit Sicherungen haben zwar Motorschaltvermögen, sind aber nicht für das betriebsmäßige Schalten von Motoren vorgesehen. Hierfür sind Schütze und Steuerschalter durch ihr AC-3-Schaltvermögen besser geeignet.

Leistungsschalten:
Leistungsschalter sind Schaltgeräte, mit denen man nicht nur Last-, Motor- und Überlastströme, sondern auch Kurzschlussströme schalten kann. Nach der Art der Lichtbogenlöschung kann man grundsätzlich zwei Bauarten von Wechselstrom-Leistungsschaltern unterscheiden, nämlich

- Leistungsschalter mit Nullpunktlöschung und
- Leistungsschalter mit Strombegrenzung.

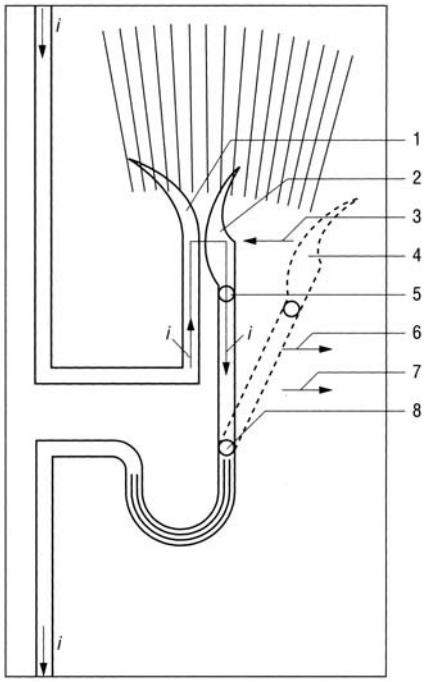


Strom- und Spannungsverlauf beim Ausschalten eines Leistungsschalters mit Nullpunktlöschung.

t_1: Öffnen der Kontakte
t_2: Ende des Ausschaltvorgangs
t_L: Lichtbogendauer
u_B: Lichtbogenspannung

Leistungsschalter mit Nullpunktlöschung löschen den Wechselstrom-Schaltlichtbogen, wenn der Strom einen Nulldurchgang erreicht. Die hohen Stromspitzen von Kurzschlussströmen bewirken starke Abhebekräfte an den Kontaktstellen. Die Schalter haben daher entweder eine entsprechend hohe

mechanische Kontaktkraft oder eine elektromagnetische Kontaktkraftverstärkung, um die Kontaktstellen bis zum Ansprechstrom der unverzögerten elektromagnetischen Kurzschlussauslöser geschlossen zu halten. Bei selektiven Leistungsschaltern für Bemessungsbetriebsströme ab 160 A, die im Kurzschlussfall gegebenenfalls zeitverzögert ausschalten müssen, wird die elektrodynamische Kontaktkraftverstärkung ausgenutzt.
Im Kurzschlussfall wird hier z. B. der längere Hebelarm des beweglichen Schaltstücks infolge der Schleifenwirkung des Kurzschlussstroms vom feststehenden Schaltstück abgestoßen, was am kürzeren Hebelarm zu einer entgegengesetzten Kraft und damit zu einer Verstärkung der Kontaktkraft führt.



Schaltglieder eines Selektivschalters ab etwa 160 A (Prinzipdarstellung)

1: Festes Schaltglied
2: Bewegliches Schaltglied
3: Richtung der Kontaktkraftverstärkung
4: Bewegliches Schaltglied, geöffnet
5: Drehpunkt des beweglichen Schaltglieds im eingeschalteten Zustand
6: Richtung der Abstoßkraft durch die Stromschleifenwirkung
7: Richtung der Kontaktfederkraft
8: Drehpunkt des beweglichen Schaltglieds beim Öffnen oder Schließen

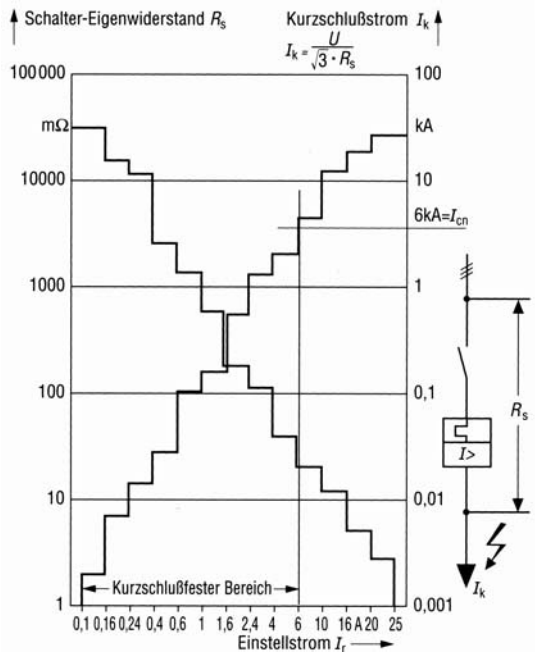
Hinweis:

Unter "Strombegrenzung" versteht man, dass der Scheitelwert des unbeeinflussten Stoßkurzschlussstroms i_p auf einen kleineren Durchlassstrom i_D begrenzt wird. Diese Strombegrenzung kann von Leistungsschaltern nach mehreren Methoden erreicht werden.

Bei Leistungsschaltern mit niedrigen Einstellströmen des stromabhängig verzögerten Überlastauslösers ist der Widerstand der Strombahn mit der Heizwicklung des Bimetallstreifens sowie der Spule des unverzögerten elektromagnetischen Kurzschlussauslösers sehr groß. Er kann so groß sein, dass er jeden Kurzschlussstrom I_k auf einen Wert dämpft, der vom Schalter noch thermisch und dynamisch beherrscht wird und auch ausgeschaltet werden kann. Der Leistungsschalter ist dann "kurzschlussfest".

Er lässt sich an Netzstellen einsetzen, an denen beispielsweise Kurzschlussströme auch über 80 kA zu erwarten sind. Der Einstellbereich, bis zu dem der Leistungsschalter kurzschlussfest ist, hängt vom Schaltvermögen des Schalters ab. Da dieses wiederum von der Bemessungsbetriebsspannung und vom Leistungsfaktor abhängt, kann auch die Kurzschlussfestigkeit bei unterschiedlichen Bemessungsbetriebsspannungen verschieden sein.

I_{cn}: Bemessungs-Kurzschlussausschaltvermögen
I_r: Einstellstrom am strom-abhängig verzögerten Überlast-auslöser (a-Auslöser)

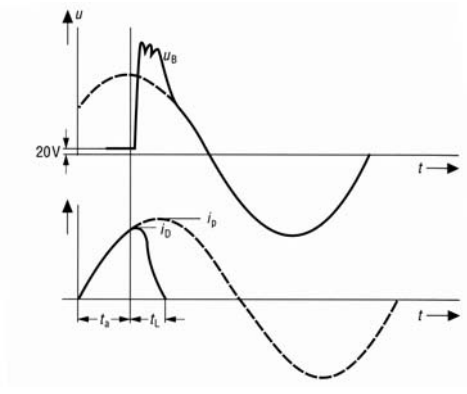


Die Darstellung eines Leistungsschalters mit I_{cn} = 6 kA veranschaulicht, dass der Kurzschlussstrom I_k durch den Schaltereigenwiderstand R_S der Überlasteinstellbereiche bis 6 A auch bei "sattem" Kurzschluss an den Abgangsklemmen des Schalters unter dem Bemessungs-Kurzschlussausschaltvermögen I_{cn} von 6 kA bei 400 VAC liegt.

Leistungsschalter mit strombegrenzendem Ausschaltvorgang haben einen Auslöse- und Öffnungsmechanismus, der sich grundsätzlich von dem der Schalter mit Nullpunktlöschung unterscheidet: Das Öffnen der Schaltstücke geschieht nicht über die "zeitraubende" Schaltschlossentklinkung
Bei Leistungsschaltern mit äußerst geringer Eigenzeit und hoher Lichtbogenspannung werden wie bei Sicherungen zwei Bedingungen erfüllt:

- Unterbrechen des Stromkreises, bevor der Stromscheitelwert erreicht wird.
- Sofortiges Einschalten eines hohen Widerstands in den Stromkreis in Form einer hohen Lichtbogenspannung u_B.

t_a: Ausschaltverzögerung
t_L: Lichtbogendauer
u_B: Lichtbogenspannung
i_D: Durchlassstrom
i_p: Stoßkurzschlussstrom

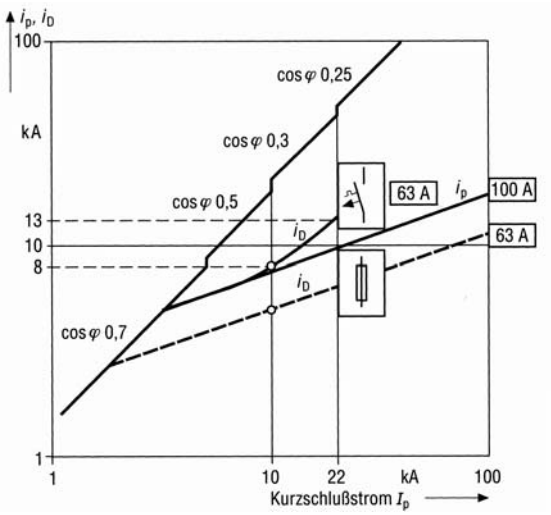


Strom- und Spannungsverlauf beim Ausschalten eines Strombegrenzers.

Das rasche Unterbrechen des Stromkreises wird dadurch erreicht, dass die Schaltstücke vom Schlaganker des Auslösers direkt aufgeschlagen werden. Bei größeren Schaltern bilden die Schaltglieder eine Schleife.
Die im Kurzschlussfall infolge der Schleifenwirkung wirksame abstoßende Kraft stößt das bewegliche Schaltstück vom festen ab. Diese Abstoßkraft ist um so stärker, je höher der Strom i ist.
Eine hohe Lichtbogenspannung wird in kurzer Zeit dadurch erreicht, dass durch geeignete Schaltstückform und Lichtbogenkammer-Ausführung der Lichtbogen sehr schnell in die Lichtbogenkammer läuft und dort an den Löschblechen mehrfach geteilt und intensiv gekühlt wird.

Hinweis:

Leistungsschalter mit Strombegrenzung beherrschen im Allgemeinen bei Spannungen bis 400 V höhere Kurzschlussströme als Schalter mit Nullpunktlöschung gleichen Bemessungsstroms. Aber: Sie haben kein "unbegrenztes" Schaltvermögen, da Schaltvermögen und Durchlassstrom spannungsabhängig sind.



i_D: Durchlassströme
i_P: Stoßkurzschlussstrom

Wegen der hohen Motoranlaufströme muss der Bemessungsstrom der Sicherung höher liegen als der Betriebsstrom des Motors. Das bedeutet: Für einen 30-kW-Motor genügt ein 63-A-Leistungsschalter oder eine 100-A-Sicherung.

Schalten von Anlagenkomponenten

Anlauf von Schleifringläufermotoren

Beim Widerstandsanlassen von Schleifringläufermotoren nach DIN VDE 0660 Teil 102/07.92 (IEC 947-4-1) wird zwischen

- Halblastanlauf (mittleres Drehmoment 0,65 bis 0,7-faches Bemessungsdrehmoment),
- Vollastanlauf (1,3- bis 1,5-fach) und
- Schweranlauf (1,7- bis 2-fach)

unterschieden.

Durch Schalten von Widerständen in den Läuferstromkreis kann der Einschaltstrom vermindert und das Anlaufmoment zwischen Null und dem Kippmoment gesteuert werden. Hierfür stehen Anlasswiderstände und Anlasskombinationen zur Verfügung.

TIPP:

Der AC-2-Betrieb ist die typische Beanspruchung beim Anlassen sowie Ausschalten vollbelasteter Schleifringläufer-Motoren aus der Anlaufphase , während der Gegenstrombremsung sowie beim Reversier- und Tippbetrieb.

Anlauf von Käfigläufermotoren

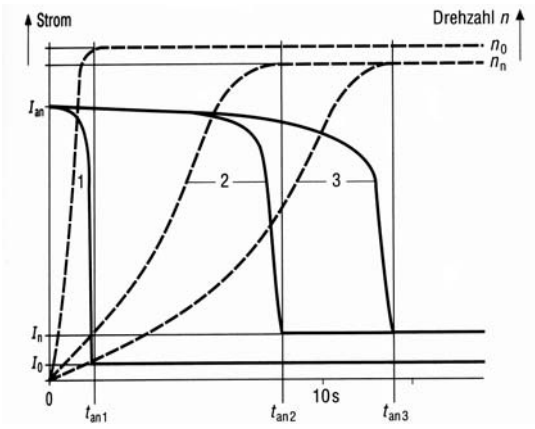
Direkteinschaltung:

Schaltet man einen Drehstrom-Asynchronmotor mit Käfigläufer direkt ein, dann fließt nach Abklingen des Einschaltstroms (Rushstrom) der stationäre Anzugsstrom I_{an}. Die Höhe des Anzugsstroms I_{an} ist vom Lastmoment unabhängig; dagegen ist die Anlaufzeit t_{an} abhängig vom Lastmoment, vom Trägheitsmoment des gesamten Antriebs und vom Beschleunigungsmoment.

Hinweis:

Bei langen Anlaufzeiten liegt Schweranlauf vor.

I_{an}: *Anzugsstrom*
I_n: *Bemessungsstrom*
I_0: *Leerlaufstrom*
t_{an}: *Anlaufzeiten*
n_0: *Leerlaufdrehzahl*
n_n: *Bemessungsdrehzahl*
1: Anlauf ohne Last
2: Normaler Anlauf
3: Schweranlauf



Strom- und Drehzahlverlauf beim Hochlauf von Drehstrom-Asynchronmotoren mit Käfigläufer.

Anhaltswerte für Direktschaltung von Käfigläufermotoren:

- Einschaltstromspitze (Maximalwert) $I_S = 2\sqrt{2} \bullet I_{an}$
- Anzugsstrom (Effektivwert) $I_{an} = 4$ bis $8{,}4 \bullet I_n$, in Ausnahmefällen auch bis $13 \bullet I_n$
- Leerlaufstrom $I_0 = 0{,}95$ bis $0{,}2 \bullet I_n$ (mit der Motorgröße fallend und mit der Polzahl steigend)
- Anlaufzeit t_{an}, unter normalen Bedingungen $t_{an} < 10$ s, bei Schweranlauf $t_{an} > 10$ s (Überprüfung der Motorerwärmung notwendig)

Beachte:

Noch höhere Einschaltspitzen sind bei Motoren im Reversierbetrieb zu erwarten.

Schaltet man den Motor bei festgebremstem Läufer ein, dann nimmt der Motor seinen maximalen Anzugsstrom (Stillstandsstrom) auf. Der Anzugsstrom eines Motors kann durch unterschiedliche Maßnahmen verringert werden.

Stern-Dreieck-Einschaltung:
Bei allen Anlassschaltungen durch Spannungsreduzierung an den Motorwicklungen sinkt das Drehmoment quadratisch und der Strom linear mit der Spannungsverminderung.
Beim Stern-Dreieck-Anlauf von Drehstrom-Asynchronmotoren reduziert sich der Anlaufstrom auf ein Drittel des Stroms gegenüber dem bei Direkteinschaltung. Dieser Wert ergibt sich durch den linear mit der Spannung auf $^1/_{\sqrt{3}}$ reduzierten Strangstrom und durch das Verhältnis $^1/_{\sqrt{3}}$ von Strangstrom zu Leiterstrom in der Sternstufe.

Beachte:

Die Stern-Dreieck-Schaltung ist nur bei Drehstrom-Asynchronmotoren anwendbar, deren Motorbemessungsspannung bei Dreieckschaltung mit der Netznennspannung übereinstimmt und deren Wicklungsenden getrennt auf das Klemmenbrett geführt sind.

Ebenfalls wird durch die um $\sqrt{3}$ verringerte Spannung an den Motorwicklungen das Motormoment gegenüber dem Direktanlauf auf etwa ein Drittel reduziert. Dadurch ist ein weiches, schonendes Beschleunigen des Antriebs gewährleistet.
($\approx 0{,}33 \bullet M_n$ für Motoren bis ca 15 kW bei 400 V, 50 Hz und $\approx 0{,}29 \bullet M_n$ für Motoren ab etwa 18,5 kW)

Obwohl allgemein bekannt ist, dass Stern-Dreieck-Starter nur zum Anlassen von Drehstrommotoren geeignet sind, bei denen während des Anlaufvorgangs das Lastmoment gering bleibt, kommt es doch gelegentlich vor, dass Stern-Dreieck-Starter sinnwidrig eingesetzt werden. Dies ist der Fall, wenn das Lastmoment der Arbeitsmaschine während des Hochlaufens des Motors bereits so groß ist bzw. wird, dass der Motor in der Sternstufe nicht mindestens bis auf etwa 90 % seiner Bemessungsdrehzahl hochlaufen kann.

TIPP:

Durch die Wahl eines Motors mit einer hohen Läuferklasse, z. B. KL 16, kann das Beschleunigungsmoment des Antriebs verbessert werden.

Läuferklasse KL 16 bedeutet, dass bei direktem Einschalten auch bei Unterspannung von 5 % ein Anlauf gegen ein Lastmoment bis zu 160 % des Bemessungsmoments möglich ist.

Beachte:

Beim Einschalten des Dreieckschützes können, verstärkt durch eine ungünstige Konstellation von Netzfrequenz und Läuferfeld, Ausgleichsvorgänge im Motor auftreten, die zu größeren Stromspitzen führen als beim Zuschalten des stehenden Motors in Dreieckschaltung. In ungünstigen Fällen wird dabei das Einschaltvermögen der Schütze überschritten. Die Folge sind Verschweißungen der Schaltstücke.

Eine Reduzierung der Ausgleichsströme ist durch die richtige Verdrahtung des Hauptstromkreises zu erreichen. Dabei ist nicht nur die Strombahnbelastung der Schütze, sondern auch die dynamische Beanspruchung der Wickelköpfe der Motoren geringer.

Unterbrechungslose Stern-Dreieck-Einschaltung:
um die Ausgleichsvorgänge beim Umschalten von Stern- auf Dreieckbetrieb so klein wie möglich zu halten, hält ein viertes Schütz (Transitionsschütz) die Motorwicklung über Widerstände am Netz, so dass die Umschaltung ohne Unterbrechung erfolgt. Damit wird erreicht, dass Stromspitzen beim Umschaltvorgang weitgehend unterdrückt werden, z. B. bei ungenügendem Hochlauf des Motors.

Motoranlauf über einpoligen Widerstand (KUSA-Schaltung):
Die KUSA-Schaltung (**Ku**rzschlussläufer-**Sa**nftanlauf) ist dadurch gekennzeichnet, dass durch den Spannungsfall am Widerstand in einer Zuleitung eine unsymmetrische Spannung am Motor liegt. Im Motor entsteht neben dem gleichläufigen ein gegenläufiges (inverses) Drehmoment, so dass das Gesamtmoment vermindert wird. Dies gilt nicht für den Anlaufstrom, denn dieser wird in den beiden Zuleitungen, die ohne Widerstand sind, sogar noch etwas höher als bei Direkteinschaltung. Nach dem Hochlauf wird der Widerstand kurzgeschlossen.

Motoranlauf über dreipolige Widerstände:
Der Anlaufstrom bewirkt an den Widerständen einen Spannungsfall, sodass der Motor mit einer entsprechend geringeren Spannung anläuft. Der Anlaufstrom sinkt linear mit der Spannungsminderung. Beim einstufigen Anlassen sind die Widerstände so bemessen, dass der Anlaufstrom auf etwa den dreifachen Motorbemessungsstrom begrenzt wird. Beim zweistufigen Anlassen kann eine Begrenzung des Anzugsstroms auf den 1,5- bis 2-fachen Motorbemessungsstrom erreicht werden, wobei jedoch das Anzugsmoment sehr klein wird.

Anlassen von Motoren mit Anlasstransformatoren:
Der Motor wird während des Anlassvorgangs an die Anzapfungen eines Transformators in Stern-Spar-Schaltung gelegt, meistens bei 70 % der Nennspannung. In diesem Fall sinken Anlaufmoment und Anlaufstrom auf etwa 49 % ($M \sim u^2$) der Werte bei direkter Einschaltung. Der Vorteil liegt darin, dass das Netz beim Hochlauf entlastet wird. Darüber hinaus wird der Motor nicht über sechs wie bei der Stern-Dreieck-Schaltung, sondern nur über drei Zuleitungen angeschlossen.

Drehstrom-Wendeschaltung:
Die Drehstrom-Wendeschaltung wendet man beim Reversierbetrieb an, wenn die Drehrichtung des Motors durch Wechseln der Phasen rasch geändert wird. Dabei bestehen beim raschen Umschalten in der Motorwicklung noch ein magnetisches Restfeld und eine entsprechend hohe Restspannung. Dadurch treten zusätzliche Stromspitzen von etwa $0{,}7 \bullet I_n$ auf.

Beachte:

Beim Umschalten muss eine ausreichend lange Schaltpause eingehalten werden, damit der Lichtbogen des ausschaltenden Schaltgeräts sicher löscht, ehe das einschaltende Schaltgerät einschaltet.

Wendeschütze müssen hierzu elektrisch über Hilfsöffner verriegelt sein. Zusätzlich können sie mechanisch verriegelt werden. Die mechanische Verriegelung verhindert bei Fehlansteuerungen während der Inbetriebsetzung und starken Erschütterungen das gleichzeitige Einschalten beider Schütze und schützt somit vor Phasenkurzschlüssen.

Steuern von polumschaltbaren Drehstrom-Asynchronmotoren:
Die Drehzahl eines Asynchronmotors bei konstanter Frequenz wird durch seine Polzahl bestimmt. Soll der gleiche Motor mit mehreren Drehzahlen betrieben werden, sind seine Ständerwicklungen so zu unterteilen, dass man den Motor mit unterschiedlichen Polzahlen an das Netz schalten kann. Hierfür gibt es unterschiedliche Möglichkeiten:

- Ausführung 1: Dahlander-Schaltung, zwei Drehzahlen im Verhältnis 1:2
  Für beide Drehzahlen ergeben sich unterschiedliche Leistungsverhältnisse. Um eine Verminderung des Anlaufstroms zu erreichen, kann der Motor in der unteren Drehzahl auch in Stern-Dreieck-Schaltung angelassen werden.
  Voraussetzung hierfür ist, dass insgesamt neun Motorklemmen vorhanden sind und der Sternpunkt damit zugänglich ist.
- Ausführung 2: Zwei getrennte Wicklungen, zwei Drehzahlen
  Für beide Drehzahlen ergeben sich unterschiedliche Leistungsverhältnisse

- Ausführung 3: Dahlander-Schaltung und eine getrennte Wicklung, drei Drehzahlen
  Die Dahlander-Wicklung mit dem Drehzahlverhältnis 1:2 wird durch die Drehzahl der getrennten Wicklung ergänzt. Diese kann unter, zwischen oder über den beiden Dahlander-Drehzahlen liegen.
- Ausführung 4: Zwei Dahlander-Schaltungen, vier Drehzahlen
  Die Drehzahlen können hierbei im Verhältnis jeder Dahlander-Wicklung aufeinander folgen oder gemischt angewendet werden.

Tippbetrieb:
Unter "Tippen" versteht man die einmalige oder wiederholte kurzzeitige Einschaltung des Motors, um nur kleine Bewegungen zu erreichen. Dabei wird der Motorstrom im Anlauf abgeschaltet.

Beachte:

Der Tippbetrieb verursacht einen starken Schaltstückabbrand. Die Auswahl des Motorschalters erfolgt daher nach der Gebrauchskategorie AC-4.

Bei Mischbetrieb AC-3/AC-4 muss die Schaltstücklebensdauer der Schütze berechnet werden.

Schalten von Kondensatoren

Beim Einschalten von Kondensatoren werden diese über einen Einschwingvorgang auf ihren stationären Wert aufgeladen. Hierbei können bei Frequenzen von einigen Hundert bis einigen Tausend Hertz sehr hohe Stromspitzen auftreten, was besondere Anforderungen an die Schaltgeräte stellt. Für die Amplitude und die Frequenz der Einschaltströme sind Kondensatorkapazität, Reaktanzen im Einschaltkreis und Einschaltzeitpunkt der Netzspannung maßgebend.

Einschalten einzelner Kondensatoren:
Schaltet man einen Kondensator einer bestimmten Leistung ans Netz, dann wird der Einschaltstrom hauptsächlich von der Transformatorgröße und von der Netzimpedanz zu den Kondensatoren bestimmt.

Die Beanspruchung der Schaltgeräte steigt mit
- größer werdender Leistung der Kondensatoren,
- zunehmender Nennleistung und damit größer werdender Kurzschlussreaktanz des einspeisenden Transformators,
- abnehmender Impedanz der Anschlussleitungen.

Einschalten von Kondensatoren in Regeleinheiten:
Werden einzelne Kondensatoren in Kondensatorbatterien, z. B. in Blindleistungsregeleinheiten, geschaltet, ergeben sich beim Einschalten für die Schaltgeräte besonders ungünstige Bedingungen, da die bereits am Netz liegenden Kondensatoren eine zusätzliche Energiequelle darstellen.
Begrenzt werden die Einschaltstromspitzen durch die Impedanz der Leitungen und im günstigsten Fall noch durch die Kondensatorinduktivität sowie die Induktivitäten zwischen den einzelnen Kondensatorabzweigen.
Die Beanspruchung der Geräte wird deshalb durch folgende Rahmenbedinungen bestimmt:
- Leistungsverhältnis der eingeschalteten zu den sich bereits am Netz befindlichen Kondensatoren.
- Länge, d. h. Widerstand der Verbindungsleitungen zwischen den einzelnen Kondensatoren.
- Eigeninduktivität der Kondensatoren, die bei verlustarmen Becherkondensatoren beispielsweise vernachlässigbar klein ist.

Um das Einschalten von Kondensatoren mit geringem Aufwand zu ermöglichen, sind oft zusätzliche Maßnahmen erforderlich. Beispielsweise besteht beim Einsatz von Motorschützen die Gefahr eines Verschweißens der Schaltstücke. Hier kann die schaltbare Kapazität z. B. durch Zusatzinduktivitäten in den Kondensatorabzweigen erhöht werden.
Mit speziellen Kondensatorschützen oder Kondensator-Schütz-Kombinationen, die Kapazitäten über Vorladewiderstände ans Netz schalten, erreicht man eine hohe schaltbare Kapazität und eine minimale Rückwirkung auf das speisende Drehstromnetz. Der Grund dafür liegt darin, dass die Einschaltströme durch die Widerstände definiert begrenzt und sehr stark verringert werden.

TIPP:

Als Gebrauchskategorie ist in IEC 947/DIN VDE 0660 hierfür AC-6b festgelegt.

Schalten von Elektrowärmegeräten
Elektrowärmegeräte werden z. B. für Raumheizungen, Widerstandsöfen und Klimaanlagen verwendet. Bei Widerstandsdrahtelementen kann der Einschaltstrom das 1,4-fache des Bemessungsstroms betragen. Berücksichtigt man die Netzspannungserhöhung um 10 %, so können die Widerstandselemente einen

entsprechend hohen Betriebsstrom aufnehmen. Dies sollte man für die Auswahl der Schaltgeräte bezüglich Bemessungsbetriebsstrom berücksichtigen.
Als Gebrauchskategorie ist hier AC-1 bei Wechselstrom und DC-1 bei Gleichstrom zugrunde zu legen. Zum Schalten genügt ein Schalter mit entsprechendem Lastschaltvermögen.

TIPP:

Heizkreise werden vielfach einpolig betrieben. Dabei werden üblicherweise mehrpolige Schaltgeräte mit parallelgeschalteten Strombahnen verwendet, womit man den zulässigen Belastungsstrom erhöhen kann.

Schalten von Lampen in Beleuchtungsanlagen

In Beleuchtungsanlagen können Schaltgeräte durch hohe Einschaltströme beansprucht werden. Bei Glühlampen erreicht die Einschaltstromspitze etwa den 15-fachen Bemessungsstrom. Das Einschaltvermögen des Schützes muss also mindestens diesen Wert haben (Gebrauchskategorie AC-5b).
Unkompensierte Leuchtstofflampen oder Leuchtstofflampen in Duo-Schaltung haben während des üblichen Startvorgangs Vorheizströme, die kurzzeitig etwa das 2-fache des Bemessungsstroms betragen. Der Lampenstrom darf bei Gebrauchskategorie AC-1 maximal dem Bemessungsbetriebsstrom I_e der jeweiligen Schütze betragen.

Während bei Glühlampen die Einschaltstromspitze etwa den 15-fachen Bemessungsstrom erreicht, fließen bei unkompensierten Leuchtstofflampen bzw. Leuchtstofflampen mit Duo-Schaltung Vorheizströme in Höhe des 2-fachen Bemessungsstroms.

Bei parallel kompensierten Leuchtstofflampen können Einschaltspitzen auftreten, die den 20-fachen Kondensatorbemessungsstrom erreichen. Bei Leuchtstofflampen mit elektronischen Vorschaltgeräten erreicht die Einschaltstromspitze durchschnittlich den 10-fachen Lampenstrom.
Für die Auswahl des Schützes ist in beiden Fällen die zulässige Kondensatorbemessungsleistung gemäß Gebrauchskategorie AC-6b zu berücksichtigen.

Quecksilberdampf-Hochdrucklampen und Halogen-Metalldampflampen werden mit Vorschalt- und Zündgeräten betrieben. Innerhalb der Anlaufzeit von etwa drei bis fünf Minuten fließt ein fast rein induktiver Einschaltstrom. Dieser kann etwa das

2-fache des Bemessungstroms betragen. Der Bemessungsbetriebsstrom I_e der Schütze bei AC-1 muss bei Halogen-Metalldampflampen mindestens dem Einschaltstrom entsprechen.

Während der Anlaufzeit von Natriumdampf-Hochdrucklampen von etwa fünf bis zehn Minuten fließt ein induktiver Strom von etwa 1,7- bis 2,2-fachem Bemessungsstrom. Dieser Einschaltstrom ist für die Auswahl des Bemessungsbetriebsstroms I_e des Schützes maßgebend.

Hinweis:

Werden Quecksilberdampf-Hochdrucklampen, Halogen-Metalldampflampen und Natriumdampflampen kompensiert, ist für die Wahl des Schützes der hierbei auftretende hohe Kondensatoreinschaltstrom zu berücksichtigen.
Da jedoch durch den Kondensator der induktive Einschaltstrom teilweise kompensiert wird, kann, wenn der Einschaltstrom des Kondensators es zulässt, unter Umständen ein kleineres Schütz verwendet werden als bei nichtkompensierten Lampen.

Schalten von Niederspannungstransformatoren

Wird ein Niederspannungstransformator eingeschaltet, tritt kurzfristig eine hohe Stromspitze auf. Die durch den Feldaufbau hervorgerufenen Rushströme können bis zum 30-fachen des Transformatorbemessungsstroms betragen. Die Einschaltstromspitzen sind für jeden Transformatortyp unterschiedlich. Sie sind abhängig von der Lage der Wicklung, von den Kennwerten des magnetischen Kreises und besonders vom Phasenwinkel der Spannung beim Einschalten. Die Schütze müssen ein entsprechend hohes Einschaltvermögen aufweisen, um ein Verschweißen der Hauptschaltstücke zu verhindern.

Schalthäufigkeit und Lebensdauer

Die zulässige Schalthäufigkeit wird in Schaltspielen je Stunde angegeben. Sie ist abhängig vom Bemessungsbetriebsstrom der jeweiligen Gebrauchskategorie. Für Schütze gelten nach DIN EN 60947-4-1 (VDE 0660 Teil 102) die Gebrauchskategorien AC-1 bis AC-8a/b und DC-1 bis DC-5. Für Schütze gilt:

$$Z' = Z \cdot \frac{I_e}{I'} \cdot \left(\frac{400\,\mathrm{V}}{U'}\right)^{1,5} \cdot \frac{55\,^\circ\mathrm{C}}{\vartheta_u} \quad (\text{für } 55\,^\circ\mathrm{C} \leq \vartheta_u \leq 70\,^\circ\mathrm{C}).$$

Z': Zulässige Schalthäufigkeit
Z: Schalthäufigkeit entsprechend der Gebrauchskategorie
I': Tatsächlicher Betriebsstrom
I_e: Bemessungsbetriebsstrom entsprechend der Gebrauchskategorie
U': Tatsächliche Betriebsspannung
θ_u: Umgebungstemperatur

Lampenart	Einschalt-strom I [1] A	Anlauf-zeit min	Anlauf-strom I_{an} A	cos φ	Berechnungsgrundlagen für Schütze entsprechend Gebrauchskategorie AC-1/DC-1 und AC-3	Berechnungsgrund-lagen für Schütze entsprechend Kondensatorschalt-vermögen (AC-6b)
Glühlampen	15 • I_{eL}	—	—	1	$I_{eL} \leq 0{,}83 \bullet I_{e\ AC-3}$ und $\leq I_{e\ AC-1}$ und $\leq I_{e\ AC-5b}$	—
Leuchstofflampen und Kompaktleuchtstofflampen im Drosselbetrieb						
- unkompensiert	≈ 2,0 • I_{eL}	—	—	0,4-0,6	$I_{eL} \leq I_{e\ AC-1}$ und $\leq I_{e\ AC-5a}$	—
-parallelkompensiert	≈ 20 • I_{eL}	—	—	0,9	$I_{eL} \leq I_{e\ AC-1}$ und $R_{Ltg} \geq 0{,}8\ \Omega$ und $\leq I_{e\ AC-6b}$	$C_{zul} \leq 11{,}1 \bullet I_{e\ AC-3}$ µF
- DUO-Schaltung	1,0 • I_{eL}	—	—	0,9	$I_{eL} \leq I_{e\ AC-1}$	—
Leuchstoffleuchten im EVG-Betrieb						
- AC-Betrieb	10 • I_{eL}	—	—	0,9	$I_{eL} \leq 0{,}7 \bullet I_{e\ AC-3}$	—
- DC-Betrieb	10 • I_{eL}	—	—	0,9	$I_{eL} \leq 0{,}7 \bullet I_{e\ AC-3}$ und $\leq I_{e\ DC-1}$	—
Quecksilberdampf-Hochdrucklampen (HQL)						
- unkompensiert	20 • I_{eL}	3 - 5	2 • I_e	0,4-0,6	$I_{eL} \leq 0{,}5 \bullet I_{e\ AC-1}$ und bei nur 1 Lampe $\leq 0{,}88 \bullet I_{e\ AC-3}$	
- parallelkompensiert	20 • I_{eL}	3 - 5	2 • I_e	0,9	$I_{eL} \leq 0{,}5 \bullet I_{e\ AC-1}$ und bei nur 1 Lampe $\leq 0{,}88 \bullet I_{e\ AC-3}$ und $\leq I_{e\ AC-6b}$	$C_{zul} \leq 11{,}1 \bullet I_{e\ AC-3}$ µF [2]
Halogen-Metalldampflampen (HQI)						
- unkompensiert	20 • I_{eL}	5 - 10	1,7 bis 2,2 • I_e	0,4-0,5	$I_{eL} \leq 0{,}5 \bullet I_{e\ AC-1}$ und bei nur 1 Lampe $\leq 0{,}88 \bullet I_{e\ AC-3}$	
- parallelkompensiert	20 • I_{eL}	5 - 10	1,7 bis 2,2 • I_e	0,9	$I_{eL} \leq 0{,}5 \bullet I_{e\ AC-1}$ und bei nur 1 Lampe $\leq 0{,}88 \bullet I_{e\ AC-3}$ und $\leq I_{e\ AC-6b}$	$C_{zul} \leq 11{,}1 \bullet I_{e\ AC-3}$ µF [2]
Natriumdampf-Hochdrucklampen (NAV)						
- unkompensiert	20 • I_{eL}	5 - 10	1,7 bis 2,2 • I_e	0,4-0,5	$I_{eL} \leq 0{,}5 \bullet I_{e\ AC-1}$ und bei nur 1 Lampe $\leq 0{,}88 \bullet I_{e\ AC-3}$	
- parallelkompensiert	20 • I_{eL}	5 - 10	1,7 bis 2,2 • I_e	0,9	$I_{eL} \leq 0{,}5 \bullet I_{e\ AC-1}$ und bei nur 1 Lampe $\leq 0{,}88 \bullet I_{e\ AC-3}$ und $\leq I_{e\ AC-6b}$	$C_{zul} \leq 11{,}1 \bullet I_{e\ AC-3}$ µF [2]

Einschaltströme von Lampen und Bemessung der Schütze:
[1] Als Vielfaches des Lampenbemessungsstroms [2] Gilt für Netzinnenwiderstand R_{Ltg} = 0,8 Ω

Auswahl nach Gebrauchskategorien

Nach DIN EN 60947-4-1, 3, 5-1 (VDE 0660 Teile 102, 107 und 200) können der Verwendungszweck und die Beanspruchung von Schützen, Trennern, Lasttrennschaltern und Schalter-Sicherungs-Einheiten durch die Angabe der Gebrauchskategorie in Verbindung mit der Angabe des Bemessungsbetriebsstroms oder der Motorleistung und der Bemessungsspannung gekennzeichnet werden. Für ein Schaltgerät gelten häufig mehrere Gebrauchskategorien, die abhängig von Spannung, Bemessungsstrom und Anwendung sein können.

Gebrauchskategorien nach DIN EN 60947-4-1, 3, 5-1 (VDE 0660 Teile 102, 107 und 200)

Wechselstrom		Gleichstrom		DIN VDE 0660 Teil	IEC 947 Teil
Gebrauchs-kategorie	Typischer Anwendungsfall	Gebrauchs-kategorie	Typischer Anwendungsfall		
AC-1	Nicht induktive oder schwach induktive Last; Widerstands-öfen	DC-1	Nicht induktive oder schwach induktive Last; Widerstandsöfen	102	4
AC-12	Steuern von ohmscher Last und Halbleiterlast in Eingangs-kreisen von Optokopplern	DC-12	Steuern von ohmscher Last und Halbleiterlast in Ein-gangskreisen von Opto-kopplern	200	5
AC-13	Steuern von Halbleiterlast mit Transformatortrennung	DC-13[1)]	Steuern von Elektromagneten	200	5
AC-14	Steuern kleiner elektromagneti-scher Last (max. 72 VA)	DC-14	Steuern von elektromagneti-scher Last mit Sparwider-ständen im Stromkreis	200	5
AC-15[1)]	Steuern elektromagnetischer Last (größer als 72 VA)			200	5
AC-2	Schleifringläufermotoren: Anlassen, Ausschalten	–	–	102	4
AC-20	Schließen und Öffnen bei Leerlast	DC-20	Schließen und Öffnen bei Leerlast	107	3
AC-21	Schalten ohmscher Last ein-schließlich mäßiger Überlast	DC-21	Schalten ohmscher Last ein-schließlich mäßiger Überlast	107	3
AC-22	Schalten gemischter ohmscher und induktiver Last einschließ-lich mäßiger Überlast	DC-22	Schalten gemischter ohm-scher und induktiver Last einschließlich mäßiger Über-last (z.B. Nebenschluss-motoren)	107	3
AC-23	Schalten von Motorlast oder anderen hochinduktiven Lasten	DC-23	Schalten stark induktiver Last (z.B. Reihenschlussmotoren)	107	3
AC-3	Käfigläufermotoren: Anlassen, Ausschalten während des Laufes[4)]	DC-3	Nebenschlussmotoren: Anlassen, Gegenstrombremsen[2)], Reversieren[2)], Tippen[3)], Widerstandsbremsung	102	4
AC-4	Käfigläufermotoren: Anlassen, Gegenstrombremsen[2)], Reversieren[2)], Tippen[3)]	–	–	102	4

AC-5a AC-5b	Schalten von Gasentladungs-lampen Schalten von Glühlampen	DC-5	Reihenschlussmotoren: Anlassen, Gegenstrombrem-sen[2)], Tippen, Reversieren[2)], Widerstandsbremsung	102	4
AC-6a AC-6b	Schalten von Transformatoren Schalten von Kondensatorbat-terien	DC-6	Schalten von Glühlampen	102	4
AC-7a AC-7b	Schwach induktive Last in Haushaltgeräten und ähnlichen Anwendungen Motorlast für Haushaltgeräte	[1)] In DIN EN 60947 (VDE 0660) wird AC-11 in AC-15 und DC-11 in DC-13 übergeführt. [2)] Gegenstrombremsen oder Reversieren des Motors ist das schnelle Bremsen oder Umkehren der Drehrichtung durch Vertauschen von zwei Zuleitungen bei laufendem Motor. [3)] Unter Tippen versteht man das einmalige oder wiederholte kurzzeitige Einschalten eines Motors, um kleine Bewegungen von Maschinen zu bewirken. [4)] Die Geräte dürfen für gelegentliches Tippen oder Gegenstrombremsen während einer begrenzten Dauer verwendet werden; die Anzahl der Betätigungen darf dabei nicht über fünf je Minute und zehn je zehn Minuten hinausgehen. [5)] Beim hermetisch gekapselten Kühlkompressor-motor sind Kompressor und Motor im gleichen Gehäuse ohne äußere Welle oder Wellendichtung gekapselt und der Motor wird im Kühlmittel betrieben.		
AC-8a AC-8b	Schalten von hermetisch gekapselten Kühlkompressor-motoren mit manueller Rück-stellung der Überlastauslöser[5)] Schalten von hermetisch gekapselten Kühlkompressor-motoren mit automatischer Rückstellung der Überlast-auslöser[5)]				

Nachweis des Bemessungseinschalt- und -ausschaltvermögens (a) und der elektrischen Lebensdauer (b) von Schützen im Hauptstromkreis entsprechend der Gebrauchskategorien nach DIN VDE 0660 Teil 102, 07.92 (EN 60947-1-1:1991).

a) Nachweis des Bemessungseinschalt- und -ausschaltvermögens

Stromart	Gebrauchskategorie	Bemessungsbetriebsstrom I_e in A	Einschalten			Ausschalten		
			I/I_e	U/U_e	cos φ	I_c/I_e	U_r/U_e	cos φ
Wechselstrom	AC-1	alle Werte	1,5	1,05	0,8	1,5	1,05	0,8
	AC-2	alle Werte	4,0	1,05	0,65	4,0	1,05	0,65
	AC-3	$I_e \leq 100$ A $I_e > 100$ A	10 10	1,05 1,05	0,45 0,35	8,0 8,0	1,05 1,05	0,45 0,35
	AC-4	$I_e \leq 100$ A $I_e > 100$ A	12 12	1,05 1,05	0,45 0,35	10,0 10,0	1,05 1,05	0,45 0,35
					L/R (ms)			L/R (ms)
Gleichstrom	DC-1	alle Werte	1,5	1,05	1,0		1,05	1,0
	DC-3	alle Werte	4,0	1,05	2,5		1,05	2,5
	DC-5	alle Werte	4,0	1,05	15		1,05	15
	DC-6	alle Werte	1,5[1)]	1,05	[1)]		1,05	[1)]

b) Nachweis der elektrischen Lebensdauer

Stromart	Gebrauchskategorie	Bemessungsbetriebsstrom I_e in A	Einschalten			Ausschalten		
			I/I_e	U/U_e	cos φ [2)]	I_c/I_e	U_r/U_e	cos φ [2)]
Wechselstrom	AC-1	alle Werte	1,0	1,0	0,95	1,0	1,0	0,95
	AC-2	alle Werte	2,5	1,0	0,65	2,5	1,0	0,65
	AC-3	$I_e \leq 17$ A $I_e > 17$ A	6,0 6,0	1,0 1,0	0,65 0,35	1,0 1,0	0,17 0,17	0,65 0,35
	AC-4	$I_e \leq 17$ A $I_e > 17$ A	6,0 6,0	1,0 1,0	0,65 0,35	6,0 6,0	1,0 1,0	0,65 0,35
					L/R (ms)[3)]			L/R (ms)[3)]
Gleichstrom	DC-1	alle Werte	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	DC-3	alle Werte	2,5	1,0	2,0	2,5	1,0	2,0
	DC-5	alle Werte	2,5	1,0	7,5	2,5	1,0	7,5

I	Einschaltstrom
I_c	Ein- und Ausschaltstrom
I_e	Bemessungsbetriebsstrom
U	angelegte Spannung
U_r	Betriebsfrequente wiederkehrende Spannung
U_c	Bemessungsbetriebsspannung

1)	Die Prüfung ist mit Glühlampenlast durchzuführen
2)	Grenzabweichung für cos φ : ± 0,05
3)	Grenzabweichung für L/R : ± 15 %

I	Einschaltstrom
I_c	Ausschaltstrom
I_e	Bemessungsbetriebsstrom
U	Angelegte Spannung
U_e	Bemessungsbetriebsspannung
U_r	Netzfrequente wiederkehrende Spannung oder wiederkehrende Gleichspannung

Nachweis des Bemessungsein- und -ausschaltvermögens, sowie der elektrischen Lebensdauer von Lastschaltern, Trennern, Lasttrennschaltern und Schalter-Sicherungs-Einheiten nach DIN EN 60947-3 (VDE 660 Teil 107): 12.92

a) Bedingungen für das Ein- und Ausschalten entsprechend den Gebrauchskategorien

Stromart	Gebrauchskategorie		Bemessungsbetriebsstrom I_e in (A)	Einschaltbedingungen[1]			Ausschaltbedingungen			Anzahl der Schaltspiele
				I/I_e	U/U_e	cos φ	I_c/I_e	U_r/U_e	cos φ	
Wechselstrom	AC-20 A[2]	AC-20 B[2]	Alle Werte	–[3]	–[3]	–[3]	–[3]	–[3]	–[3]	
	AC-21 A	AC-21 B	Alle Werte	1,5	1,05	0,95	1,5	1,05	0,95	5
	AC-22 A	AC-22 B	Alle Werte	3	1,05	0,65	3	1,05	0,65	5
	AC-23 A	AC-23 B	$0<I_e \leq 100$ A 100 A$<I_e$	10 10	1,05 1,05	0,45 0,35	8 8	1,05 1,05	0,45 0,35	5 5
						L/R (ms)			L/R (ms)	
Gleichstrom	DC-20 A[2]	DC-20 B[2]	Alle Werte	–[3]	–[3]	–[3]	–[3]	–[3]	–[3]	
	DC-21 A	DC-21 B	Alle Werte	1,5	1,05	1	1,5	1,05	1	5
	DC-22 A	DC-22 B	Alle Werte	4	1,05	2,5	4	1,05	2,5	5
	DC-23 A	DC-23 B	Alle Werte	4	1,05	15	4	1,05	15	5

b) Nachweis des Betriebsverhaltens
Anzahl der Schaltspiele (elektrische Lebensdauer) bei Bemesssungsbetriebsstrom

Bemessungsbetriebsstrom I_e in (A)	Anzahl der Schaltspiele pro Std.	Anzahl der Schaltspiele AC und DC					
		Kategorie: A			Kategorie: B		
		ohne Strom	mit Strom	Gesamt	ohne Strom	mit Strom	Gesamt
$I_e \leq 100$	120	8500	1500	10000	1700	200	2000
$200<I_e \leq 315$	120	7000	1000	8000	1400	200	1600
$315<I_e \leq 630$	60	4000	1000	5000	800	200	1000
$630<I_e \leq 2500$	20	2500	500	3000	500	100	600
$2500<I_e$	10	1500	500	2000	300	100	400

c) Prüfkreisdaten zum Nachweis des Betriebsverhaltens nach Tabelle b)

Stromart	Gebrauchskategorie		Bemessungsbetriebsstrom	Einschaltbedingungen[1]			Ausschaltbedingungen		
			I_e in (A)	I/I_e	U/U_e	cos φ	I_c/I_e	U_r/U_e	cos φ
Wechselstrom	AC-21 A	AC-21 B	Alle Werte	1	1	0,95	1	1	0,95
	AC-22 A	AC-22 B	Alle Werte	1	1	0,8	1	1	0,8
	AC-23 A	AC-23 B	Alle Werte	1	1	0,65	1	1	0,65
Gleichstrom	DC-21 A	DC-21 B	Alle Werte	1	1	1	1	1	1
	DC-22 A	DC-22 B	Alle Werte	1	1	2	1	1	2
	DC-23 A	DC-23 B	Alle Werte	1	1	7,5	1	1	7,5

[1] Bei Wechselstrom werden die Einschaltbedingungen als Effektivwerte ausgedrückt, wobei der Scheitelwert des unsymmetrischen Stroms je nach dem Leistungsfaktor des Stromkreises einen höheren Wert annehmen kann.

[2] Die Anwendung dieser Gebrauchskategorie ist in den USA nicht erlaubt.

[3] Hat das Schaltgerät ein Einschalt- und/oder Ausschaltvermögen, so müssen die Werte des Stromes und des Leistungsfaktors (Zeitkonstante) vom Hersteller angegeben werden.

Beachte:

Die Leerschalthäufigkeit darf nicht überschritten werden. Die zulässige Schalthäufigkeit bei Leistungsschaltern und Schützen wird durch den vorgesehenen Überlastschutz eingeschränkt.

Das Bemessungseinschaltvermögen eines Schützes ist der Wert des Stroms, den das Gerät unter festgelegten Bedingungen ohne Verschweißen der Schaltstücke, ohne starken Schaltstückabbrand und ohne zu starken Lichtbogenaustritt einschalten kann.
Das Bemessungsausschaltvermögen ist der Wert des Stroms, den das Schütz unter festgelegten Bedingungen ohne unzulässig starken Schaltstückabbrand und ohne zu starken Lichtbogenaustritt ausschalten kann.

Schutz bei Überstrom (Überlast, Kurzschluss) und Übertemperatur
Den Schutz bei Überlast übernehmen vorwiegend thermisch oder elektronisch, stromabhängig verzögerte Überlastauslöser oder Überlastrelais.
Den Schutz bei Kurzschluss übernehmen vorwiegend unverzögerte elektromagnetische oder elektronische Überstromauslöser oder Überlastrelais, die Funktion "selektiver Kurzschlussschutz" unverzögerte elektromagnetische oder elektronische Überstromauslöser.
Die Funktion Schutz vor Übertemperatur übernehmen vorwiegend Thermistor-Motorschutzgeräte.

Hinweis:

Überlastströme erwärmen die Wicklungsstränge von Motoren sowie die Leitungen unzulässig und verkürzen die Lebensdauer ihrer Isolierung.

a: Stromabhängig verzögerter Auslöser
z: Kurzverzögerter Auslöser
n: Unverzögerter elektromagnetischer Auslöser
1): Ganzbereichssicherungen für den Kabel- und Leitungsschutz
2): Teilbereichssicherungen für denSchutz von Schaltgeräten in Motorabzweigen
3): Nicht für Motoren
4): Leitungsschutzschalter nach DIN VDE 0641 sind Schutzschalter mit stromabhängig verzögertem Überlast- und unverzögertem Kurzschlussauslöser
5): Nicht für läuferkritische Motoren

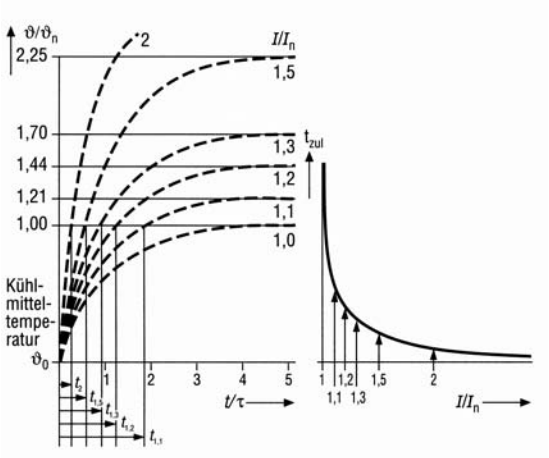
Schutzgeräte in der Niederspannungstechnik

Schutzgerät	Verwendung zum Schutz gegen Überlast	Verwendung zum Schutz gegen Kurzschluss	Verwendung zum Schutz gegen Übertemperatur
Sicherung			
der Betriebsklasse gL/gG [1]	X [3]	X	—
der Betriebsklasse aM [2]	—	X	—
Leistungsschalter mit			
a-Auslöser	X	—	—
z-Auslöser	—	X	—
n-Auslöser	—	X	—
Leitungsschutzschalter (LS) [4]	X	X	—
Überlastrelais stromabhängig			
thermisch verzögert	X	—	—
elektronisch verzögert	X	—	—
Unverzögerte elektromagnetische Überstromrelais	X	X	—
Thermistor-Motorschutzgeräte	X [5]	—	X

Die Aufgabe des Überlastschutzes ist es, betriebsmäßig auftretende Überströme zuzulassen, sie aber rechtzeitig auszuschalten, bevor die zulässige Belastungszeit überschritten wird.

θ_n: *Zulässige Bemessungstemperatur*
θ_0: *Kühlmitteltemperatur*
t_{zul}: *Zulässige Belastungszeit*
τ: *Thermische Zeitkonstante*

Zulässige Belastung eines Körpers, wenn seine Grenztemperatur nicht überschritten wird.



a) Erwärmung bei Belastung mit Bemessungsstrom (1,0 • I_n) und mit unterschiedlich hohen Überströmungen (1,1; 1,2; 1,3; 1,5; 2•I_n)

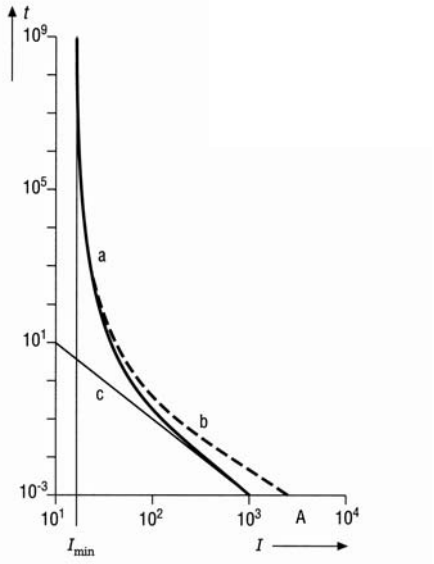
b) Zulässige Belastung

Die dynamischen Kräfte bei einem Kurzschluss sind abhängig vom Quadrat des Stoßkurzschlusstroms i_p und die thermische Beanspruchung ist vom Quadrat des Dauerkurzschlusstroms (Effektivwert) und dessen Dauer, also vom Wärmewert $i_k^2 \bullet t$, abhängig.

Schutzgeräte

Sicherungen

Die Schmelzzeit einer Sicherung wird üblicherweise im Zeit-Strom-Diagramm mit logarithmischer Teilung in Abhängigkeit vom Strom dargestellt. Die Schmelzzeit-Kennlinie verläuft vom kleinsten Schmelzsstrom, der den Schmelzeiter gerade noch zum Abschmelzen bringt, asymptotisch zu der Geraden gleicher Stromwärmewerte ($I^2 \bullet t$-Geraden). Diese Gerade gibt im Bereich hoher Kurzschlussströme den konstanten Schmelzwärmewert $I^2 \bullet t$ an.

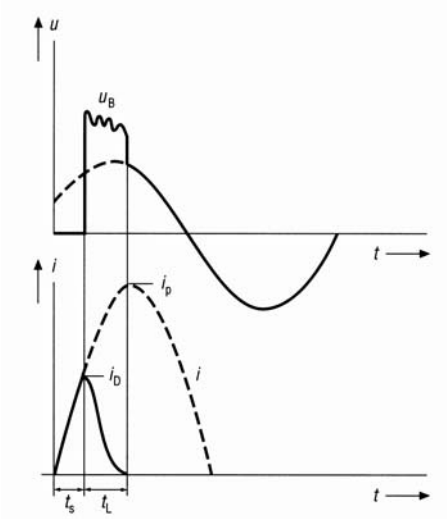


I_{min}: Kleinster Schmelzstrom
a: Zeit-Strom-Kennlinie
b: Ausschaltzeit-Kennlinie
c: I^2t-Gerade

Schmelzzeit-Strom-Kennlinie einer Sicherung der Betriebsklasse gL/gG.

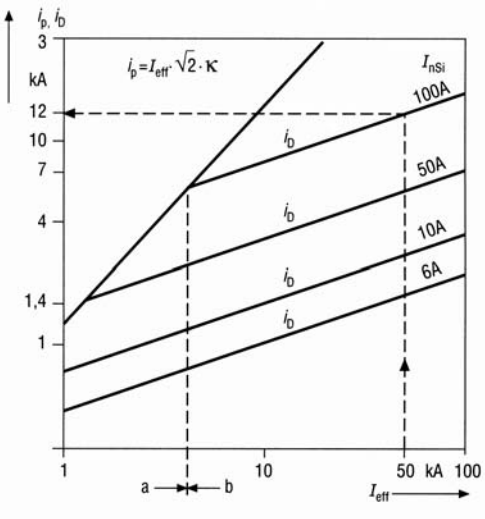
Die Schmelzzeit-Kennlinien sind bei Strömen bis etwa $20 \bullet I_n$ gleich den Ausschaltzeit-Kennlinien. Bei höheren Kurzschlussströmen entfernen sich die beiden Kennlinien voneinander. Die Differenz ergibt sich durch die jeweilige Löschzeit t_L, die außer vom Leistungsfaktor wesentlich von der Betriebsspannung und vom Ausschaltstrom abhängt.

Sicherungen schmelzen bei sehr hohen Strömen so rasch ab, dass der Stoßkurzschlussstrom i_p nicht mehr auftreten kann. Der höchste Augenblickswert des Stroms, der während des Ausschaltvorgangs erreicht wird, wird als Durchlassstrom i_D bezeichnet.



i_p: *Stoßkurzschlussstrom*
i_D: *Durchlassstrom*
t_s: *Schmelzzeit*
t_L: *Löschzeit*
u_B: *Lichtbogenspannung*

Oszillogramm einer Kurzschlussstrom-Abschaltung durch eine Sicherung.



I_{eff}: *unbeeinflusster Kurzschlussstrom*
I_{nSi}: *Sicherungsbemessungsstrom*
i_D: *Durchlassstrom*
i_p: *Stoßkurzschlussstrom*
a: nicht strombegrenzend
b: strombegrenzend
k: Stoßfaktor

Durchlassstrom-Diagramm von NH-Sicherungen Gr. 00 Betriebsklasse gL/gG, Bemessungsströme 6, 10, 50 und 100 A.

Die Strombegrenzung wird anhand von Durchlassstrom-Diagrammen angegeben. Sie beginnt ab dem unbeeinflussten Kurzschlussstrom I_{eff}, bei dem die Durchlassstromgerade i_D die Gerade des unbegrenzten Stroßkurzschlussstroms i_p schneidet. Durch ihre Strombegrenzung ist die Sicherung in der Lage, innerhalb eines kleinen Löschraums sehr hohe Kurzschlussströme zu beherrschen. Je stärker der Strom begrenzt ist, um so höher ist bei gleichem Löschraum das Ausschaltvermögen.

Hinweis:

Die wirksame Strombegrenzung und das damit verbundene sehr hohe Ausschaltvermögen macht Sicherungen zu unentbehrlichen Einrichtungen in der Kurzschlussschutztechnik.

Die Stromwärme, die beim Schmelzen aufgenommen wird, ist der Schmelz-I^2t_s-Wert. Dagegen bezeichnet man die Stromwärme, die bis zum Löschen des Lichtbogens aufgenommen wird, als Ausschalt-I^2t-Wert. Die I^2t-Werte der Sicherungen sind maßgebend für die Selektivität untereinander bei hohen Strömen und ein Maß für die thermische Belastung des Schutzobjekts wie zum Beispiel eine Leitung.

TIPP:

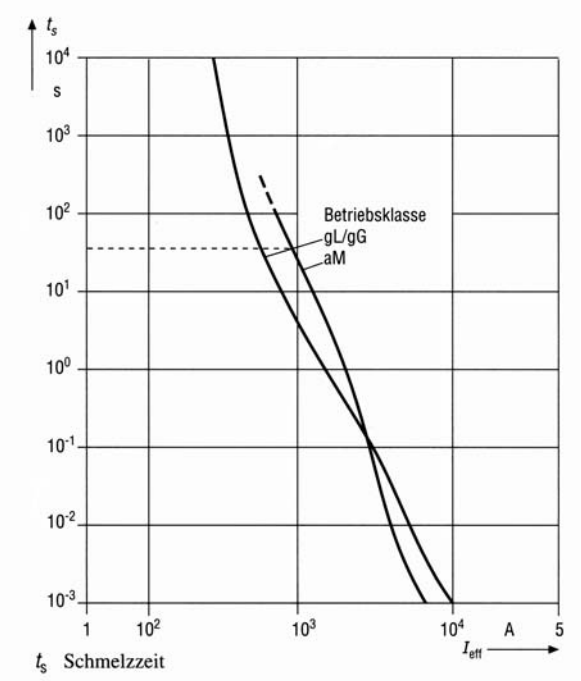
In der Praxis sind Sicherungen unterschiedlich hohen und vor allem wechselnden Umgebungstemperaturen ausgesetzt. Je nach Hersteller gilt es zu prüfen, in welchen Bereichen dieser Einfluss vernachlässigbar ist.

Eine geringe Bemessungsleistungsabgabe (Verlustleistung) senkt nicht nur die Betriebskosten, sondern erzeugt weniger Wärme, was sich äußerst günstig auf die immer enger werdenden Einbauverhältnisse auswirkt. Mit der geringeren Erwärmung werden auch gleichzeitig die äußeren Anschlüsse der NH-Sicherungsunterteile und damit auch die angeschlossenen Kabel und Leitungen thermisch weniger belastet.

Beachte:

Sicherungen werden vielfach zum Kurzschlussschutz von Motorleitungen verwendet. Hierbei treten betriebsmäßig Anlaufströme auf, die kurzzeitig den acht- bis zwölffachen Motorbemessungsstrom betragen können.

Niederspannungssicherungen werden nach Funktionsmerkmalen und nach ihrer Bauart klassifiziert. Die Funktionsklasse **g** (general purpose fuses) bezeichnet Ganzbereichssicherungen, die Ströme bis wenigstens zu ihrem Bemessungsstrom dauernd führen und Ströme vom kleinsten Schmelzstrom bis zum Bemessungsausschaltstrom ausschalten können. Hierunter fallen die Sicherungen gL/gG für den Kabel- und Leitungsschutz.
Die Funktionsklasse **a** (accompanied fuses) bezeichnet Teilbereichssicherungen, die Ströme bis wenigstens zu ihrem Bemessungsstrom dauernd führen und Ströme oberhalb eines bestimmten Vielfachen ihres Bemessungsstroms bis zum Bemessungsausschaltstrom ausschalten können. Dieser Funktionsklasse sind die Schaltgeräteschutzsicherungen der Betriebsklasse aM zuzuordnen, deren Ausschaltbereich oberhalb des vierfachen Bemessungsstroms beginnt und die daher allein dem Kurzschlussschutz dienen.



Schmelzzeit-Strom-Kennlinien von NH-Sicherungen. Bemessungsstrom 200 A, Betriebsklassen gL/gG und aM.

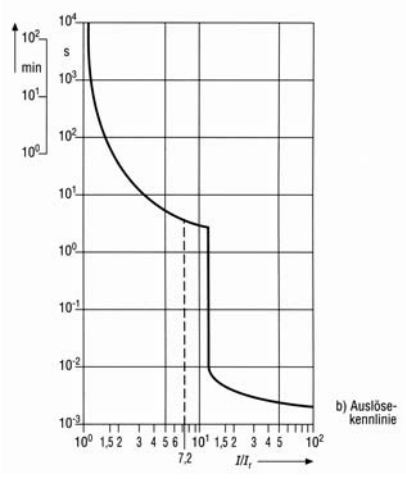
Leistungsschalter

Leistungsschalter dienen vor allem dem Kurzschlussschutz, aber auch dem Schutz gegen Überlast, Fehlerstrom und Unterspannung. Je nach Verwendungszweck haben sie in den Strombahnen Auslöser oder Relais. Die Auslöser sind Bestandteile der Schalter. Die Relais (z. B. die Thermistorschutz-Auslösegeräte) wirken dagegen elektrisch über Unterspannungs- oder Arbeitsstromauslöser auf die Schaltermechanik.

Aufgabe	Auslöser	Relais
Überlastschutz	Überlastauslöser stromabhängig thermisch verzögert oder elektronisch verzögert	Überlastrelais stromabhängig thermisch verzögert oder elektronisch verzögert Thermistorschutz-Auslösegeräte
Kurzschlussschutz	Überstromauslöser elektromagnetisch oder elektronisch unverzögert	Überstromrelais elektromagnetisch unverzögert
Selektiver Kurzschlussschutz	Überstromauslöser elektromagnetisch oder elektronisch kurzverzögert	—

Auslöser und Relais der Leistungsschalter mit Schutzfunktion.

Das Bemessungs-Kurzschlussausschaltvermögen I_{cn} und das Bemessungs-Kurzschlusseinschaltvermögen I_{cm} des Leistungsschalters muss mindestens dem an der Einbaustelle auftretenden unbeeinflussten Anfangs-Kurzschlusswechselstrom i_k'' sein. Ist dies nicht der Fall, sind z. B. Sicherungen vorzuschalten.
Leistungsschalter für Kurzschlussselektivität müssen in der Schließstellung den Augenblickswert des unbeeinflussten Kurzschlussstroms (Stoßkurzschlussstrom i_p) sowie den Kurzschlussstrom während der festgelegten Verzögerungszeit führen können.
Die stromabhängig verzögerten Überlastauslöser sind in einem bestimmten Strombereich einstellbar, gelegentlich auch auf einen festen Wert eingestellt. Mit dem Einstellstrom I_r ist die Auslösekennlinie festgelegt.



Leistungsschalter mit stromabhängig verzögertem Überlast- und unverzögertem elektromagnetischen Kurzschlussauslöser (a- und n-Auslöser).

Die elektromagnetisch unverzögerten Kurzschlussauslöser sind entweder fest eingestellt oder einstellbar, während die elektronischen Kurzschlussauslöser bei Siemens-Leistungsschaltern grundsätzlich einstellbar sind.

Beachte:

Der Ansprechwert, bei dem die Auslösung erfolgt, darf nach DIN VDE 0660 um ± 20 % vom eingestellten Wert abweichen.

Soll verhindert werden, dass nach einer Kurzschlussauslösung mit dem Schalter unbeabsichtigt auf den noch bestehenden Kurzschluss geschaltet wird, werden Schalter mit mechanischer Wiedereinschaltsperre verwendet.

Anwendungen, vorzugsweise bei der Kurzschlussstromauslösung	Verzögerungsart	Ansprechbereiche des stromabhängig verzögerten Überlastauslösers als Vielfaches des Einstellwerts I_r
Leistungsschalter für den Generatorschutz	unverzögert oder kurzverzögert	etwa 3 bis 6 • I_r
Leistungsschalter für den Leitungsschutz	unverzögert	etwa 6 bis 12 • I_r
Leistungsschalter für den Motorschutz	unverzögert oder kurzverzögert [1)]	etwa 8 bis 15 • I_r

[1)] Evtl. kurzverzögert zur Rushstromüberbrückung

Ansprechbereiche der Kurzschlussauslöser (nach DIN VDE 0660 Teil 101).

Der Unterspannungsauslöser wird zum Überwachen der Spannung, zu Verriegelungsschaltungen und zum Fernauslösen verwendet. Er muss den Schalter auslösen, wenn die Bemessungssteuerspeisespannung U_s auf einen Bereich absinkt, der einer Betätigungsspannung U_c zwischen 0,35 bis 0,7 • U_s entspricht.
Wird die Steuerspannung U_s vom Netz genommen, löst der Schalter bei Zusammenbruch oder Ausfall der Netzspannung unverzögert aus.
Unterspannungsauslöser mit Verzögerung verhindern, dass in leistungsschwachen Netzen bei jeder kurzzeitigen Spannungsabsenkung der Schalter auslöst. Die Verzögerung wird durch ein Verzögerungsgerät erreicht. Durch Öffnen der Verbindung zwischen Verzögerungsgerät und Unterspannungsauslöser kann auch unverzögert ausgeschaltet werden.

Der Arbeitsstromauslöser dient zum Fernauslösen des Leistungsschalters. Sein Arbeitsbereich liegt zwischen 0,5 und 1,1 • U_s. Hierfür steht eine Auslösekombination zur Verfügung, die aus einem Arbeitsstromauslöser normaler Ausführung und einem getrennten Speichergerät besteht. Die Kapazität der Kondensatoren des Speichergeräts ist so bemessen, dass die Betriebsbereitschaft des Auslösers bei voller Aufladung des Kondensators noch vier bis fünf Minuten nach einem völligen Zusammenbruch der Netzspannung erhalten bleibt.

Leitungsschutzschalter (LS-Schalter)

Leitungsschutzschalter dienen in erster Linie dem Schutz von Kabeln und Leitungen gegen Überlast und Kurzschluss. Unter bestimmten Voraussetzungen gewährleisten LS-Schalter im TN-System auch den Schutz gegen gefährliche Körperströme bei zu hoher Berührungsspannung durch Isolationsfehler.
LS-Schalter finden ihren Einsatz in allen Verteilungsnetzen sowohl im Wohn- und Zweckbau als auch in der Industrie. Deshalb gibt es unterschiedliche Ausführungen und umfassendes Zubehör. Für den jeweils vorliegenden Anwendungsfall stehen vier Auslösecharakteristiken A, B, C und D zur Verfügung.

- Auslösecharakteristik A eignet sich besonders für den Schutz von Wandlern in Messkreisen, für Stromkreise mit großen Leitungslängen und der Forderung nach Abschaltung innerhalb 0,2 s nach DIN VDE 0100 Teil 410.
- Auslösecharakteristik B ist die Standardcharakteristik für Steckdosenkreise im Wohn- und Zweckbau.
- Auslösecharakteristik C ist beim Einsatz von Betriebsmitteln mit höheren Einschaltströmen wie z. B. Lampen und Motoren von Vorteil.
- Auslösecharakteristik D ist an stark impulserzeugende Betriebsmittel wie Transformatoren, Magnetventile oder Kondensatoren angepasst.

Hinweis:

Ein wesentliches Leistungsmerkmal der LS-Schalter ist neben der Kennlinientreue das Bemessungsschaltvermögen. Die Einteilung erfolgt in Schaltvermögensklassen.

Laut den technischen Anschlussbedingungen (TAB) der deutschen Energieversorgungsunternehmen (EVU) dürfen in Haushalts- und Zweckbauverteilern nach dem Zähler aus Selektivitätsgründen nur LS-Schalter mit einem Bemessungsschaltvermögen von mindestens 6.000 A und der Energiebegrenzungsklasse 3 eingesetzt werden.

Überlastrelais

Überlastrelais werden zum Schutz elektrischer Betriebsmittel wie Drehstrommotoren und Transformatoren gegen unzulässig hohe Erwärmung eingesetzt. Dabei wird der vom Betriebsmittel aufgenommene Strom allpolig vom Überlastrelais überwacht.

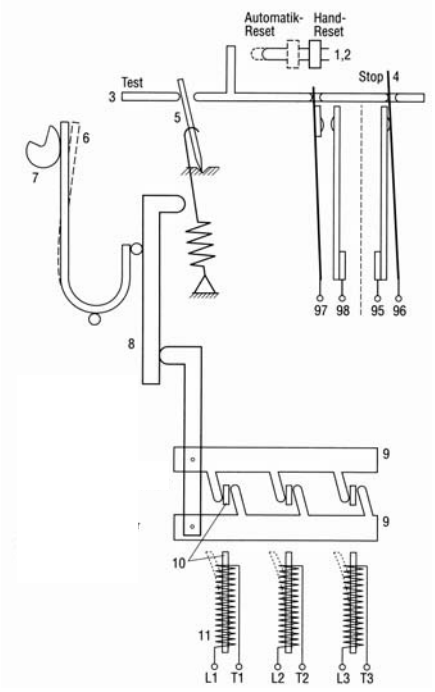
Hinweis:

Eine zu hohe Erwärmung von Motoren kann z. B. durch Überlastung an der Antriebswelle, unsymmetrische Stromaufnahme infolge einer Spannungsunsymmetrie im Netz oder bei Ausfall einer Phase (Netzzuleitung) sowie bei blockiertem Läufer auftreten.

Überlastrelais stehen als stromabhängige Schutzeinrichtungen nach dem Bimetallprinzip oder als elektronische Geräte zur Verfügung.
Stromabhängig verzögerte thermische Überlastrelais haben in der Regel drei Bimetallstreifen. Diese Bimetallstreifen werden über Heizelemente, die vom Motorstrom durchflossen werden, indirekt aufgeheizt.

TIPP:

Für sehr große Motorbemessungsströme (über 200 A) sind solche Heizelemente nicht mehr sinnvoll; dann wird der Motorstrom besser über Stromwandler geführt. Dadurch wird das thermische Überlastrelais nur noch durch den Sekundärstrom des Stromwandlers beheizt. Damit wird Verlustleistung eingespart und die Kurzschlussfestigkeit erhöht.



1 *Hand-Automatik-Resetverstellung*
2 *Reset-Taste*
3 *Test-Schieber*
4 *Stopp-Taste*
5 *Schaltwippe*
6 *Temperaturkompensation*
7 *Einstellknopf*
8 *Auslösehebel*
9 *Differentialschieber*
10 *Bimetallstreifen*
11 *Heizwicklung*

Prinzip eines dreipoligen Überlastrelais mit Temperaturkompensation. Hand- bzw. Automatik-Reset und Phasenausfallempfindlichkeit.

Werden die drei Bimetallstreifen durch den Motorstrom in den Heizwicklungen L1 bis L3 erwärmt, lenken sie den Schieber aus. Der Schieber wirkt über Kompensationsstreifen und Auslösehebel auf die Schaltwippe. Im nicht ausgelösten Zustand ist der Öffner (95 - 96) geschlossen und der Schließer (97 - 98) geöffnet. Bei einer Überlast wird der Auslösehebel so weit ausgelenkt, bis die Schaltwippe umschaltet und der Öffner (95 - 96) geöffnet und der Schließer (97 - 98) geschlossen wird. Eine Schaltstellungsanzeige signalisiert den Zustand ausgelöst.
In der Hand-Reset-Stellung der Entriegelungstaste kippt die Schaltwippe über ihre Totpunktlage hinaus (Wiedereinschaltsperre)
Nach ausreichender Abkühlung der Bimetallstreifen lässt sich die Schaltwippe durch Drücken der Reset-Taste wieder über ihre Totpunktlage zurückschalten.

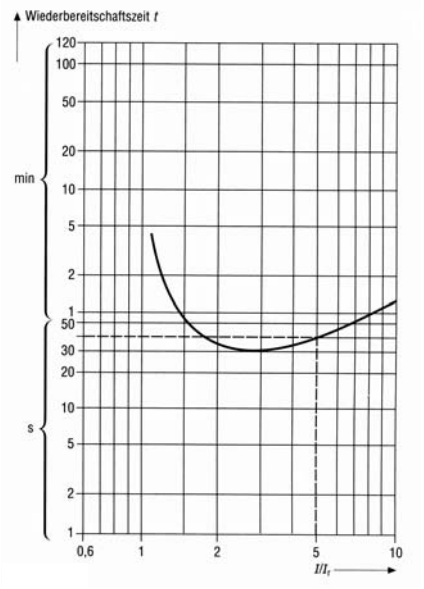
In der Automatik-Reset-Stellung der Entriegelungstaste werden bei Überlast zwar der Öffner geöffnet und der Schließer geschlossen, die Schaltwippe kann jedoch nicht über ihre Totpunktlage hinauskippen. Bei Abkühlung der Bimetallstreifen schaltet die Schaltwippe automatisch zurück.

Die Überlastrelais sind mit einem Drehknopf versehen, mit dem ein bestimmter Wert, der Einstellstrom I_r, innerhalb eines Strombereichs, des Einstellbereichs, stufenlos eingestellt werden kann.
Überlastrelais mit Stromwandler müssen bei getrennter Aufstellung von Stromwandler und Auslöserelais auf die Punktmarkierung eingestellt weden. Hierdurch erfolgt ein Ausgleich der unterschiedlichen thermischen Beeinflussungen zwischen beiden Aufstellungsarten.

Thermisch verzögerte Überlastrelais benötigen nach einer Auslösung eine bestimmte Zeit, bis die Bimetallstreifen wieder abgekühlt sind. Erst danach lässt sich das Relais wieder zurücksetzen. Diese Zeitspanne wird als Wiederbereitschaftszeit bezeichnet. Diese lässt sich anhand entsprechender Kennlinien ermitteln.

Beachte:

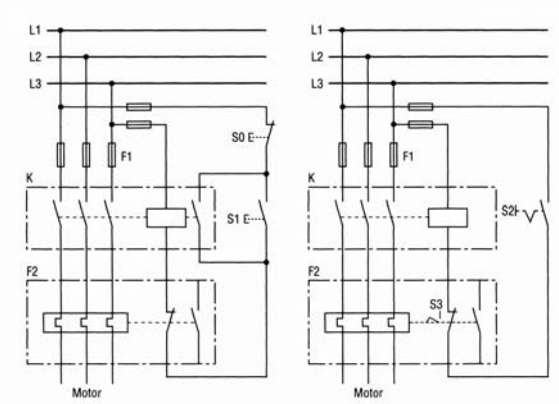
Die Wiederbereitschaftszeit reicht nicht immer aus, den Motor soweit abkühlen zu lassen, dass eine erneute Einschaltung zulässig ist.



Wiederbereitschaftszeit thermisch verzögerter Überlastrelais in Abhängigkeit von Auslöse- und Einstellstrom.

TIPP:

Überlastrelais mit Automatik-Reset sollten aus Sicherheitsgründen nur in Schaltungen verwendet werden, deren Schütze mit Taster betätigt werden. Nach der Wiederbereitschaftszeit geht der Öffner des Hilfsschalters des Relais zwar in seine Ausgangslage zurück, der Steuerstromkreis bleibt jedoch durch die Taste S1 offen.



a) Taster-Betätigung, Relais ohne Wiedereinschalt-sperre (Automatik-Reset)

b) Dauerkontakt-betätigung, Relais mit Wiedereinschalt-sperre (Hand-Reset)

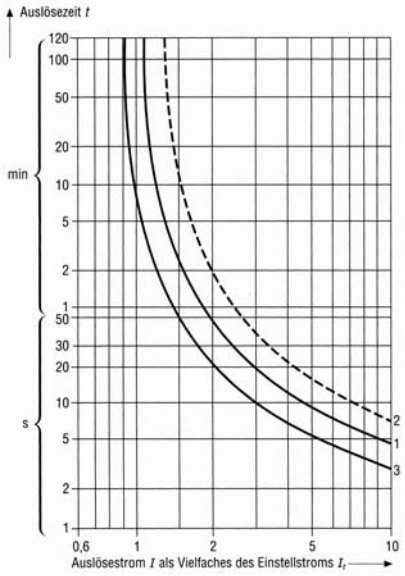
F1: Sicherung
F2: Thermisch verzögertes Überlastrelais
K: Schütz
S0: Aus-Taster
S1: Ein-Taster
S2: Dauerkontaktgeber
S3: Druckknopf zum Entriegeln der Wiedereinschaltsperre

Anwendungsbeispiele für Überlastrelais mit Automatik- und mit Hand-Reset.

TIPP:

Überlastrelais mit Hand-Reset dürfen auch in Schaltungen mit Dauerkontaktgabe der Schütze verwendet werden. Der Hilfsschalter des Relais und damit der Steuerstromkreis bleiben auch offen, wenn andere Befehlsgeber oder Wächter wie Positionsschalter, Druckwächter, Schwimmwächter oder Thermowächter geschlossen sind.

Über einen Testschieber am Überlastrelais lässt sich die Verdrahtung des Steuerstromkreises überprüfen.
Entsprechende Auslösekennlinien geben die Abhängigkeit der Auslösezeit vom Auslösestrom als Vielfaches des Einstellstroms I_r wieder.
Der kleinste Strom, bei dem eine Auslösung erfolgt, wird Auslösestrom genannt. Die Auslöseklasse legt die Auslösezeit bei symmetrischer dreipoliger Belastung aus kaltem Zustand mit dem 7,2-fachen Einstellstrom I_r fest.



1: Symmetrische dreipolige Belastung aus kaltem Zustand
2: Zweipolige Belastung aus kaltem Zustand, Relais ohne Phasenausfallempfindlichkeit
3: Zweipolige Belastung aus kaltem Zustand, Relais mit Phasenausfallempfindlichkeit
I_r: Einstellstrom des Überlastrelais

Auslösekennlinien dreipoliger Überlast-relais für Normalanlauf (Mittelwerte).

Sollen Einphasen-Wechselstrom- oder Gleichstromverbraucher mit einem thermisch verzögerten Überlastrelais geschützt werden, müssen alle drei Bimetallstreifen eines Relais beheizt werden. Deshalb sind Hauptstrombahnen des Relais in Reihe zu schalten (Kennlinie 1).
Ein betriebswarmer Motor hat zwangsläufig eine weitaus geringere Wärmereserve als ein Motor in kaltem Zustand. Dem trägt das Verhalten der Überlastrelais Rechnung. Wird das Überlastrelais längere Zeit mit dem Einstellstrom I_r belastet, verringern sich die Auslösezeiten auf etwa ein Viertel.

Die Auslösezeiten liegen bei:

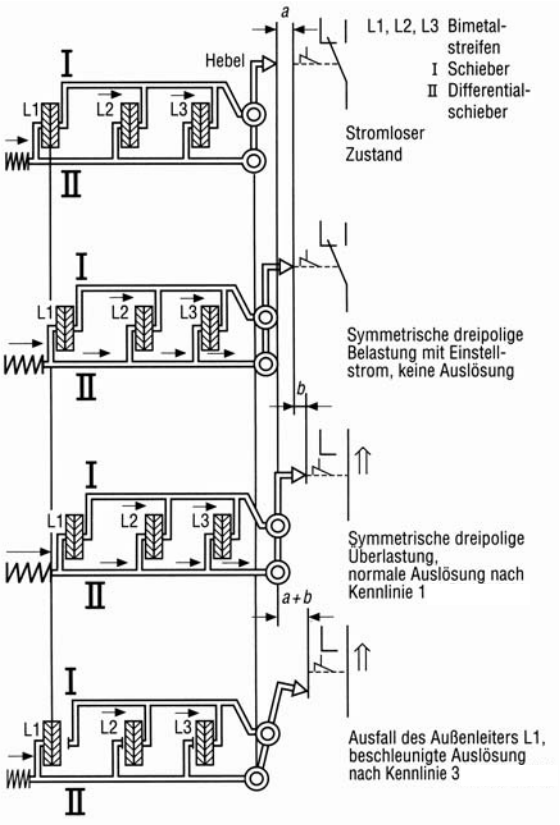
CLASS 10A	zwischen 2 ... 10 s	Normalanlauf
CLASS 10	zwischen 4 ... 10 s	Normalanlauf
CLASS 20	zwischen 6 ... 20 s	Schweranlauf
CLASS 30	zwischen 9 ... 30 s	Schweranlauf

Hinweis:

Eine Temperaturkompensation reduziert den Einfluss der Umgebungstemperatur auf das Auslöseverhalten des Relais.

Die Auslösekennlinie eines dreipoligen Überlastrelais gilt unter der Voraussetzung, dass alle drei Bimetallstreifen gleichzeitig mit dem gleichen Strom belastet werden. Werden bei Unterbrechung eines Außenleiters nur zwei Bimetallstreifen beheizt, müssen diese zwei Streifen allein die zur Betätigung des Auslösemechanismus erforderliche Kraft aufbringen. Dies erfordert einen höheren Strom bzw. führt zu einer längeren Auslösezeit (Kennlinie 2).
Wird der Motor mit diesen höheren Strömen längere Zeit beansprucht, muss mit einem Schaden gerechnet werden. Um auch bei Netzunsymmetrie und Ausfall einer Phase den thermischen Überlastschutz des Motors sicherzustellen, sind Überlastrelais mit einer zusätzlichen Phasenausfallempfindlichkeit versehen. Diese besitzen hierfür zusätzlich einen Differentialschieber. Die beiden Schieber sind mit einem Hebel gelenkig miteinander verbunden.
Bei symmetrischer dreipoliger Belastung mit 1,0-fachem Einstellstrom I_r lenken alle drei Bimetallstreifen um den Weg a aus. Beide Schieber bewegen sich gleichzeitig um den gleichen Weg a, so dass die senkrechte Stellung des Hebels erhalten bleibt. Es erfolgt keine Auslösung.
Bei symmetrischer dreipoliger Überlast vergrößern die Bimetallstreifen ihre Auslenkung um den weiteren Weg b. Die senkrechte Stellung des Hebels bleibt weiterhin infolge der gleichmäßigen Auslenkung der Bimetallstreifen erhalten: die Auslösung erfolgt entsprechend der Auslösekennlinie 1 bei dreipoliger symmetrischer Belastung.
Ist der Außenleiter L1 stromlos, so ist es damit auch der zugeordnete Bimetallstreifen. Tritt diese Störung während des Betriebs auf, kühlt der Bimetallstreifen L1 ab und bewegt sich in Richtung seiner Ruhelage, die er im kalten

Zustand einnimmt. Dadurch wird der Schieber II und mit ihm der untere Drehpunkt des Hebels ebenfalls auf die Ruhestellung zu bewegt. Die beheizten Bimetallstreifen L2 und L3 bewegen dagegen den Schieber I in Auslöserichtung. Der Hebel dreht sich dabei um seinen Drehpunkt im Schieber II. Die Hebelspitze bewegt sich hierbei infolge des Hebelübersetzungsverhältnisses beschleunigt in Auslöserichtung. Die Auslösung erfolgt, wenn die Hebelspitze den Weg a+b durchlaufen hat, und zwar beschleunigt nach der Auslösekennlinie 3.

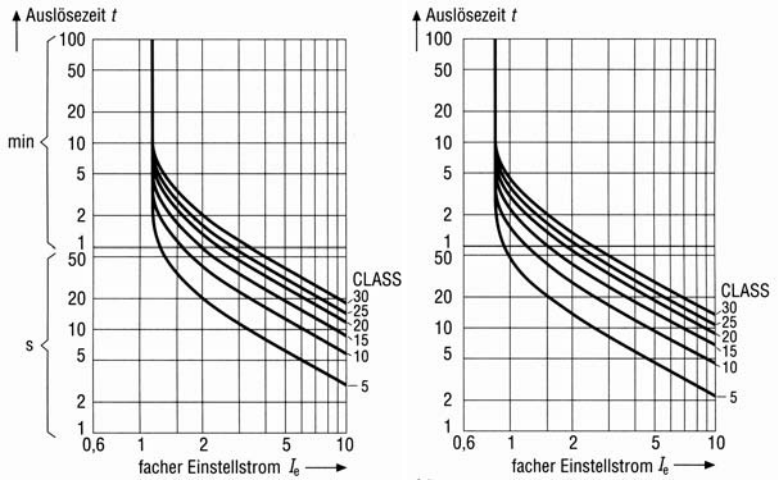


Wirkungsweise eines dreipoligen Überlastrelais mit Phasenausfallempfindlichkeit.

Elektronische Überlastrelais

Bei elektronisch verzögerten Überlastrelais wird der aktuell fließende Motorstrom in jedem Außenleiter über die im Gerät integrierten Stromwandler erfasst. Dieser Strom wird in eine proportionale Spannung umgewandelt, gleichgerichtet und über einen Analog-Digital-Umsetzer dem nachgeschalteten Mikroprozessor zugeführt. Dieser verarbeitet die Signale nach einem festgelegten Programm und gibt einen Impuls an das Auslöserelais sobald eine Überlastung des Motors auftritt.
Elektronische Relais erfassen auch unsymmetrische Stromaufnahmen des Motors. Bei einer Unsymmetrie des Motorstroms von ca. 40 % wird nach der Kennlinie für zweipolige Belastung vorzeitig ausgelöst. Damit ist auch bei Phasenausfall eine Überlastung des Motors ausgeschlossen.

Auslösekennlinien für elektronische Überlastrelais der CLASS 5 bis CLASS 30.



a) Auslösekennlinien für dreipolige symmetrische Belastung.

b) Auslösekennlinien für zweipolige symmetrische Belastung.

Beachte:

Die elektronischen Überlastrelais sind für den Schutz von Drehstrom-Asynchronmotoren ausgelegt. Sollen diese Relais für den Schutz von Einphasenmotoren verwendet werden, muss sichergestellt sein, dass der Mikroprozessor nur einen Außenleiter berücksichtigt. Deshalb müssen die Hauptstrombahnen entsprechend der Betriebsanleitung des elektronischen Überlastrelais an die Stromwandler angeschlossen werden.

Zusätzlich zum Überlastschutz bietet das elektronische Überlastrelais noch die Möglichkeit der Temperaturüberwachung der Motorwicklungen durch den Anschluss eines Kaltleiter-Fühlerkreises. Der Anschluss des Thermistors ist drahtbruchsicher, weil das Gerät bei geöffneten Anschlussklemmen oder bei einem Drahtbruch der Zuleitung auslöst.

Weiterhin bieten elektronische Überlastrelais unterschiedliche Möglichkeiten der Erdschlussüberwachung:

- Erkennung von Fehlerströmen ≥ 30 % vom Einstellstrom I_e im Nennbetrieb durch interne Erdschlusserfassung.
- Erkenung von Fehlerströmen ≤ 0,3 A, ≤ 0,5 A und ≤ 1 A durch externe Erdschlusserfassung über Summenstromwandler, die an das elektronische Überlastrelais direkt angeschlossen werden können.

Bezüglich des Verhaltens der Hilfsschaltglieder bei Spannungsausfall unterscheiden sich die Überlastrelais in ihrem Auslöseverhalten:

- Monostabile Überlastrelais:
  Monostabile Überlastrelais gehen bei Ausfall der Steuerspannung in die Stellung "ausgelöst" und nehmen bei wiederkehrender Spannung den ursprünglichen Zustand vor Ausfall der Steuerspannung wieder an. Ein kurzzeitiger

Spannungsausfall bis 200 ms bewirkt keine Zuständsänderung der Hilfsschaltglieder. Diese Geräte werden in Anlagen eingesetzt, in denen die Steuerspannung nicht besonders überwacht wird.

- Bistabile Überlastrelais:
  Bistabile Überlastrelais ändern bei Ausfall der Steuerspannung ihren Zustand "ausgelöst" oder "nicht ausgelöst" nicht. Nur im Überlastfall schalten die Hilfsschaltglieder bei anliegender Versorgungsspannung um. Diese Geräte werden in Anlagen eingesetzt, bei denen die Steuerspannung getrennt überwacht wird.

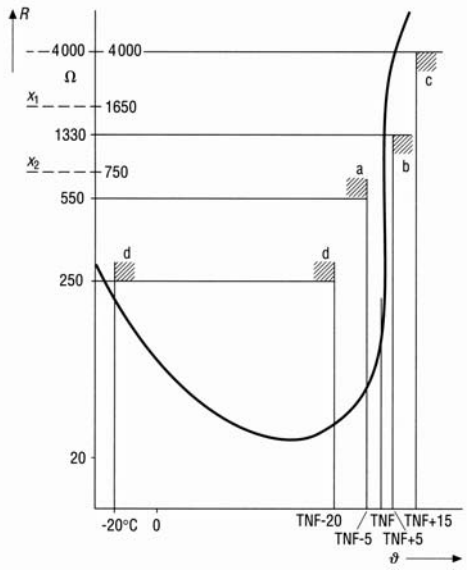
Die Hauptstrombahnen werden an Überlastrelais mit Einstellstrombereichen bis 100 A nicht angeschlossen, sondern einfach durch die im Überlastrelais befindlichen Stromwandler durchgeführt. Hierdurch wird die Verlustleistung an den Übergangswiderständen der Klemmstellen vermieden.

TIPP:

Es gibt auch elektronische Überlastrelais, die Motoren in Abzweigen mit Sanftstartern schützen, weil die Stromerfassung oberschwingungsunempfindlich ist.

Thermistor-Motorschutzgeräte

Kaltleiterfühler sind Widerstände mit einem sehr hohen positiven Widerstands-Temperatur-Koeffizienten. Sie werden vorwiegend in Motoren der Serienfertigung eingebaut. Der Widerstandsanstieg um mehrere Zehnerpotenzen bei Temperaturveränderungen von 10 K ist für Kaltleiter charakteristisch. Kaltleiter werden daher auch PTC-Thermistoren (Positiver Temperaturkoeffizient) genannt. Die Nennansprechtemperatur (TNF) der Fühler im Motor wird der jeweiligen Isolierstoffklasse sowie dem Typ und der Bauart des Motors zugeordnet. Bei Überschreitung der

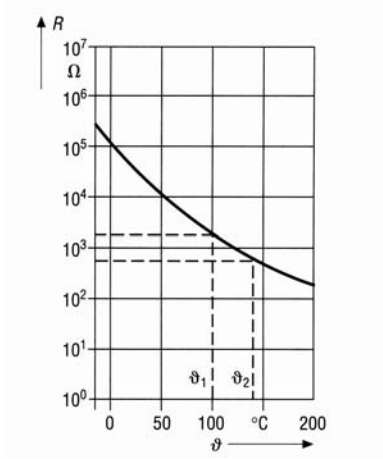


R: Widerstand im Fühlerkreis
θ: Temperatur
x_1: Auslösebereich der Auslösegeräte
x_2: Wiedereinschaltbereich der Auslösegeräte
TNF: Bemessungsansprechtemperatur, Toleranzgrenze in °C

Widerstands-Temperatur-Kennlinie eines Typ-A-Kaltleiter-Temperaturfühlers mit Kennlinie nach DIN VDE 0660 Teil 303.

zulässigen Temperatur bewirken die Fühler infolge ihrer sprunghaften Widerstandserhöhung in einem getrennten Auslösegerät einen Schaltbefehl, der zum Ausschalten des Motorschalters oder auch nur zum Melden benutzt wird. Sollen vor dem endgültigen Abschalten des Motors Warnmeldungen erfolgen, werden zusätzlich drei weitere Fühler mit niedrigerer TNF in die Motorwicklung eingebaut.

θ_1/θ_2:Einstellbare Ansprechwerte des Auslösegeräts
R: Widerstand im Fühlerkreis



Widerstands-Temperatur-Kennlinie eines Heißleiter-Temperaturfühlers (NTC-Thermistor).

Darüber hinaus gibt es Thermistor-Motorschutzgeräte mit Heißleiterfühlern. Heißleiter sind elektrische Widerstände mit negativem Temperaturkoeffizienten. Sie werden auch als NTC-Thermistoren (Negativer Temperaturkoeffizient) bezeichnet. Sie werden vorwiegend in Motoren der Einzelfertigung eingesetzt.
Im Gegensatz zu den Metallen nimmt ihr Widerstand mit steigender Temperatur stark ab. Der Thermistor-Motorschutz mit Heißleiterfühlern wird dann angewendet, wenn das Temperaturbild des Motors vor der Fertigung und Prüfung noch nicht bekannt ist und die Ansprechtemperaturen der Schutzeinrichtung erst an der fertiggestellten Maschine ermittelt werden müssen.

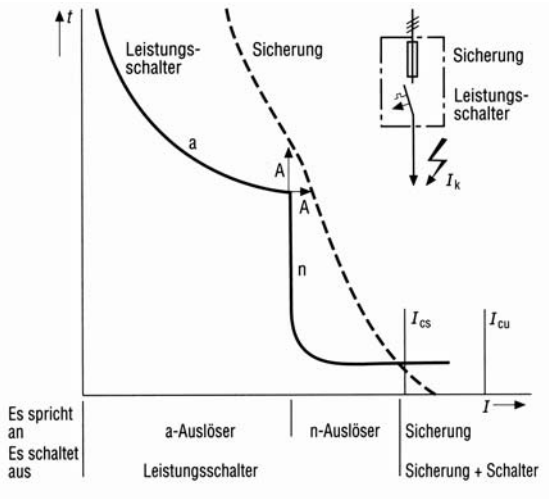
Schaltkombinationen

In den seltensten Fällen können Schaltgeräte auch eventuell auftretende Kurzschlüsse im Einbauort schalten. Deshalb müssen sie in Kombination mit Kurzschlussschutzeinrichtungen eingesetzt werden. Solche Schaltkombinationen werden Verbraucherabzweig oder Motorabzweig genannt.
Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten, das Schaltgerät vor den Auswirkungen von Kurzschlüssen zu schützen:

1. Die Schutzeinrichtung allein hat ein Ausschaltvermögen, das gleich oder größer als der Kurzschlussstrom an der Einbaustelle ist.
2. Die gemeinsame Schaltkombination aus Schaltgerät und Kurzschlussschutzeinrichtung erfüllt die Forderungen bezüglich des Ausschaltvermögens.

Ist an der Einbaustelle des Leistungsschalters ein Kurzschlussstrom zu erwarten, der das Bemessungskurzschlussausschaltvermögen des Leistungsschalters übersteigt, schaltet man ihm Sicherungen vor. Um sicherzustellen, dass dabei das

Schaltstücksystem des Leistungsschalters nicht beschädigt wird, sind die Eigenschaften beider Schutzeinrichtungen sorgfältig aufeinander abzustimmen. Die Sicherung muss hierbei vor dem Strom, der dem Bemessungskurzschlussausschaltvermögen des Leistungsschalters entspricht, die Abschaltung übernehmen. Jeder Schutzeinrichtung ist ein bestimmter Schutzbereich zugeordnet. Überlastströme überwacht der stromabhängig verzögerte Überlastauslöser (a-Auslöser). Kurzschlussströme bis etwa zum Bemessungskurzschlussausschaltvermögen des Leistungsschalters erfasst der unverzögerte elektromagnetische Kurzschlussauslöser (n-Auslöser).



a: Stromabhängig verzögerter Überlastauslöser
n: Unverzögerter elektromagnetischer Kurzschlussauslöser
I_k: Dauerkurzschlussstrom an der Einbaustelle
A: Kennlinienabstände
I_{cu}: Bemessungsgrenzkurzschlussausschaltvermögen
I_{cs}: Bemessungsbetriebskurzschlussausschaltvermögen

Schaltkombination aus Sicherung und Leistungsschalter.

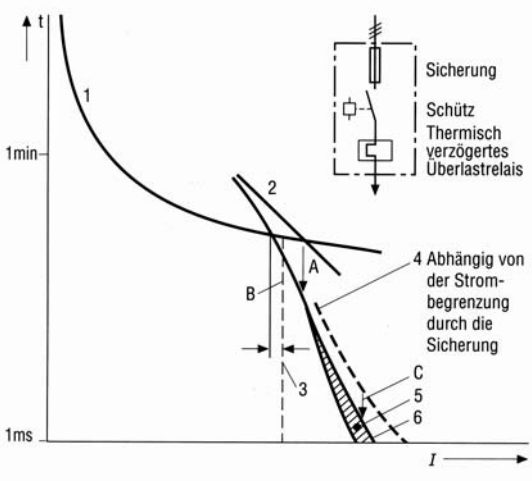
Alle Überströme etwa bis zum Bemessungskurzschlussausschaltvermögen schaltet der Leistungsschalter allein aus, sodass bis dahin seine spezifischen Eigenschaften, nämlich allpoliges Ausschalten und Wiedereinschaltbereitschaft, genutzt werden können. Nur bei höheren Kurzschlussströmen übernimmt die Sicherung alleine die Kurzschlussabschaltung. Aber auch hierbei gewährleistet der Leistungsschalter, ausgelöst durch seine n-Auslöser, eine allpolige Ausschaltung. Dies trifft auch zu, wenn bei einem einpoligen Erdschluss nur eine der drei Sicherungen abschaltet.

Schütze werden überwiegend zum Schalten von Motoren verwendet. Den Überlastschutz des Motors, der Motorzuleitung und des Schützes übernimmt das Überlastrelais, während die Sicherung den Kurzschlussschutz der Geräte einschließlich des Motors und der Motorzuleitung übernimmt. Hierbei müssen die Wirkungsbereiche und Eigenschaften aller Komponenten sorgfältig aufeinander abgestimmt sein:

- Die Zeit-Strom-Kennlinien des Überlastrelais und der Sicherung müssen so träge sein, dass der Motor hochlaufen kann.
- Die Sicherung muss das Überlastrelais vor Zerstörung durch Ströme schützen, die etwa den 15-fachen Relais-Bemessungsstrom übersteigen (gilt für Siemens-Fabrikate)
- Die Sicherung muss das Ausschalten von Überströmen übernehmen, die das Schütz nicht mehr beherrschen kann (Ströme über ca. 12-fachem Bemessungsbetriebsstrom I_e/AC-3 des Schützes).

- Die Sicherung muss das Schütz im Kurzschlussfall schützen. Hierbei können zwei Gesichtspunkte berücksichtigt werden. Es dürfen keine Schützkontaktverschweißungen auftreten oder es werden leichte, aufbrechbare Kontaktverschweißungen in Kauf genommen.

1 Auslösekennlinie des stromabhängig verzögerten (thermischen) Überlastrelais
2 Zerstörungskennlinie des thermischen Überlastrelais
3 Ausschaltvermögen des Schützes
4 Kennlinie des Schützes für leicht aufbrechbares Verschweißen der Schaltstücke
5 Schmelzzeitkennlinie der Sicherung, Betriebsklasse aM
6 Gesamtausschaltzeit-Kennlinie der aM-Sicherung
A Sicherheitsabstände bei
B einwandfreiem
C Kurzschlussschutz



Kennlinien einer Schaltkombination von aM-Sicherung, Schütz und Überlastrelais.

Zuordnungsart 1:
Das Schütz und Überlastrelais (Starter) darf im Kurzschlussfall Personen und Anlage nicht gefährden und braucht für den weiteren Betrieb nicht geeignet zu sein. Das Schütz und/oder das Überlastrelais muss, falls möglich, repariert oder ausgetauscht werden.

Zuordnungsart 2:
Das Schütz und Überlastrelais (Starter) darf im Kurzschlussfall Personen und Anlage nicht gefährden und muss für den weiteren Gebrauch geeignet sein. Die Gefahr der Kontaktverschweißung ist gegeben. In diesem Fall muss der Hersteller Wartungsanweisungen geben, z. B. Aufbrechen der Schaltstücke mit einem Schraubendreher oder falls dies nicht möglich ist, Austauschen des Schützes.

Niederspannungs-Schaltanlagen, die überwiegend Motoren zu versorgen und zu steuern haben, sogenannte Motor Control Center (MCC), werden häufig aus platz- und betriebstechnischen Gründen mit Motorabzweigen ohne NH-Sicherungen ausgerüstet. Der Einsatz dieser "sicherungslosen Bauweise" ist jedoch von den Schutzanforderungen für die Verbraucher abhängig und sollte in jedem Einzelfall überprüft werden.

In der Kombination aus Leistungsschalter und Schütz übernimmt der Leistungsschalter den Kurzschluss- und den Überlastschutz. Der stromabhängig verzögerte Überlastauslöser a des Leistungsschalters wird auf den Verbraucherstrom, und der unverzögerte elektromagnetische Kurzschlussauslöser n ist im Normalfall auf einen bestimmten, für den Leistungsschalter festgelegten Kurzschlussstrom fest eingestellt. Das Schütz übernimmt die Schaltaufgabe und unterstützt durch seine "Limiter-Funktion" im Kurzschlussfall den Leistungsschalter bei der Kurzschlussabschaltung.

Beachte:

Leistungsschalter weisen im Kurzschlussfall höhere Durchlasswerte (I^2t-Werte) auf als eine Sicherung, wodurch das nachgeschaltete Schütz höher belastet wird. Das bedeutet, dass Sicherungen nicht einfach durch Leistungsschalter ersetzt werden können.

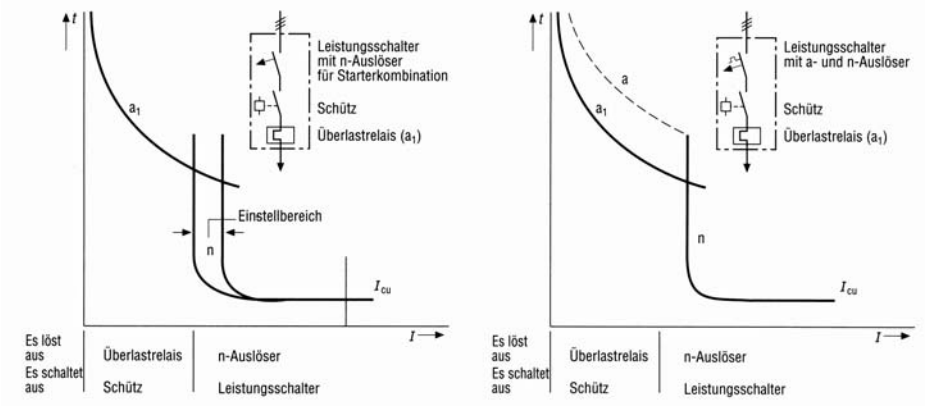
Sicherungslose Schaltkombinationen werden im Allgemeinen für Kurzschlussströme bis maximal 50 kA ausgelegt. Dadurch ist gewährleistet, dass in Schaltanlagen und Verteilern, die über Kabelstrecken mit der Hauptschaltanlage verbunden sind, in den meisten Fällen sicherungslose Schaltkombinationen eingesetzt werden können. An Einbauorten, an denen höhere Kurzschlussströme zu erwarten sind, müssen sicherungsbehaftete Schaltkombinationen eingesetzt werden. Schmelzsicherungen besitzen ein Grenzkurzschlussausschaltvermögen von bis zu 120 kA.
In einigen Einsatzfällen werden sicherungslose Schaltkombinationen benötigt, die neben Leistungsschalter und Schütz noch ein zusätzliches Überlastrelais enthalten müssen. Mögliche Gründe dafür sind:

- Für die Betriebsführung werden getrennte Meldungen bei Kurzschluss- und Überlastauslösung gefordert. Der Leistungsschalter übernimmt die Kurzschlussauslösung und dessen Meldung. Das Überlastrelais übernimmt die Überlastauslösung und dessen Meldung. Das Schütz übernimmt die Schaltaufgabe.
- Leistungsschalter für kleinere Betriebsbemessungsströme ($I \leq 100$ A) besitzen im Allgemeinen CLASS 10 und sind für Motoranlaufzeiten ≤ 10 s ausgelegt. Bei schweranlaufenden Motoren mit Anlaufzeiten bis 30 s werden deshalb Überlastrelais mit entsprechender CLASS eingesetzt.

Dabei können zwei Ausführungen zum Einsatz kommen:

- Leistungsschalter für Starter-Kombinationen. Diesen Leistungsschaltern fehlt der Überlastauslöser a. Bei Überlast löst das Überlastrelais aus.
- Leistungsschalter für Motorschutz. Der Überlastauslöser a des Leistungsschalters wird auf einen hohen Wert eingestellt, damit das Überlastrelais im Überlastfall auslöst.

Als Überlastrelais können thermische und elektronische Geräte verwendet werden.



a)
Schaltkombination aus Leistungsschalter mit n-Auslöser, Schütz und Überlastrelais.

b)
Leistungsschalter mit a- und n-Auslöser, Schütz und Überlastrelais

a: Kennlinie des stromabhängig verzögerten Auslösers des Leistungsschalters
a_1: Kennlinie des stromabhängig verzögerten (thermischen) Überlastrelais
n: Kennlinie des einstellbaren unverzögerten elektromagnetischen Kurzschlussauslösers des Leistungsschalters

Die Grenzen des Überlastschutzes durch Überlastrelais oder -auslöser liegen dort, wo aus dem Motorstrom nicht mehr auf die Wicklungstemperatur geschlossen werden kann. Das ist bei hoher Schalthäufigkeit, unregelmäßigem Aussetzbetrieb, behinderter Kühlung und erhöhter Umgebungstemperatur der Fall. Dann werden Schaltkombinationen mit Thermistor-Motorschutzgeräten eingesetzt.
Der erreichbare Schutzumfang ist davon abhängig, ob der zu schützende Motor ständerkritisch oder läuferkritisch ist. Ansprechtemperatur, Koppelzeitkonstante und Lage der Temperaturfühler in der Motorwicklung spielen dabei ebenfalls eine wesentliche Rolle.

Ständerkritische Motoren können mit Thermistor-Motorschutzgeräten und **ohne** Überlastrelais ausreichend gegen Überlastung und Übertemperatur geschützt werden. Der Kurzschluss- und Überlastschutz der Zuleitungen ist entweder durch Sicherungen und Leistungsschalter oder durch Sicherungen alleine sicherzustellen.
Läuferkritische Motoren können nur **mit** einem zusätzlichen Überlastrelais oder -auslöser auch bei Zuschalten mit festgebremstem Läufer ausreichend geschützt werden. Das Überlastrelais bzw. der Überlastauslöser übernimmt dabei auch den Überlastschutz der Leitungen.

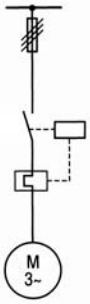
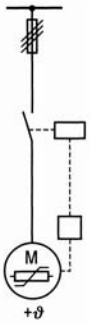
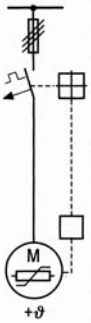
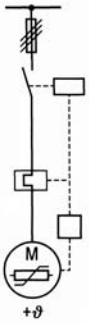
Übersicht der Schutzeigenschaften:
Der Vergleich der Schutzeigenschaften von Sicherungen und Leistungsschaltern sowie von Schaltkombinationen, aber auch von Vorsicherungen und Leitungsschutzschaltern zeigt die vielfältigen Möglichkeiten von Niederspannungs-Schaltgeräten. Entsprechende Übersichten erlauben eine Einschätzung der Einsatzschwerpunkte bzw. der unterschiedlichen Schutzverhalten.

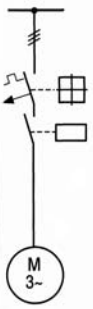
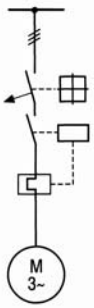
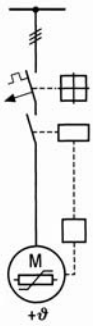
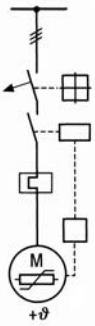
Eigenschaft	Sicherung	Leistungsschalter
Schaltvermögen bei Wechselspannung	> 100 kA, 690 V	f (I_n, U, Bauart [1)])
Strombegrenzung	f(I_n, I_k)	f (I_n, I_k, U, Bauart [1)])
Zusätzlicher Lichtbogenraum	keiner	f (I_n, U, I_k, Bauart [1)])
Äußerlich erkennbare Aussage der Funktionsfähigkeit	ja	nein
Betriebssicheres Betätigen	mit Aufwand [2)]	ja
Fernschalten	nein	ja
Selbsttätiges allpoliges Ausschalten	mit Aufwand [3)]	ja
Meldemöglichkeit	mit Aufwand [4)]	ja
Verriegelungsmöglichkeit	nein	ja
Wiedereinschaltbereitschaft nach		
Überlastausschaltung	nein	ja
Kurzschlussausschaltung	nein	f (Zustand)
Betriebsunterbrechung	ja	f (Zustand
Wartungsaufwand	nein	f (Schaltzahl und Zustand)
Selektivität	ohne Aufwand	mit Aufwand
Austauschbarkeit	ja [5)]	bei gleichem Fabrikat
Kurzschlussschutz		
Leitung	sehr gut	gut
Motor	sehr gut	gut
Überlastschutz		
Leitung	ausreichend	gut
Motor	nicht möglich	gut

1) *Bauart kann sein: Löschprinzip, Kurzschlussfestigkeit durch Eigenwiderstand, konstruktive Gestaltung*
2) *z. B. mit Hilfe von berührungssicheren Sicherungslasttrennschaltern mit Schnelleinschaltung*
3) *Mit Hilfe der Sicherungsüberwachung und des zugeordneten Leistungsschalters*
4) *Mit Hilfe der Sicherungsüberwachung*
5) *da genormt*

Vergleich der wesentlichen technischen Kriterien von Sicherung und Leistungsschalter

Vergleich der Schutzeigenschaften von Schaltkombinationen (Prinzipschaltpläne)

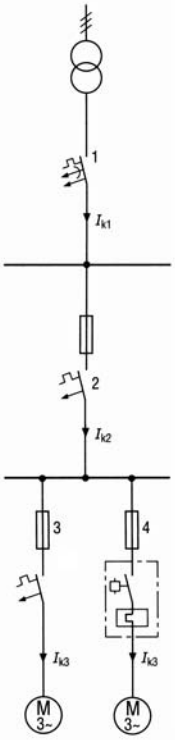
Schutzobjekte	*Schutzeinrichtungen*						
	Sicherung *Leistungs-schalter* *Schütz* *Überlast-schutz* *Thermistor-Motorschutz*						
Überlastschutz							
- Leitung		++	++	+	+	++	++
- Motor (ständerkritisch)		++ [1]	++	++	++	++	++
- Motor (läuferkritisch)		++ [1]	++	+	+	++	++
Kurzschlussschutz							
- Leitung		++	++	++	++	++	++
- Motor		++	++	++	++	++	++

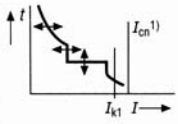
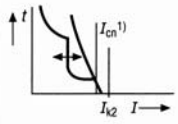
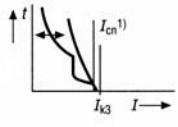
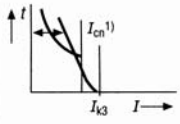
Schutzobjekte	*Schutzeinrichtungen*						
	— *Leistungs-schalter* *Schütz* *Überlast-schutz* *Thermistor-Motorschutz*						
Überlastschutz							
- Leitung		++	++	++	++	++	+
- Motor (ständerkritisch)		++ [1]	++	++	++	++ [1]	++
- Motor (läuferkritisch)		++ [1]	++	++	++	++ [1]	++
Kurzschlussschutz							
- Leitung		+	+	+	+	+	+
- Motor		+	+	+	+	+	+

++ Sehr gut + Gut - Gering

[1] Schutz mit geringer Einschränkung bei Phasenausfall

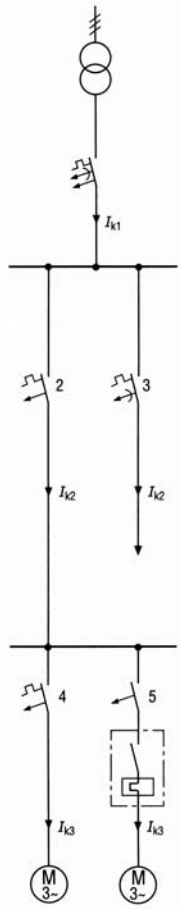
Verteilung mit Sicherungen und Leistungsschaltern

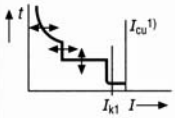
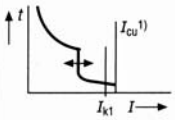
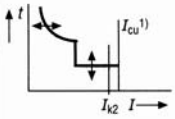
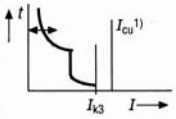
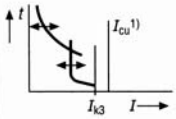


Nr.	Art der Leistungsschalter	Typ	Bemess.-Kurzschluss ausschaltvermögen I_{cn}	Typ des Überstromauslösers a Einstellbar	a Fest eingestellt	z Einstellbar	n Fest eingestellt	n Einstellbar	Vorschaltsicherung 3NA/3ND I_{cn}>100 kA	Auslösekennlinien
	Einspeiseschalter									
1	Leistungsschalter für den selektiven Kurzschlussschutz (Gebrauchskategorie A)	3WN 3WS	$\geq I_{k1}$	×	–	×	–	×	–	
	Verteilerschalter									
2	Sicherung und Leistungsschalter für den Anlagenschutz	3VF	$\geq I_{k2}$ $< I_{k2}$	– –	× ×	– –	× –	– ×	– –	
	Verbraucherschalter									
3	Sicherung und Leistungsschalter für den Motorschutz	3RV1 3VF	$\geq I_{k3}$ $< I_{k3}$	× ×	– –	– –	× oder × × oder ×		– ×	
4	Sicherung und Direktstarter	3RT1 3RU1	$\leq I_{k3}$	×	–	–	–	–	×	

[1] I_{cn} Bemessungs-Kurzschlussausschaltvermögen

Verteilung mit Leistungsschaltern ohne Sicherungen



Nr.	Art der Leistungsschalter	Typ	Bemess.-Kurzschluss ausschaltvermögen I_{cn}	Typ des Überstromauslösers: a Einstellbar	a Fest eingestellt	z Einstellbar	n Fest eingestellt	n Einstellbar	Back-up-Schutz durch vorgeordneten Leistungsschalter	Auslösekennlinien
Einspeiseschalter										
1	Leistungsschalter für den selektiven Kurzschlussschutz (Gebrauchskategorie B)	3WN 3WS	$\geq I_{k1}$	×	–	×	–	×	–	
Verteilerschalter										
2	Leistungsschalter für den Anlagenschutz (Gebrauchskategorie A)	3VF	$\geq I_{k2}$ $< I_{k2}$	– –	× ×	– –	– –	× ×	– ×	
3	Leistungsschalter für den selektiven Kurzschlussschutz (Gebrauchskategorie B)	3WN 3WS	$\geq I_{k2}$	×	–	×	–	–	–	
Verbraucherschalter										
4	Leistungsschalter für den Motorschutz (Gebrauchskategorie A)	3RV1 3VF	$\geq I_{k3}$ $< I_{k3}$	× ×	– –	– –	× ×	– –	– ×	
5	Leistungsschalter und Direktstarter	3RV1 3RT1 3RU1	$\geq I_{k3}$ –	× ×	– –	– –	× –	– –	–	

1) I_{CU} *Bemessungsgrenzkurzschlussausschaltvermögen oder Back-up-Schutz-Grenze durch vorgeordnete Leistungsschalter*

Schutz von Anlagenkomponenten

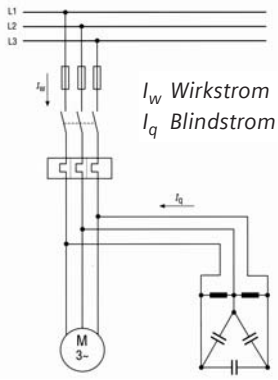
Ein Motor kann durch unterschiedliche Ursachen thermisch überlastet werden. Hierzu zählen zum Beispiel:

- Erhöhte Verluste durch die Art des Betriebs, d. h. zu hohes Lastdrehmoment im Dauerbetrieb, zu lange relative Einschaltdauer bei Schaltbetrieb, zu lange Anlauf- und (oder) Bremsvorgänge durch zu hohes Trägheitsmoment und zu hohe Schalthäufigkeit
- Blockieren des Läufers während des Betriebs
- Anschluss- und Schaltfehler
- Erhöhte Verluste durch die Eigenschaft des Netzes, d. h. zu große Abweichungen der Netzfrequenz oder Netzspannung von den Netznennwerten, Unterbrechung einer Netzzuleitung (sogenannter Phasenausfall)
- Beeinträchtigung der Kühlung, d. h. erhöhte Kühlmitteltemperatur, erhöhter Aufstellungsort (geringe Luftdichte bei Aufstellungshöhen über 1.000 m über NN), Behinderung des Kühlmittelstroms

Eine Übersicht über den Schutzumfang der behandelten Motorschutzeinrichtungen zeigt, dass bei normalen Betriebsverhältnissen der Leistungsschalter oder die Schaltkombination Schütz-Überlastrelais-Sicherung durchaus einen ausreichenden Überlastschutz bietet.
Bei nicht normalen Betriebsverhältnissen, wie zu lange Anlauf- und Bremsvorgänge, zu hohe Schalthäufigkeit oder Einphasenlauf, erlaubt der Thermistor-Motorschutz bei ständerkritischen Motoren vollen Schutz. Darüber hinaus bewahrt der Thermistor-Motorschutz die Motorwicklung auch dann vor zu hoher Erwärmung, wenn diese nicht durch Überstrom erzeugt wird, sondern z. B. auf Behinderung des Kühlmittelflusses zurückzuführen ist.
Bei läuferkritischen Motoren ist zum Thermistor-Motorschutz zusätzlich ein Überlastrelais oder ein Überlastauslöser vorzusehen.

Zur Blindstromkompensation des Motors werden Kondensatoren angeschlossen und gemeinsam mit dem Motor zu- und abgeschaltet. Dem Netz wird im Wesentlichen nur Wirkstrom I_w entnommen. Dieser Strom fließt über Schaltgerät und Überlastrelais bzw. -auslöser. Dieses ist daher auf den Wirkstrom einzustellen.
Der Einstellstrom I_r lässt sich ausreichend genau nach folgender Beziehung ermitteln:

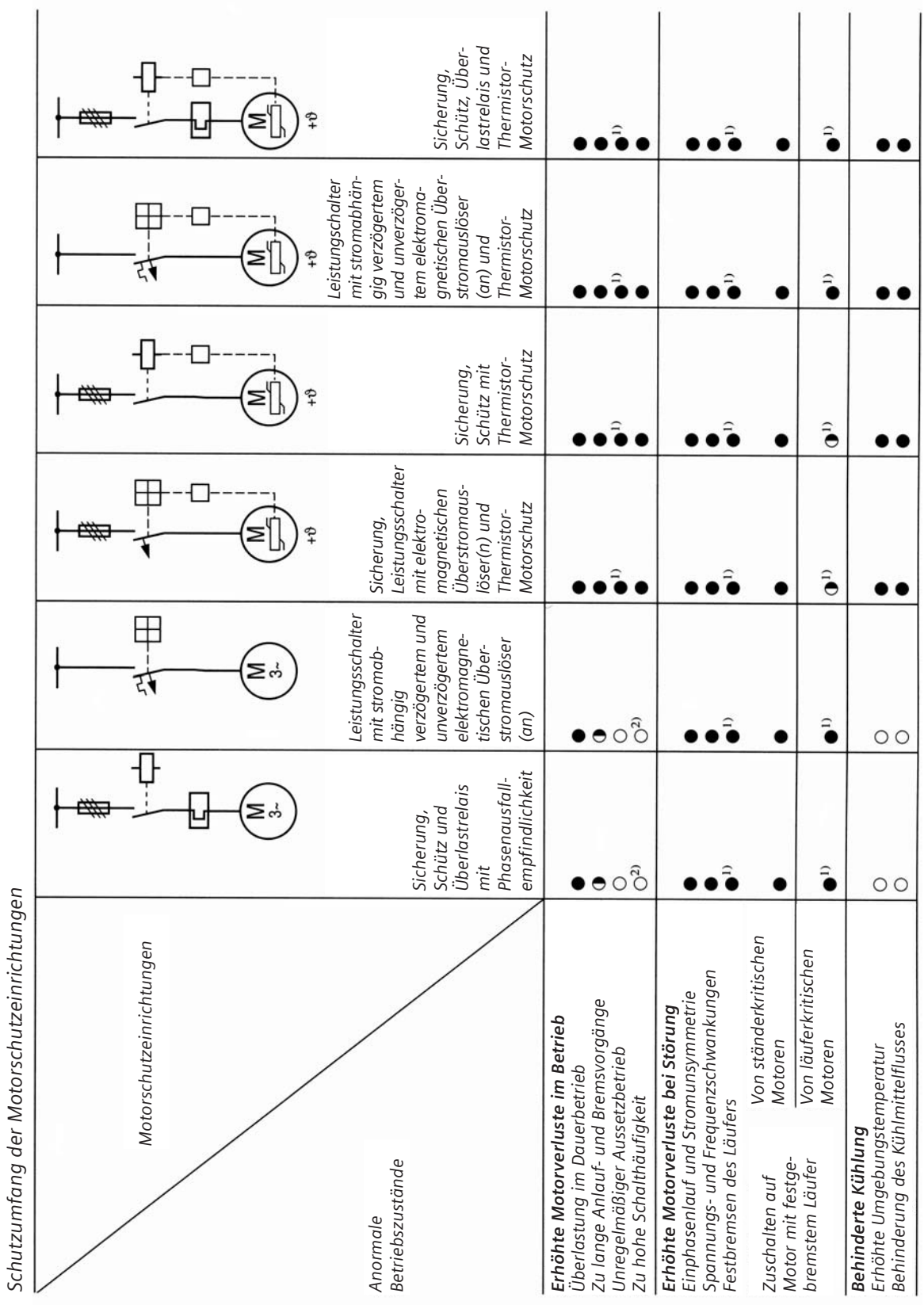
$$I_r = (I_n \bullet \cos \varphi) / 0{,}9$$



Überlastschutz eines kompensierten Drehstrom-Asynchronmotors.

TIPP:

Die entsprechenden Werte für den Bemessungsstrom I_n und den cos φ sind auf dem Leistungsschild des Motors angegeben.



○ *Kein Schutz* ◑ *Nur bedingter Schutz* ● *Voller Schutz*

[1] *Bei Hochspannungsmotoren nur im Zusammenhang mit Läufertemperaturüberwachung*

[2] *Wegen Frühauslösung nicht einsetzbar*

Ein polumschaltbarer Drehstrom-Asynchronmotor mit einer Wicklung (Dahlanderschaltung), zwei Drehzahlen und einer Drehrichtung gibt je nach Drehzahl eine verschieden hohe Leistung ab und nimmt dabei einen unterschiedlich hohen Strom auf. Bei der höheren Drehzahl ist auch die Stromaufnahme größer. Es ist daher für jede Drehzahl ein Überlastrelais vorzusehen, dessen Einstellstrom I_r auf den jweiligen Motorbemessungsstrom abgestimmt ist.
Das gilt auch für polumschaltbare Drehstrom-Asynchronmotoren mit zwei getrennten Wicklungen, drei Drehzahlen, einer Drehrichtung. Bei dieser Variante sind insgesamt drei Überlastrelais notwendig, deren Einstellströme unterschiedlichen Motorbemessungsströme zuzuordnen sind.
Auch bei polumschaltbaren Drehstrom-Asynchronmotoren mit zwei getrennten Wicklungen (beide Wicklungen in Dahlanderschaltung), vier Drehzahlen, eine Drehrichtung ist für jede Drehzahl ein Überlastrelais vorzusehen, also vier.

Eine Motorstartung wird als Schweranlauf (> CLASS 20) bezeichnet, wenn eine für normale Betriebsbedingungen passend ausgewählte Überlastschutzeinrichtung bereits während der Anlaufzeit den Motor abschalten würde. Zum Schutz solcher Antriebe verwendet man entweder thermisch verzögerte Überlastrelais oder elektronisch verzögerte Überlastrelais für Schweranlauf.
Bei den elektronischen Überlastrelais für Schweranlauf wird der Motorstrom über im Auslösegerät integrierte Stromwandler analog in jeder Phase erfasst. Dazu werden Stromwandler mit hohem Überstromfaktor verwendet, die den Motorstrom linear bis zum etwa zehnfachen Wert des Relais-Bemessungstroms übersetzen.

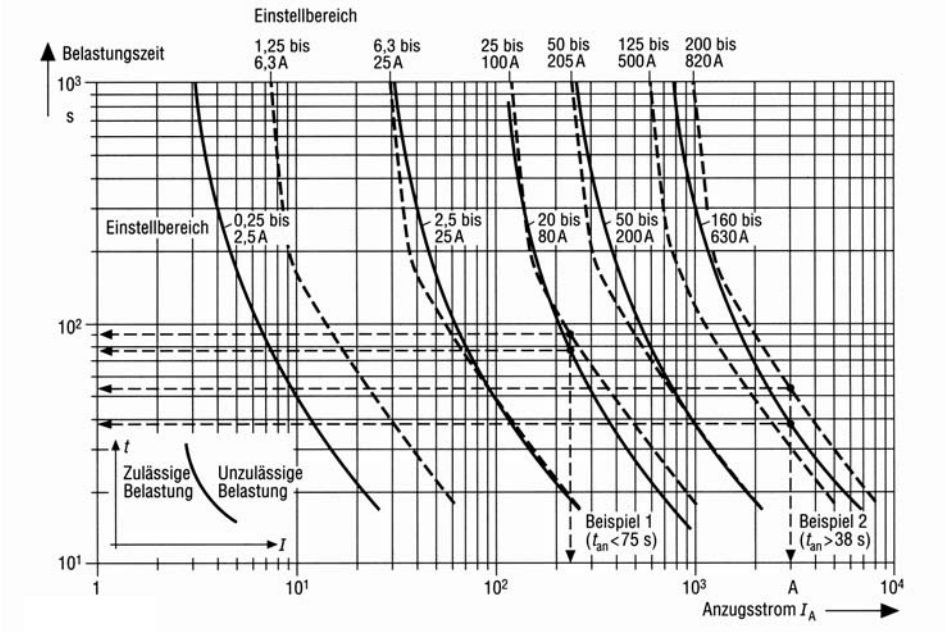
Bei Anläufen > CLASS 30 spricht man von Schwerstanlauf. Hier müssen die Überlastrelais für Schweranlauf eine gewisse Zeit durch Überbrückungsschaltungen ausgeblendet werden, damit sie nicht auslösen. Diese Ausblendzeit t_B ergibt sich folgendermaßen:

$$t_B = t_{an} - t_k$$

t_{an}: Anlaufzeit

t_k: Relais-Auslösezeit aus dem kalten Zustand bei Belastung mit dem Anzugstrom. Dies gilt unter der Annahme, dass der Motoranlaufstrom gleich dem Anzugstrom und für die Zeit t_k konstant ist.

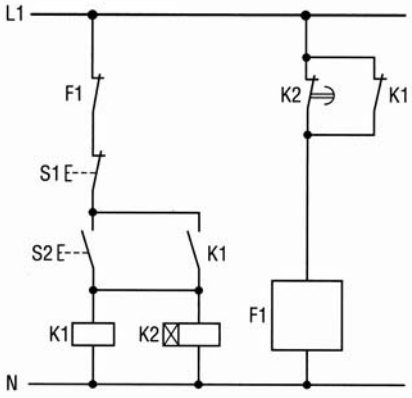
Während der Ausblendzeit t_B wird der Motorstrom vom Überlastrelais nicht erfasst. Falls der Motor blockiert ist, wird das Relais nach Ablauf von t_B den Motorstillstandsstrom erfassen. Die Auslösung erfolgt nach der Auslösekennlinie. Die Motorbelastungszeit ist identisch mit der Anlaufzeit t_{an}.
Liegt bei einer Überbrückungsschaltung die Anlaufzeit **innerhalb** der zulässigen Belastung der Stromwandler, fließt während der Ausblendzeit t_B der gesamte Motoranlaufstrom, bei blockiertem Läufer der Anzugsstrom, über die Stromwandler des elektronischen Überlastrelais. Deshalb kann diese Schaltung nur angewendet werden, wenn eine thermische Überlastung des Überlastrelais und deren Stromwandler ausgeschlossen werden kann.



Zulässige Belastungskennlinien der elektronischen Überlastrelais 3UB1, 3RB12 und 3UF50 mit deren Stromwandlern.

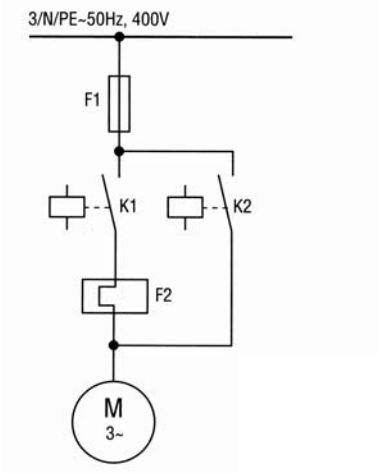
Der Motorstrom kann auch während der Zeit fließen, in der das Netzgerät des Auslösegeräts abgeschaltet ist. Dazu ist eine Überbrückungsschaltung erforderlich, durch die das Auslösegerät erst nach Ablauf der Ausblendzeit t_B an die Versorgungsspannung gelegt wird. Erst ab diesem Zeitpunkt arbeitet es und summiert die Stromsignale auf.

S1: Aus-Taster
S2: Ein-Taster
K1: Motorschütz mit 1S + 1Ö
K2: Zeitrelais mit 1Ö
F1: Auslösegerät des elektronischen Überlastrelais mit der Funktion "kein Auslösen" bei Ausfall der Steuerspannung mit 1Ö.



*Überbrückungsschaltung, bei der die Anlaufzeit **innerhalb** der zulässigen Belastung der Kennlinien liegt.*

Liegt bei einer Überbrückungsschaltung die Anlaufzeit **außerhalb** der zulässigen Belastung der Stromwandler, ist sichergestellt, dass während der Ausblendzeit t_B kein Strom über das Überlastrelais fließen kann und damit eine thermische Überlastung der Stromwandler nicht möglich ist. Das Überlastrelais wird primärseitig durch ein Überbrückungsschütz K2 für die Ausblendzeit t_B überbrückt.

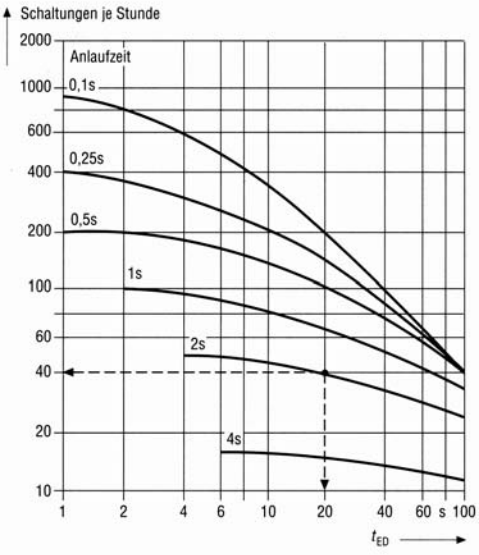


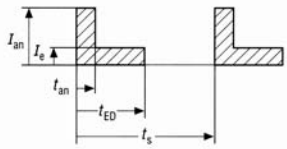
F1: Kurzschlussschutzeinrichtung
F2: Überlastrelais
K1: Motorschütz
K2: Überbrückungsschütz

*Überbrückungsschaltung, bei der der Anlauf **außerhalb** der zulässigen Belastung der Kennlinien liegt.*

Beachte:

Will man Überlastrelais in Kombination mit Schützen bei höherer Schalthäufigkeit einsetzen, muss man beachten, dass die Verwendung von Überlastrelais bei höherer Schalthäufigkeit beschränkt ist.





I_{an}: Anzugsstrom des Motors
I_e: Bemessungsbetriebsstrom
t_{an}: Anlaufzeit des Motors
t_{ED}: Einschaltdauer
t_s: Schaltspieldauer

Zulässige Schalthäufigkeit der stromabhängig verzögerten (thermischen) Überlastrelais bei $I_{an} = 6 \bullet I_e$.

Bei Drehstrom-Asynchronmotoren bis zu einer Leistung von etwa 15 kW nimmt die Ständerwicklung im blockierten Zustand die zulässige Temperatur schneller als der Läufer an (ständerkritisch).
Motoren größerer Leistung sind im Allgemeinen läuferkritisch. Dabei erreicht der blockierte Läufer früher als der Ständer die zulässige Grenztemperatur.
Dies trifft in besonderem Maß zu, wenn der Motor mit festgebremstem Läufer aus kaltem Zustand eingeschaltet wird. Der Temperaturüberlauf des Läufers kann dann erheblich höher als der des Ständers sein und zu einer spürbaren Verringerung der Motorlebensdauer führen.

TIPP:

Um den Schutz von läuferkritischen Motoren für einen solch extremen Fall sicherzustellen, wird zusätzlich zu den Kaltleiterfühlern der Motorstrom durch ein dreipoliges thermisches Überlastrelais überwacht.

Der Motor nimmt im Wendebetrieb bei jeder Drehrichtung den gleichen Strom auf. Das Überlastrelais wird daher in die Motorzuleitung geschaltet und auf den Motorbemessungsstrom eingestellt. Dies gilt auch für das unmittelbare Umsteuern mit Gegenstrombremsung durch Bremswächter.

In Sternschaltung nimmt der Motor nur Strom in Höhe des $1/\sqrt{3}$-fachen Bemessungsstroms aus dem Netz auf, während bei Dreieckschaltung und Bemessungsbelastung der volle Bemessungsstrom fließt. Aus diesem Grund legt man ein Überlastrelais in den Wicklungsstromkreis und stellt es auf den Wicklungsbemessungsstrom ein, also auf $1/\sqrt{3}$- bzw. 0,58-fachen Motorbemessungsstrom.

TIPP:

Mit einem einzigen Relais lässt sich so der Motorschutz sowohl in der Stern- als auch in der Dreieckschaltung (stationärer Betrieb) sicherstellen.

Hochspannungsmotoren werden vielfach durch Überlast-Sekundärrelais sowie elektronische Überlastrelais vor Überlastung geschützt. Diese sind an Hauptstromwandler anzuschließen, welche eine ausreichende Kurzschlussfestigkeit aufweisen müssen. Andernfalls sind sie in den Sternpunkt des Motors zu legen.

TIPP:

Die Hauptstromwandler können mit einer Klassengenauigkeit von 3 % vorgesehen werden und sollten einen Bemessungs-Überstromfaktor ≥ 10 haben. Ihre Leistung muss auf die Leistungsaufnahme der Überlastrelais zuzüglich der Leitungsbürde abgestimmt werden, damit die angegebene Auslösekennlinie sichergestellt ist.

Das Überlastrelais und die Hauptstromwandler sind so auszuwählen, dass der sekundärseitig fließende Strom bei Bemessungsstrom des Motors innerhalb des Einstellbereichs des Überstromrelais liegt.

Hinweis:

Für Hochspannungsmotoren wird bei schwierigen Anlaufverhältnissen eine Läuferwicklungs-Temperaturüberwachung mit Hilfe eines Strahlungsthermometers empfohlen. Zum Kurzschlussschutz können HH-Sicherungen oder Leistungsschalter verwendet werden.

Auswahlkriterien für Niederspannungs-Schaltgeräte in Hilfsstromkreisen

Schaltgeräte für Hilfsstromkreise dienen zum Steuern, Überwachen, Melden und Verriegeln. Sie sind vor allem Befehlsgeber, Hilfsschütze, Hilfsstromschalter von Schaltgeräten für Hauptstromkreise sowie Zeitrelais.
Die Sicherheit der Kontaktgabe hängt u. a. vom Zustand der Kontaktstelle und von der Höhe der Spannung ab. Bei kleinen Spannungen und Strömen entfällt meistens die Selbstreinigung der Kontaktstelle durch einen Schaltlichtbogen. Eine Verschmutzung der Kontaktstelle durch isolierende Partikel und Fremdschichten auf dem Kontaktmaterial kann eine Kontaktgabe stören oder sogar verhindern.
Die sich auf dem Kontaktmaterial bildenden Fremdschichten sind meistens so dünn, dass sie schon bei Spannungen von wenigen Volt durchschlagen und daher nicht stören. Diese Erscheinung nennt man Frittung.
Schaltglieder von Hilfsschützen, Befehlsgeräte, Positionsschalter, Zeitrelais, Thermistormotorschutzgeräte sowie Hilfsschaltglieder der Wechselstromschütze sind mit besonderen kontaktsicheren Schaltstücken ausgestattet.

Wird die Steuerspeisespannung vom Hauptstromkreis abgegriffen, kann bei hochspannungsseitiger Kurzschlussfortschaltung, bei Kurzschluss im Niederspannungsnetz mit selektiver Abschaltung oder beim Direkteinschalten großer Antriebsmotoren die Steuer- bzw. Betätigungsspannung kurzzeitig ausfallen oder unter die zulässige Toleranz absinken. Um einen kontinuierlichen Betrieb zu gewährleisten, bieten sich für spannungsabhängige Schalteinrichtungen bestimmte Abhilfemaßnahmen an.
Dazu zählen Schütze mit Ausschaltverzögerung, Hilfsschütze mit mechanischer Verklinkung, Koppelglieder für Elektroniksteuerungen, Unterspannungsauslöser mit Verzögerung und Unterspannungsauslöser von Leistungsschaltern mit Verzögerungsglied (rc-Auslöser).

Zum Ein- und Ausschalten der Schütze muss ein eindeutiger Befehl gegeben werden. Dies ist durch Geräte mit labiler Kontaktgabe wie Thermostate und Wächter oftmals nicht gewährleistet; vor allem dann nicht, wenn diese Geräte Erschütterungen ausgesetzt sind. Flatterhafte Kommandogabe bringt das Schütz zum "Rattern". Die Schaltstücke können verschweißen, da die Schütze mit hoher Schaltfrequenz schalten und thermisch überlastet werden.

TIPP:
Kann eine flatterhafte Kommandogabe durch den Befehlsgeber nicht vermieden werden, ist der Einsatz eines Hilfsschützes mit Ausschaltverzögerung als Zwischenglied zu empfehlen.

Bei Wende- und Stern-Dreieck-Schaltungen von Schützen sind Verriegelungen vorzusehen, damit beim Umschalten keine Kurzschlüsse auftreten. Dabei darf nicht

übersehen werden, dass beispielsweise die Befehlsgeräte und auch die Schütze gegenseitig verriegelt werden müssen. Bei den abgeschalteten Schützen steht sonst noch der Lichtbogen an, während das nächste Schütz bereits schließt. Dadurch kommt es zu Phasenkurzschlüssen, was zum Verschweißen der Schaltstücke des einzuschaltenden Schützes führen kann.

Schütze müssen nach DIN VDE 0660 Teil 102 bei 0,85 • U_s (U_s = Bemessungssteuerspeisespannung) noch einwandfrei arbeiten. Wird beim Einschalten eines Schützes dieser Unterspannungsbereich 15 Prozent unterschritten, kann das Schütz rattern. Das Schütz schaltet beim Rattern mit einer Schaltfrequenz bis zur Höhe der doppelten Netzfrequenz und wird durch die Schaltlichtbögen thermisch überbeansprucht. Es bleibt in einer Berührungslage hängen und die Schaltstücke können verschweißen.

Hinweis:

Solche kurzzeitigen Spannungsabsenkungen können extra eingebaute Spannungsschreiber nicht erkennen, weil sie zu träge sind. Das funktioniert nur mit Oszillografen und elektronisch arbeitenden Geräten.

TIPP:

Berücksichtigen Sie deshalb bereits bei der Projektierung neben den stationären Strömen auch die Einschaltströme gleichzeitig einschaltender sowie größerer Verbraucher.

Spannungsfall auf der Steuerleitung im Einschaltaugenblick

Aus der Grundgleichung für die Spannung

$$U = I \bullet R_{SL} \bullet 2l_{SL} \bullet \cos \varphi_{ein}$$

errechnet sich der Spannungsfall auf der Steuerleitung

$$u_{SL} = ((S_{ein} \bullet l_{SL}) / (5 \bullet U_S^2)) \bullet R_{SL} \bullet \cos \varphi_{ein}$$

u_{SL}	*Spannungsfall auf der Steuerleitung in Prozent*
S_{ein}	*Einschaltleistung des Schützes in VA*
l_{SL}	*(Einfache) Entfernung der Steuerleitung in m*
U_S	*Bemessungssteuerspeisespannung in V*
R_{SL}	*Ohmscher Widerstand je Leiter und km der Steuerleitung in Ω/km*
$\cos \varphi_{ein}$	*Leistungsfaktor der Schützspule beim Einschalten*

Durchschnittlicher Spannungsfall im Steuertransformator

Dieser Spannungsfall u_{ST} beträgt 5 Prozent, wenn der Steuertransformator groß genug ausgewählt wurde.

Spannungsfall auf der Leitung im Hauptstromkreis (unterspannungsseitig)

Der Spannungsfall auf der Leitung im Hauptstromkreis errechnet sich folgendermaßen:

$$u_L = ((\sqrt{3} \cdot I \cdot l_L) / (10 \cdot U_n)) \cdot (R_L \cos \varphi + X_L \sin \varphi)$$

u_L	*Spannungsfall auf der Leitung im Hauptstromkreis in Prozent*
I	*Maximal auftretender Strom in A beim Zuschalten des Verbrauchers*
l_L	*Einfache Länge der Leitung im Hauptstromkreis in m*
U_n	*Bemessungsspannung in V (z. B. Leerlaufspannung auf der Transformator-Unterspannungsseite)*
R_L	*Ohmscher Widerstand je Leiter und km in Ω/km der Hauptstromleitung*
$\cos \varphi$	*Wirkleistungsfaktor bei Motoranlaufstrom*
$\sin \varphi$	*Scheinleistungsfaktor*
X_L	*Induktiver Widerstand je Leiter und km in Ω/km der Hauptstromleitung*

Spannungsfall auf Sammelschienen

Bei Sammelschienen bis zu etwa 5 m Länge kann der Spannungsfall vernachlässigt werden. Bei längeren Sammelschienen wird er nach vorstehender Gleichung berechnet, wobei $X_L = 0{,}25\ \Omega$/km ist.

Spannungsfall im Netztransformator

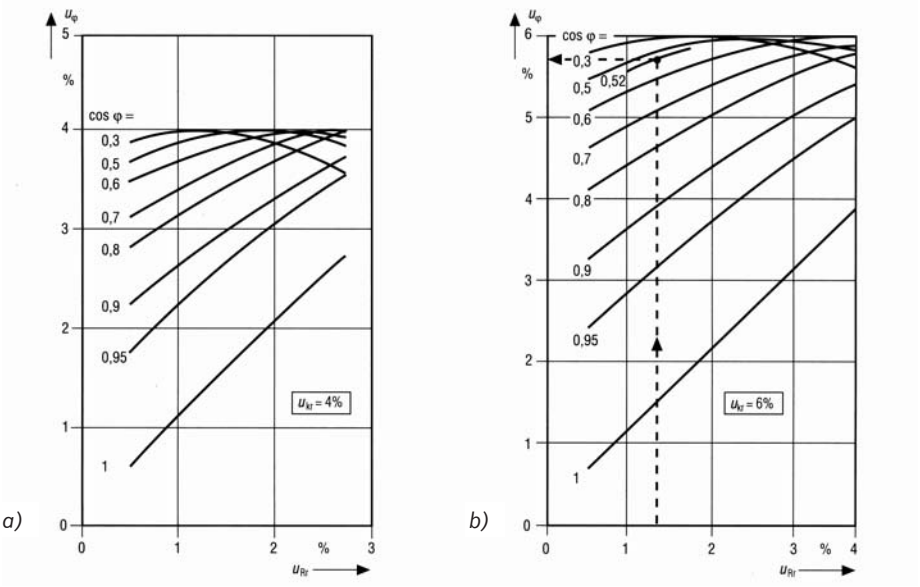
Die Berechnung der Spannungsänderung auf der Unterspannungsseite des Transformators als Folge der inneren Spannungsfälle erfolgt aus:

$$u_\varphi = u'_\varphi + (u''^2_\varphi / 200)$$

$$u'_\varphi = u_x \sin \varphi + u_R \cos \varphi$$

$$u''_\varphi = u_x \cos \varphi - u_R \sin \varphi$$

u_φ	*Spannungsänderung in Prozent für gebräuchliche Transformatoren mit ukr = 4 % oder 6 %*
u_x	*Streuspannung in % ($u_x = \sqrt{(u_{kr}^2 - u_R^2)}$)*
u_R	*Bemessungswert des ohmschen Spannungsfalls in %*
u_{kr}	*Bemessungswert der Kurzschlussspannung in %*
φ	*Phasenwinkel*



a) Transformator-Kurzschlussspannung bei u_{kr} = 4 %
b) Transformator-Kurzschlussspannung bei u_{kr} = 6 %

u_{Rr} = (P_{krT}) / (S_{nT} 100) (%)
P_{krT} Kurzschlussverluste des Transformators in kW
S_{nT} Bemessungsleistung des Transformators in kVA

Bei einer beliebigen Strombelastung I ist der Spannungsfall

$$u_T = u_\varphi \bullet (I / I_n)$$

$$I = \sqrt{(I_w^2 + I_q^2)}$$

$$I_n = S_{nT} / (\sqrt{3} \bullet U)$$

u_T	*Spannungsfall im Transformator in %*
u_φ	*Spannungsänderung in %*
I	*Beliebige Strombelastung in A (z. B. kurzzeitige Belastung beim Einschalten eines Motors)*
I_n	*Bemessungsstrom in A (auf der Transformator-Unterspannungsseite)*
I_w	*Wirkstrom*
I_q	*Blindstrom*
S_{nT}	*Bemessungsleistung des Transformators in VA*
U	*Unterspannung des Transformators in V*

Spannungsfall auf der Leitung im Hauptstromkreis (oberspannungsseitig)
Dieser Spannungsfall ist im Allgemeinen vernachlässigbar.

Einsatz von Hilfsschützen in Sicherheitsstromkreisen
Werden Hilfsschütze in Stromkreisen, die der Sicherheit dienen, verwendet, ist eine entsprechende Redundanz durch das Zusammenwirken mehrerer Hilfsschütze vorzusehen. Deren Hilfsschaltglieder müssen so geschaltet werden, dass im Fall eines Fehlers in einem Hilfsschütz der Sicherheitsstromkreis wirksam bleibt (sog. Schützsicherheitskombination).

Beachte:

Diese Hilfsschütze müssen bei jedem Ein-Aus-Zyklus der Maschine mindestens einmal automatisch überprüft werden, ob sie richtig öffnen und schließen.

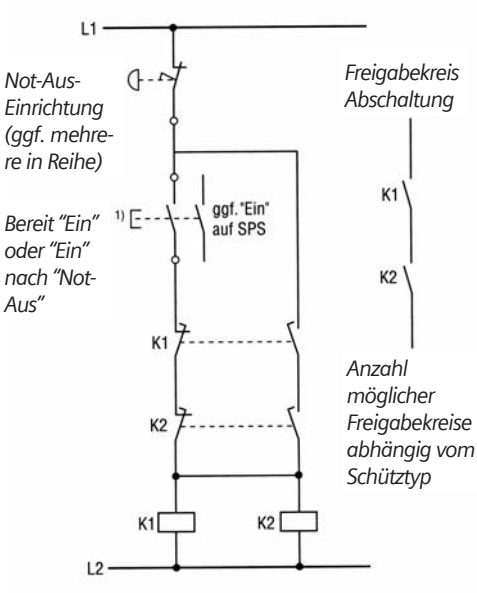
Unter Ein-Aus-Zyklus wird das Ein- bzw. Ausschalten des Hauptschalters, das Wegnehmen der Steuerspannung bzw. das Betätigen der Not-Aus-Einrichtung verstanden. Je nach Einsatzfall können Schützsicherheitskombinationen aus zwei Hilfsschützen (ohne Zwangsführung) oder aus drei Hilfsschützen (mit Zwangsführung) eingesetzt werden.

Beispiel: *Schützsicherheitskombinationen, bestehend aus zwei Hilfsschützen, interne Verriegelung mit überschneidender Kontaktgabe*

Wechselbetätigung:
Für die Schützsicherheitskombination werden zwei gleiche Hilfsschütze mit überschneidenden Schaltgliedern verwendet. Die verlängerten Schließer und verlängerten Öffner werden für die interne Verriegelung der Schützsicherheitskombination benötigt. Die verbleibenden "normalen" Schaltglieder können zur Freigabe bzw. zum Abschalten der relevanten Stromkreise benutzt werden.
Diese Schützsicherheitskombination erfüllen nicht die Bedingungen der Zwangsführung, was für normale Steuerungen auch nicht notwendig ist.

Die Anzahl der möglichen Freigaben richtet sich nach den verwendeten Hilfsschützen. Wird eine Schützsicherheitskombination mit mehr Freigaben benötigt, sind weitere zwei Schütze zu verwenden, wobei die weiteren Spulen parallel zu den anderen anzuschließen sind. Die beiden verlängerten Öffner und Schließer sind zu den vorhandenen in Reihe zu schalten.

Gleichstrombetätigung:
Die Einschaltzeiten gleichstrombetätigter Hilfsschütze (mit Gleichstrommagnetsystem) können wegen der großen Exemplarstreuung sehr unterschiedlich sein. Dadurch kann es bei Schützsicherheitskombinationen aus zwei gleichstrombetätigten Hilfsschützen mit überschneidender Kontaktgabe gelegentlich zu Fehlschaltungen (keine Freigabe) kommen. Die Sicherheit der Schaltung wird dabei jedoch nicht eingeschränkt oder unwirksam.



1) Das Einschleifen der Taste "Ein" ist erforderlich, damit nach Entriegeln der Not-Aus-Einrichtung kein selbsttätiger Wiederanlauf erfolgt.

Schützsicherheitskombinationen bestehend aus zwei gleichen Hilfsschützen, interne Verriegelung mit überschneidender Kontaktgabe, Wechselstrombetätigung.
Die Freigaben bestehen aus der Reihenschaltung je eines Schließers der beiden Hilfsschütze.

TIPP:

Es wird empfohlen, Schützsicherheitskombinationen mit drei Hilfsschützen einzusetzen.

Beispiel: *Schützsicherheitskombination bestehend aus drei Hilfsschützen, interne Verriegelung und Freigabekreise über zwangsgeführte Schaltglieder*

Das Wesentliche an diesem Schaltungstyp ist, dass hier Standardhilfsschütze verwendet werden. Einzige Bedingung ist, dass ihre Schaltglieder zwangsgeführt sind. Denn nur zwangsgeführte Schaltglieder ermöglichen eine Überwachung der Schaltgliedfunktion und somit Redundanz mit Überwachung.

Gleichstrombetätigung:
Für diese Schützsicherheitskombinationen, bestehend aus den Hilfsschützen K1, K2, K3 sind "normale" Hilfsschütze mit Gleichstrombetätigung zu verwenden. Für die interne Verriegelung sind beim Hilfsschütz K1 zwei Schließer, ein Öffner und bei den Hilfsschützen K2 und K3 ein Schließer und ein Öffner erforderlich. Die verbleibenden Strombahnen können zur Freigabe bzw. zum Abschalten der relevanten Stromkreise benutzt werden.
Die Freigabekreise mit Schließerfunktion für Abschaltung bestehen aus der Reihenschaltung eines Öffners des Hilfsschützes K1 und je eines Schließers der Hilfsschütze K2 und K3. Das Hilfsschütz K1 muss bei Gleichstrombetätigung zum Ausgleich von Schaltzeittoleranzen verzögert abfallen. Dazu ist die Spule bei Gleichstrombetätigung entweder mit einer externen Diode zu beschalten oder es ist ein Hilfsschütz mit integriertem Brückengleichrichter zu verwenden.

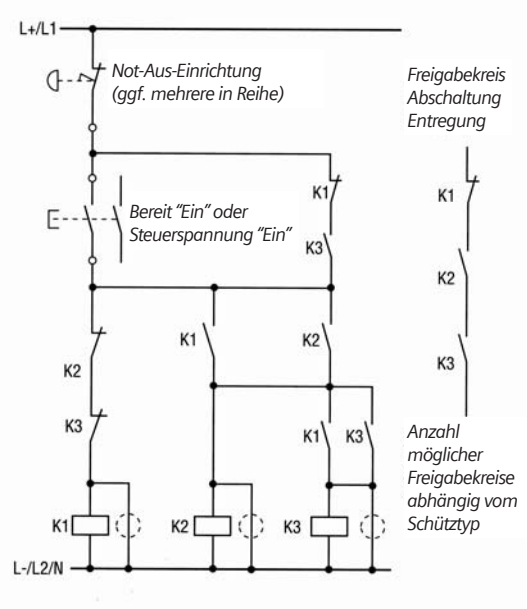
Hinweis:

Eine zusätzliche Diodenbeschaltung der Hilfsschütze K2 und K3 zur Überspannungsbedämpfung hat keinen Einfluss auf das Sicherheitsverhalten der Kombination bei Gleichstrombetätigung.

Bei AC-Betätigung:
Keine Abfallverzögerung notwendig. (Beschaltung ggf. gegen Störbeeinflussung)

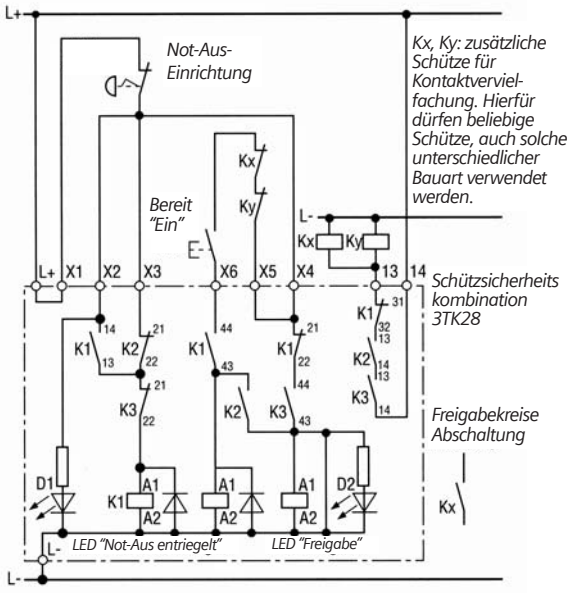
Bei DC-Betätigung:
an K1 Beschaltung erforderlich. (an K2 und K3 ggf. Beschaltung gegen Störbeeinflussungen).

Schützsicherheitskombinationen bestehend aus drei Hilfsschützen, interne Verriegelung und Freigaben über zwangsgeführte Schaltglieder. Für Gleich- oder Wechselstrombetätigung.



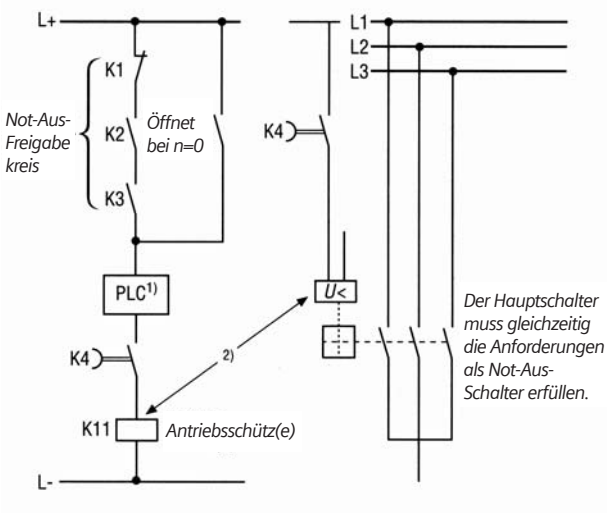
Wechsel- und Gleichstrombetätigung:
Diese Schützsicherheitskombinationen bestehen aus den Hilfsschützen K1, K2 und K3. Bei Gleichstrombetätigung ist die Spule von K1 mit einer externen Diode zu beschalten. Bei Gleichstrombetätigung dürfen auch Schütze mit integriertem Brückengleichrichter verwendet werden, ggf. ist dies bei Wechselstrombetätigung ebenfalls möglich.

Beispiel einer Kontaktvervielfältigung mit Schützsicherheitskombination, Gleichstrombetätigung.



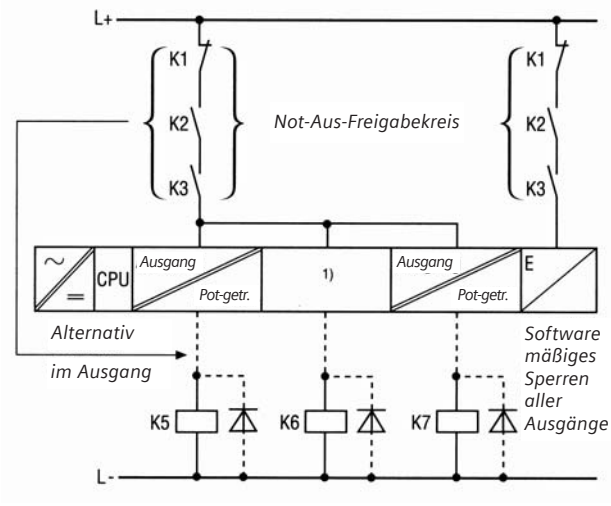
Elektromotorische Bremsung (Gegenstrombremsung), Freigabekreise in Verbindung mit der SPS

Bei elektromotorischer Bremsung dürfen die entsprechenden Hauptschütze so lange an Spannung verbleiben, bis der Antrieb Drehzahl "Null" erreicht hat. Um die Anforderungen nach DIN EN 60 204 Teil 1 (VDE 0113 Teil 1) zu erfüllen, ist eine Redundanz erforderlich, die z. B. durch ein zusätzliches abfallverzögertes Zeitrelais (K4) parallel zu K3 erreicht wird.



Redundanz bei elektromotorischer Bremsung mit abfallverzögertem Zeitrelais.
Redundanz ist nur gegeben, wenn sowohl die Drehzahl als auch das abfallverzögerte Zeitrelais überwacht werden, z. B. Einschleifen in Schützsicherheitskombination in Reihe mit den Öffnern von K2 und K3.

1) *PLC = SPS (Speicherprogrammierbare Steuerung)*
2) *Alternative Abschaltung der (des) relevanten Schütze(s) bzw. des Hauptschalters nach einer Zeit, die größer ist als die maximale Bremszeit.*



K5, K6, K7 sind Schütze von Antrieben, die bei Not-Aus abgeschaltet werden müssen.

Einschleifen der Freigabestromkreise in den Laststromkreis der elektronischen Steuerung.

1) *Bei potentialgebundenen Ausgängen muss im Ausgang geschaltet/ freigegeben werden.*

Auswahlkriterien für Kleintransformatoren in Niederspannungsnetzen
Der Bemessungsleistung Ps eines Transformators sind bestimmte Umgebungs- und Betriebsbedingungen zugrunde gelegt. Diese sind im Wesentlichen:

- Umgebungstemperatur
- Aufstellhöhe
- Frequenz
- Schutzart
- Betriebsart

Bei einer höheren Umgebungstemperatur als der Bemessungs-Umgebungstemperatur des Transformators erreicht dieser seine Grenztemperatur bereits bei einer Leistung, die unterhalb der Bemessungsleistung Ps liegt. Im Gegenzug lässt eine niedrigere Umgebungstemperatur eine Erhöhung der Transformatorleistung zu.

$$P_{s\,tats} = P_s \bullet c_1 \text{ (in VA)}$$

Bei einer größeren Aufstellungshöhe als der in den Auswahltabellen angegebenen kann der Transformator nicht mehr die volle Wärme abgeben. Dann muss die entnommene Leistung reduziert werden.

$$P_{s\,tats} = P_s \bullet c_2 \text{ (in VA)}$$

c_1 Umrechnungsfaktor in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz gegenüber der Bemessungs-Umgebungstemperatur
c_2 Umrechnungsfaktor in Abhängigkeit von der Aufstellungshöhe

Kleintransformatoren dürfen nur bei der Frequenz betrieben werden, für die sie ausgelegt sind. Allerdings kann bei höheren Frequenzen auch eine höhere Leistung erzielt werden, wenn der Transformator für diese höhere Frequenz geeignet ist.
Die Umrechnung erfolgt linear auf Basis der Bemessungsleistung für 50 Hz.

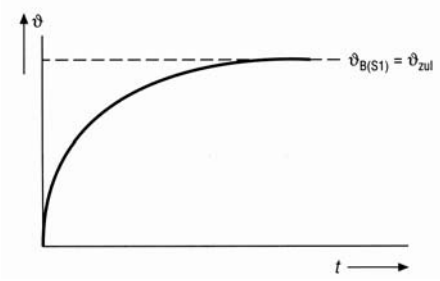
$$P_{s\,tats} = P_{s\,50\,Hz} \bullet f_{tats} / 50 \text{ (in VA)}$$

Die in den Auswahltabellen angegebenen Bemessungsleistungen gelten in der Regel für die Schutzart IP00. Das bedeutet, der Transformator besitzt keinen Schutz gegen Berührung und Wasser. Eine Erhöhung der Schutzart behindert die Wärmeabgabe des Transformators, was wiederum zu einer Erhöhung der Erwärmung führt.
Bei Kleintransformatoren in einer Schutzeinrichtung muss die tatsächlich zu erzielende Leistung dem Typenschild auf der Schutzeinrichtung zu entnehmen sein. Der darin befindliche Transformator besitzt ein Typenschild mit der Leistung bei Schutzart IP00.

Die in den Auswahltabellen angegebenen Bemessungsleistungen gelten für die Betriebsart "Dauerbetrieb". Bei anderen Betriebsarten kann unter Umständen eine höhere Leistung entnommen oder, falls der Transformator entsprechend ausgelegt ist, eine kleinere Typenleistung gewählt werden.
Allgemein gilt für den mittleren Belastungsstrom:

$$I_{mittel} = \sqrt{((\Sigma I^2 \bullet t) / (\Sigma t_{Last} + \Sigma t_{Pause}))} \quad \text{(in A)}$$

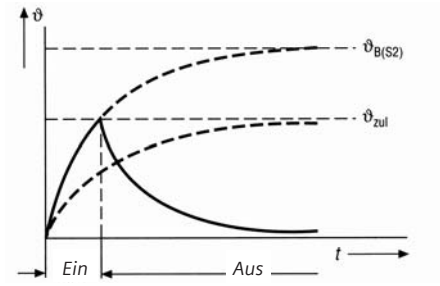
Die Betriebsart "Dauerbetrieb" ist so definiert, dass der Transformator ohne zeitliche Begrenzung mit seiner Bemessungsleistung betrieben werden kann. Dabei wird die Beharrungstemperatur erreicht, aber auch bei zeitlich unbegrenztem Betrieb nicht überschritten.



θ_{zul} *Zulässige Temperaturzunahme*
$\theta_{B(S1)}$ *Beharrungstemperatur*

Temperaturkennlinie bei Dauerbetrieb

Die Betriebsart "Kurzzeitbetrieb" ist so definiert, dass der Transformator während einer spezifizierten Zeit betrieben werden kann, innerhalb der er zwar die zulässige Betriebstemperatur, aber nicht die Beharrungstemperatur erreicht. Die nachfolgende Betriebspause, in der er eingangsseitig vom Netz getrennt ist, ist dann so lang, dass eine Abkühlung auf Umgebungstemperatur erreicht wird.



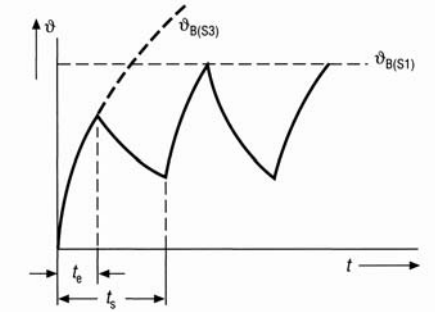
θ_{zul} *Zulässige Temperaturzunahme (= $\theta_{B(S1)}$)*
$\theta_{B(S2)}$ *Beharrungstemperatur bei Kurzzeitbetrieb*

Temperaturkennlinie bei Dauerbetrieb

Hinweis:

Bei Transformatoren, die für Kurzzeitbetrieb ausgelegt sind, wird auf dem Typenschild die Dauer der Betriebszeit in Minuten angegeben.

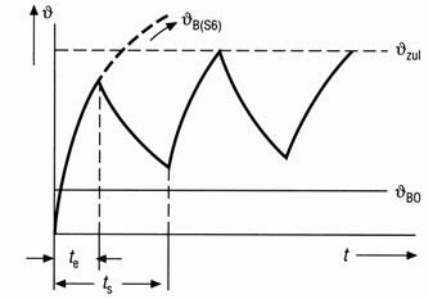
Die Betriebsart "Aussetzbetrieb" ist so definiert, dass der Transformator während einer spezifizierten Zeit betrieben wird, innerhalb der er zwar die zulässige Betriebstemperatur, nicht aber die Beharrungstemperatur erreicht. Die nachfolgende Betriebspause, in der er eingangsseitig vom Netz getrennt ist, ist aber nicht lang genug, dass eine Abkühlung auf Umgebungstemperatur erreicht wird.



θ_{zul}	*Zulässige Temperaturzunahme*
$\theta_{B(S3)}$	*Beharrungstemperatur bei Aussetzbetrieb*
t_e	*Einschaltdauer*
t_s	*Spieldauer*

Temperaturkennlinie bei Aussetzbetrieb

Die Betriebsart "Durchlaufbetrieb mit Aussetzbelastung" ist so definiert, dass der Transformator eingangsseitig dauernd am Netz liegt, die angegebene zulässige Belastungszeit aber so kurz ist, dass er zwar die zulässige Betriebstemperatur, nicht aber die Beharrungstemperatur erreicht. Die nachfolgende Betriebspause ist aber nicht lang genug, dass eine Abkühlung auf Beharrungstemperatur im Leerlauf erreicht wird.



θ_{zul}	*Zulässige Temperaturzunahme*
θ_{B0}	*Beharrungstemperatur bei Leerlauf*
$\theta_{B(S6)}$	*Beharrungstemperatur bei Aussetzbetrieb*
t_e	*Einschaltdauer*
t_s	*Spieldauer*

Temperaturkennlinie bei Aussetzbetrieb

Zur Definition des Verhältnisses der Betriebszeit zur Summe von Betriebszeit und nachfolgender Pause dient die "relative Einschaltdauer" ED:

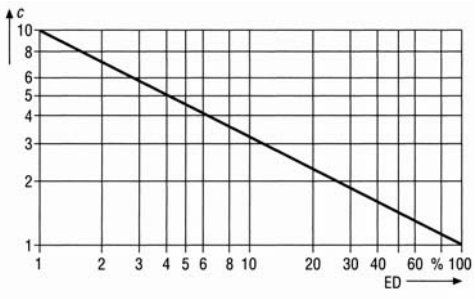
$$ED = t_{Betr} / (t_{Betr} + t_{Pause}) \bullet 100 \quad (\text{in } \%)$$

Hinweis:

Bei Kleintransformatoren, die für "Aussetzbetrieb" und "Durchlaufbetrieb mit Aussetzbelastung" ausgelegt sind, wird die relative Einschaltdauer auf dem Typenschild in % angegeben.

Die Abhängigkeit der tatsächlich erzielbaren Leistung gegenüber der Bemessungsleistung bei "Dauerbetrieb" von der relativen Einschaltdauer drückt sich im Umrechnungsfaktor c aus. Damit lässt sich die tatsächlich erzielbare Leistung errechnen.

$$P_{s\,tats} = P_{s\,bem} \bullet c \quad \text{(in VA)}$$



Belastungskennlinie in Abhängigkeit von der Einschaltdauer (ED).

Außer den genannten Betriebsarten gibt es speziell für Steuertransformatoren noch eine Besonderheit, die auch als eine gewisse Variante einer Betriebsart angesehen werden kann.
"Kurzzeitleistung bei cos φ = 0,5" ist so definiert, dass bei dieser kurzzeitig übertragenen Leistung die Ausgangsspannung noch mindestens 95 % der Ausgangs-Bemessungsspannung betragen muss.
Der Steuertransformator wird dabei im Dauerbetrieb betrieben und nur kurzzeitig, z. B. wenn ein Schütz anzieht, mit einer hohen Leistung bei schlechtem Leistungsfaktor belastet. Dabei darf es zu keinem wesentlichen Spannungseinbruch kommen, weil sonst die Gefahr besteht, dass eventuell bereits angezogene Schütze wieder abfallen oder zumindest das betätigte Schütz nicht anzieht. Nachdem das Schütz angezogen hat, muss der Steuertransformator lediglich die wesentlich niedrigere Halteleistung übertragen.

Verhalten von Transformatoren
Kurzschlussfester Transformator:
Kurzschlussfest ist ein Transformator, bei dem die Temperaturerhöhung bei Überlast oder im Kurzschluss die festgelegten Grenzen nicht überschreitet, und der nach Entfernen des Kurzschlusses oder der Überlast weiterhin alle Anforderungen erfüllt.

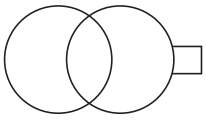
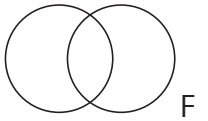
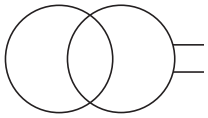
Bedingt kurzschlussfester Transformator:
Ein bedingt kurzschlussfester Transformator ist ein kurzschlussfester Transformator, der mit einer Schutzeinrichtung ausgerüstet ist, die den Eingangs- oder Ausgangsstromkreis unterbricht oder den Strom im Eingangs- oder Ausgangsstromkreis verringert, wenn der Transformator kurzgeschlossen oder überlastet ist, und der nach Entfernen des Kurzschlusses oder der Überlast weiterhin alle Anforderungen erfüllt.

Unbedingt kurzschlussfester Transformator:
Ein unbedingt kurzschlussfester Transformator ist ein kurzschlussfester Transformator ohne Schutzeinrichtung, bei dem die Temperatur im Kurzschluss oder bei Überlast die festgelegten Grenztemperaturen nicht überschreitet und der nach Entfernen des Kurzschlusses oder der Überlast weiterhin alle Anforderungen erfüllt.

Fail-Safe-Transformator:
Ein Fail-Safe-Transformator ist ein Transformator, der infolge nicht bestimmungsgemäßem Gebrauchs durch Unterbrechung des Eingangsstromkreises bleibend ausfällt, aber für den Anwender oder die Umgebung keine Gefahr darstellt.

Nicht kurzschlussfester Transformator:
Ein nicht kurzschlussfester Transformator ist ein Transformator, der gegen übermäßige Temperatur durch eine Schutzeinrichtung, mit der der Transformator selbst nicht ausgerüstet ist, geschützt wird, und der nach Entfernen des Kurzschlusses oder der Überlast und nach Wiederinstandsetzung der Schutzeinrichtung alle Anforderungen erfüllt.

Kennzeichnung von Kleintransformatoren bezüglich des Verhaltens bei Kurzschluss und Überlast.

Bild	Art des Transformators	Kennzeichen
1	Kurzschlussfester Transformator (bedingt und unbedingt)	
2	Fail-Safe-Transformator	 F
3	Nicht kurzschlussfester Transformator	

Ausführungsarten von Transformatoren
Trenntransformatoren für allgemeine Anwendungen:
Trenntransformatoren sind Transformatoren mit Schutztrennung zwischen Eingangs- und Ausgangswicklungen. Daneben gibt es Transformatoren für spezielle Anwendungen, für die es spezielle Vorschriften gibt. Trenntransformatoren werden zur sicheren elektrischen Trennung von Stromkreisen verwendet, um Gefahren einzuschränken, die sich aus der zufällig gleichzeitigen Berührung von Erde und unter Spannung stehenden Teilen ergeben.
Trenntransformatoren weisen folgende grundlegende Eigenschaften auf:

- Eingangs-Bemessungsspannung maximal AC 1.000 V
- Ausgangs-Bemessungsspannung über AC 50 V, jedoch max. AC 500 V, über DC 120 V oberwellenfrei, jedoch max. AC 708 V
- Bemessungsleistung einphasig max. 25 kVA, dreiphasig max. 40 kVA
- Bemessungsfrequenz max. 500 Hz

Beachte:

Weder ein Körper noch ein Leiter des Sekundärkreises darf hier mit dem Schutzleitersystem verbunden werden; eine Ausnahme besteht beim Potentialausgleich.

Hinweis:

Trenntransformatoren dürfen mehrere Ausgangswicklungen haben, aber jede Ausgangswicklung darf nur einen Verbraucher speisen.

Sicherheitstransformatoren für allgemeine Anwendung:
Sicherheitstransformatoren sind Trenntransformatoren, die für die Versorgung von SELV- und PELV-Stromkreisen vorgesehen sind.
Sicherheitstransformatoren sind dazu bestimmt, Verbraucherstromkreise oder Geräte zu versorgen, bei denen keine gefährlichen oder unzulässig hohen Berührungsspannungen auftreten dürfen. Die von ihnen erzeugte Schutzkleinspannung am erdpotentialfreien Ausgang ist so niedrig, dass von ihr selbst keine Gefahr ausgehen kann.

Sicherheitstransformatoren weisen grundlegende Eigenschaften auf:

- Eingangs-Bemessungsspannung maximal AC 1.000 V
- Ausgangs- Bemessungsspannung maximal AC 50 V, max. DC 120 V oberwellenfrei
- Bemessungsleistung einphasig max. 10 kVA, dreiphasig max. 16 kVA
- Bemessungsfrequenz max. 500 Hz

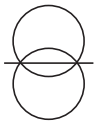
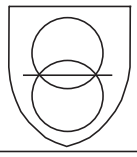
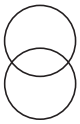
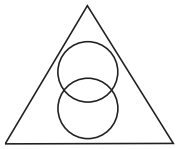
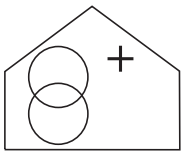
Anpasstransformatoren für allgemeine Anwendung:
Anpasstransformatoren (Netzanschlusstransformatoren) für allgemeine Anwendung sind Transformatoren, deren Eingangs- und Ausgangswicklungen lediglich durch Basis-Isolierung getrennt sind.
Sie sind dazu bestimmt, Verteilerstromkreise oder Geräte zu versorgen, bei denen die Schutzmaßnahmen wie Schutz durch Abschaltung oder Schutzisolierung aufgrund der Errichtungsbestimmungen zulässig sind.

Anpasstransformatoren weisen folgende grundlegende Eigenschaften auf:

- Eingangs-Bemessungsspannung maximal AC 1.000 V
- Ausgangs-Bemessungsspannung maximal AC 1.000 V, max. 1.415 V oberwellenfrei
- Bemessungsleistung einphasig max. 1 kVA, dreiphasig max. 5 kVA
- Bemessungsfrequenz max. 500 Hz.

Hinweis:

Für Sicherheitstransformatoren, Anpasstransformatoren und Steuertransformatoren gilt:
Die maximale Ausgangs-Bemessungsspannung gilt für Leerlauf und Last. Für den Fall, dass der Transformator mehrere Ausgangswicklungen besitzt, darf die Summe aller Ausgangs-Bemessungsspannungen die angegebenen Spannungsgrenzen nicht überschreiten, auch wenn die Ausgangswicklungen nicht dazu bestimmt sind, in Reihe geschaltet zu werden.

Bild	Art des Transformators	Kennzeichen
1	Trenntransformator für allgemeine Anwendung	
2	Sicherheits-transformator für allgemeine Anwendung	
3	Anpasstrafo für allgemeine Anwendung	
4	Steuertransformator	
5	Nicht kurzschlussfester Trenntransformator für medizinisch genutzte Räume	
6	Spartransformator	

Kennzeichnung von Kleintransformatoren bezüglich der Art ihrer Auslegung.

Steuertransformatoren:
Steuertransformatoren sind Transformatoren zur Versorgung von Steuerstromkreisen. Sie sind zur Versorgung von Steuerstromkreisen vorgeschrieben. Sie sind nicht vorgeschrieben für Maschinen mit einer Bemessungsleistung von weniger als 3 kW mit einem einzigen Motoranlasser und höchstens zwei äußeren Steuergeräten sowie bei Haushalts- und ähnlichen Maschinen, bei denen sich die elektrische Ausrüstung innerhalb des Maschinengehäuses befindet.

Die Ausführung von Steuertransformatoren entspricht der der Anpasstransformatoren, jedoch müssen sie aufgrund ihrer Verwendung (z. B. Stromversorgung von Schützen) besonderen Anforderungen genügen. Außerdem verfügen sie wegen der besonderen Sicherheitsanforderungen in Steuerstromkreisen gegenüber Anpasstransformatoren über eine höhere Isolation, die jedoch nicht den Anforderungen von Trenn- und Sicherheitstransformatoren entspricht.

Steuertransformatoren weisen folgende grundlegende Eigenschaften auf:

- Eingangs-Bemessungsspannung maximal AC 1.000 V
- Ausgangs-Bemessungsspannung max. AC 1.000 V
- Bemessungsleistung einphasig ohne Begrenzung, dreiphasig ohne Begrenzung
- Kurzzeitleistung bei cos φ = 0,5; nicht spezifiziert, muss aber angegeben werden
- Bemessungsfrequenz maximal 500 Hz

Beachte:

Die rechnerische Ermittlung der für den Steuertransformator erforderlichen Leistung im Dauerbetrieb und der Kurzzeitleistung muss in zwei getrennten Schritten vorgenommen werden.

1. Berechnung der Kurzzeitleistung:
Die Ermittlung der erforderlichen Kurzzeitleistung wird grundlegend dadurch bestimmt, dass die Ausgangsspannung nicht unter den Wert von 95 Prozent der Ausgangs-Bemessungsspannung sinken darf, bei dem die Schütze noch zuverlässig arbeiten.
Die maximal erforderliche Scheinleistung des Transformators errechnet sich aus der erforderlichen Wirkleistung (z. B. Halteleistung der Schütze, Leistung der Leuchtmelder) und der Blindleistung (z. B. Blindleistung der Schütze im angezogenen Zustand) für den Betrieb bei Kurzzeitleistung:

$$P_{s\,erf} = \sqrt{(P_{Wirk}^2 + P_{Blind}^2)} \quad \text{(in VA)}$$

Der erforderliche Leistungsfaktor cos j errechnet sich zu:

$$\cos\varphi = (P_{Wirk\,Dauer} + P_{Wirk\,Kurzzeit}) / P_{s\,erf} \quad \text{(in VA)}$$

Mit dem Ergebnis der Rechnung kann der Transformator aus der entsprechenden Übersicht des Transformatorenherstellers ausgewählt werden.
Als nächstes muss die Bestimmung der Leistung im Dauerbetrieb (Halteleistung) erfolgen.

2. Berechnung der Leistung im Dauerbetrieb:
Bei rein induktiver Belastung (nur Schützspulen) ist in der Regel die Auswahl allein nach der Kurzzeitleistung als ausreichend anzusehen.
Bei zusätzlicher ohmscher Belastung (z. B. durch Meldeleuchten) muss aber die erforderliche Leistung bei Dauerbetrieb wie folgt ermittelt werden:

$$P_{s\,erf} = \sqrt{(P_{Wirk}^2 + P_{Blind}^2)} \quad \text{(in VA)}$$

Mit dem Ergebnis dieser Rechnung kann der Transformator aus der Übersicht bezüglich der Leistung bei Dauerbetrieb ausgewählt werden. Die endgültige Auswahl des Transformators erfolgt dann nach der höchsten ermittelten Leistung.

Trenntransformatoren für die Stromversorgung medizinisch genutzter Räume:
Trenntransformatoren für die Stromversorgung medizinisch genutzter Räume sind ausschließlich für IT-Systeme vorgesehen und entsprechen in ihrem Aufbau der Schutzklasse II mit doppelter oder verstärkter Isolation zwischen allen Teilen des Transformators (ausgenommen zwischen Kern und Körper).
Auftretende Isolationsfehler sollen erkannt und gemeldet werden, weshalb für die Stromversorgung medizinisch genutzter Räume Einphasen-Trenntransformatoren mit einer Mittelanzapfung zum Anschluss einer Isolationsüberwachungseinrichtung eingesetzt werden. Ein statischer Schirm zwischen Primär- und Sekundärwicklung des Transformators, der mit dem Schutzleiter verbunden ist, dient der zusätzlichen Sicherheit.

Trenntransformatoren für medizinisch genutzte Räume weisen folgende grundlegenen Eigenschaften auf:

- Eingangs-Bemessungsspannung maximal AC 1.000 V
- Ausgangs-Bemessungsspannung über AC 50 V, jedoch max. AC 250 V, über DC 120 V oberwellenfrei, jedoch max. AC 708 V
- Bemessungsleistung über 3 kVA, jedoch max. 10 kVA
- Bemessungsfrequenz: max. 500 Hz

Da für derartige Stromversorgungsnetze eine zusätzliche unterbrechungsfreie Stromversorgung vorhanden sein muss, müssen Trenntransformatoren zur Stromversorgung medizinisch genutzter Räume noch weitere Eigenschaften aufweisen:

- Die Kurzschlussspannung darf max. 3 % der Ausgangs-Bemessungsspannung betragen
- Der Eingangs-Leerlaufstrom darf max. 3 % des Eingangs-Bemessungsstroms betragen
- Der Einschaltstrom darf max. das 8-fache des Eingangs-Bemessungsstroms betragen.

Spartransformatoren:
Spartransformatoren unterscheiden sich von allen anderen Arten von Transformatoren dadurch, dass sie einen gemeinsamen Wicklungsteil haben. Das bedeutet, dass zwischen den primärseitigen und sekundärseitigen Wicklungsteilen keinerlei Trennung besteht.

TIPP:

Überall dort, wo eine Anpassung der Spannung vorgenommen werden muss und dabei auf eine Trennung vom speisenden Netz verzichtet werden kann, bietet der Spartransformator die wirtschaftlichste Lösung. Durch die geringere Typenleistung gegenüber einem Transformator mit getrennten Wicklungen hat der Spartransformator ein geringeres Gewicht und ein geringeres Volumen.

Transformatoren für Leuchtmelder:
Bei Transformatoren für Leuchtmelder handelt es sich nicht um eine Ausführungsart an sich, sondern um Transformatoren für ein spezielles Anwendungsgebiet. Transformatoren kleiner Leistung haben bei normaler Auslegung einen verhältnismäßig großen Spannungsanstieg bei Leerlauf gegenüber der Bemessungsspannung.

Beachte:

Für den Fall, dass Leuchtmelder ausschließlich über einen Transformator mit Spannung versorgt oder Leuchtmelder mit anderen Verbrauchern zusammen an einen solchen angeschlossen werden sollen, ist dieser Spannungsanstieg bei Leerlauf zu beachten. Denn die Lebensdauer der Glühlampen von Leuchtmeldern wird durch relativ geringe Überspannungen ganz erheblich vermindert.

Die Sekundärseite des Transformators für Leuchtmelder ist so bemessen, dass auch bei Teillast mit nur einem Leuchtmelder dessen Bemessungsspannung nicht überschritten wird.
Die Ausgangsspannung bei Bemessungsleistung ist so ausgelegt, dass die Bemessungsleuchtdichte der Leuchtmelder eingehalten wird. Anzapfungen auf der Ausgangsseite ermöglichen eine Umschaltung auf Schwellenleuchtdichte, wie es für Schaltwaren verlangt wird.
Die Schwellenleuchtdichte kennzeichnet die Helligkeit, die vom menschlichen Auge gerade noch wahrgenommen wird.

Transformatoren für Gleichrichterbetrieb:
Transformatoren für Gleichrichterbetrieb sind aufgrund ihrer Ausgangsspannung (Bemessungs-Ausgangsspannung kleiner AC 50 V) ausschließlich Sicherheitstransformatoren. Sofern bezüglich Stabilität und überlagertem Wechselspannungsanteil der Ausgangsspannung keine besonderen Anforderungen gestellt werden, kommen Gleichstromversorgungen zum Einsatz. Zum Anpassen an die benötigte Gleichspannung sind Transformatoren für Gleichrichterbetrieb mit Anzapfungen versehen.

Gleichstromversorgung mit DC 24 V zur Stromversorgung elektronischer Steuerungen:
Um die Funktionssicherheit elektronischer Steuerungen zu gewährleisten, werden an deren Stromversorgungen ganz besondere Forderungen bezüglich Toleranzbereich und Welligkeit der Versorgungsspannung gestellt.
Bezüglich ihres Aufbaus handelt es sich dabei um ein- und dreiphasige Sicherheitstransformatoren mit nachgeschalteten Gleichrichtern und Kondensatorsiebung, die eine ungeregelte Gleichspannung von DC 24 V mit einer Welligkeit kleiner 5 % abgeben.

Strombelastbarkeit und Schutz von Kabeln, Leitungen und Stromschienen bei Überstrom

Der Schutz von Kabeln, Leitungen und Stromschienen ist nicht nur unter dem Gesichtspunkt der unzulässig hohen Erwärmung (Brandgefahr) zu betrachten, sondern auch unter dem Gesichtspunkt der Zuverlässigkeit des betreffenden Stromkreises, d.h., Schutzeinrichtungen sollten nicht unnötig auslösen.

Hinweis:

Selektivität sollte bei der Projektierung im Vordergrund stehen.

Überstrom-Schutzeinrichtungen müssen in allen Leitern, geerdet oder ungeerdet, vorgesehen werden. In Schutzleitern (einschließlich PEN-Leiter) und Potentialausgleichsleitern, d. h. in allen Leitern mit Schutzfunktion (Schutz gegen elektrischen Schlag), dürfen keine Überstrom-Schutzeinrichtungen vorgesehen werden. Jedoch müssen diese Leiter bei Kurzschluss durch die Schutzeinrichtungen in den anderen Leitern geschützt sein. Diese Schutzeinrichtungen müssen nur die Abschaltung des überlasteten, nicht jedoch die aller übrigen Leiter bewirken, es sei denn, dass dadurch eine Gefahr entstehen kann.

Der Schutz bei Überlast und Kurzschluss ist auch ohne Schutzeinrichtungen gegeben, wenn die Stromquelle nur einen Strom liefert, der die Strombelastbarkeit I_z, der Leiter nicht überschreitet, z. B. bei Klingeltransformatoren, Schweißtransformatoren und bestimmte Arten thermoelektrischer Generatoren.

Überstrom-Schutzeinrichtungen dürfen in Neutralleitern von TT- und TN-Systemen entfallen, wenn:

- der Querschnitt des Neutralleiters gleich dem Querschnitt des Außenleiters ist,
- der Querschnitt des Neutralleiters kleiner als der des Außenleiters ist.

Dabei müssen folgende Bedingungen gleichzeitig erfüllt werden:

- Der Neutralleiter ist durch die Schutzeinrichtung im Außenleiter bei Kurzschluss geschützt und
- der Höchststrom im Neutralleiter bei Normalbetrieb überschreitet nicht die Strombelastbarkeit I_z, des Neutralleiters. Dies setzt voraus, dass die Verbraucher möglichst gleichmäßig auf die Außenleiter verteilt angeschlossen werden müssen.

In allen übrigen Fällen sind Überstrom-Erfassungseinrichtungen im Neutralleiter erforderlich, die eine Abschaltung der Außenleiter, nicht aber unbedingt des Neutralleiters, herbeiführen.

In IT-Systemen muss im Neutralleiter jedes Stromkreises eine Überstromerfassung vorgesehen werden, außer:

- der betrachtete Neutralleiter wird durch eine vorgeschaltete Schutzeinrichtung geschützt oder
- dieser Stromkreis wird durch eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung geschützt, deren Bemessungsfehlerstrom (Nennfehlerstrom) höchstens das 0,15-fache der Strombelastbarkeit des betreffenden Neutralleiters beträgt und alle Leiter einschließlich des Neutralleiters abschaltet.

Der Schutz bei Überstrom wird in den Normen unterteilt in:

- Zuordnung von Schutzeinrichtungen zum Schutz bei Überlast und bei Kurzschluss nach DIN VDE 0100-430, DIN VDE 0100-473 und Beiblatt 5 zu DIN VDE 0100 und
- Strombelastbarkeit isolierter Kabel/Leitungen unter Berücksichtigung von Verlegebedingungen, Häufung, Leiter- und Isoliermaterial nach DIN VDE 0100-430, Beiblatt 1:91-11,
  DIN VDE 0298-4:79-11,
  DIN VDE 0298-2:79-11[1)],
  DIN VDE 0276 Teil 2 unter Berücksichtigung von
  DIN VDE 0276 Teil 100,
  Strombelastbarkeit von Stromschienen nach DIN 43 670 (Aluminium) bzw. DIN 43 671 (Kupfer) und Strombelastbarkeit von isolierten und blanken Leitern in Schaltgerätekombinationen nach
  DIN VDE 0660 Teil 507, die als PTSK ausgeführt werden.

Hinweis:

[1)]DIN VDE 0298-2 ist jedoch seit 31.12.1995 ungültig geworden. Belastungswerte sind jetzt direkt in den einzelnen Normen für Kabel enthalten. Da DIN VDE 0298-2 von der Physik her nicht falsch ist, darf sie auch weiterhin angewendet werden.

Zuordnung von Schutzeinrichtungen

Schutz bei Überlast

Überlastströme in den einzelnen Leitern müssen unterbrochen werden bevor die Isolierung, die Anschluss- und Verbindungsstellen sowie die Umgebung eine schädliche Erwärmung erleiden.
Ein Schutz bei Überlast muss - vorausgesetzt die vorgeschaltete Schutzeinrichtung kann den Schutz nicht übernehmen - bei jeder

Minderung der Strombelastbarkeit vorgesehen werden, z. B. bei
- Verkleinerung des Leiterquerschnitts (Parallelleiter kleinerer Querschnitte werden nicht als Minderung betrachtet, z. B. 2 x 35 mm^2 statt 1 x 85 mm^2),
- Änderung der Verlegung,
- Änderung des Aufbaus der Kabel bzw. Leitungen.

Die Länge der Leitung mit verminderter Strombelastbarkeit spielt dabei keine Rolle. Keinesfalls gilt, dass bei kurzen Leitungen die Querschnitte bei unverändertem Bemessungsstrom der Schutzeinrichtung vermindert werden können. Die Praxis zeigt jedoch, dass auf kurzen Strecken (≤ 1 m) bei geänderten Verlegebedingungen oder anderen Umgebungstemperaturen keine Reduzierung der Strombelastbarkeit berücksichtigt werden muss.

Der Schutz bei Überlast darf beliebig im Leitungszug angeordnet werden, wenn weder Abzweige noch Steckvorrichtungen vorhanden sind und ein Schutz bei Kurzschluss vorhanden ist, oder das Leiterstück nicht länger als 3 m, kurzschluss- und erdschlusssicher verlegt ist, und sich in der Nähe keine brennbaren Stoffe befinden.

Der Schutz bei Überlast darf entfallen (gilt z. B. nicht in feuer- und explosionsgefährdeten Bereichen),
- wenn mit dem Auftreten von Überlastströmen nicht gerechnet werden muss und weder Abzweige noch Steckvorrichtungen vorhanden sind, z. B. für Verbindungen zwischen Stromquelle (Trafo, Generator) und Schaltanlage,
- in Hilfsstromkreisen,
- in öffentlichen Verteilungsnetzen, oder
- wenn die vorgeschaltete Schutzeinrichtung den Schutz noch übernehmen kann.

Beachte:

Bei IT-Systemen sind vorgenannte Erleichterungen nur bedingt möglich.

Der Wegfall von Schutzeinrichtungen zum Schutz bei Überlast wird aus Sicherheitsgründen empfohlen bei:
- Erregerstromkreisen
- Speisung von Hubmagneten
- Sekundärkreisen von Stromwandlern
- Stromkreisen die der Sicherheit dienen, z. B. Feuerlöscheinrichtungen

Eine Überlast*melde*einrichtung wird hierfür empfohlen.

Bei der Auswahl von Schutzeinrichtungen zum Schutz bei Überlast gelten folgende wichtigen Bedingungen, die jedoch nicht immer den vollständigen Schutz bei Überlast garantieren:

Bedingung 1:

$$I_b \leq I_r \leq I_z$$

Bedingung 2:

$$I_2 \leq 1{,}45 \bullet I_z$$

I_b Betriebsstrom des Stromkreises
I_z Zulässige Strombelastbarkeit nach Beiblatt 1 zu DIN VDE 0100-430 oder DIN VDE 0298-4 oder DIN VDE 298-2 oder DIN VDE 0273 Teil 603 und Teil 1000
I_r Bemessungsstrom (Nennstrom) der Schutzeinrichtung,
I_2 Strom, der zur Auslösung unter festgelegter Bedingung führt (großer Prüfstrom)

Der Bemessungsstrom (Nennstrom) der Schutzeinrichtung bzw. der eingestellte Wert darf gleich dem Wert der zulässigen Strombelastbarkeit I_z sein.
Dabei gilt für:

- Leitungsschutzschalter mit Charakteristik B, C, D und die Charakteristik A: $I_2 \leq 1{,}45 \bullet Ir$
- Leistungsschalter: $I_2 \leq 1{,}35 \bullet Ir$
- Sicherungen: $I_2 \leq 1{,}45 \bullet Ir$
- thermisch verzögertes Überlastrelais: $I_2 \leq 1{,}25 \bullet Ir$

Bei einstellbaren Schutzeinrichtungen entspricht I_r dem eingestellten Wert.

Schutz bei Überlast parallel geschalteter Leiter

Wenn parallel geschaltete Leiter durch eine gemeinsame Schutzeinrichtung zum Schutz bei Überlast geschützt werden, gilt als Strombelastbarkeit I_z die Summe der einzelnen I_z-Werte, wenn

- die elektrischen Eigenschaften (Werkstoff von Leiter, Isolation und Querschnitt) sowie
- die Verlegebedingungen (Häufung, Länge)

übereinstimmen und keine Abzweige vorhanden sind. Innerhalb von Schaltgerätekombinationen dürfen Abgänge vorhanden sein.

Schutz bei Kurzschluss

Schutz bei Kurzschluss besteht dann, wenn Schutzeinrichtungen vorgesehen sind, mit denen die Kurzschlussströme unterbrochen werden, ehe eine für die Isolierung, die Anschluss- und Verbindungsstellen sowie die Umgebung schädliche Erwärmung bzw. schädliche mechanische Wirkungen hervorgerufen wird.
Der Schutz bei Kurzschluss ist gewährleistet, wenn das Ausschaltvermögen der Überstrom-Schutzeinrichtung mindestens dem maximal vorkommenden Kurzschlussstrom an der Einbaustelle entspricht. Falls diese Voraussetzung nicht erfüllt werden kann, ist ein Back-up-Schutz erforderlich.

Der Schutz bei Kurzschluss muss vorgesehen werden:
- Am Anfang jedes Stromkreises
- Bei reduzierter Kurzschlussbelastbarkeit, z. B. bei Querschnittsminderung, an Abzweigen oder bei Änderung der Isolation der Leiter.

Die Schutzeinrichtung zum Schutz bei Kurzschluss darf im Zuge des zu schützenden Leiterteils um maximal 3 m versetzt werden, wenn für das davor liegende Leiterteil mit reduzierter Kurzschlussbelastbarkeit folgende Bedingungen erfüllt sind:
1. Die Gefahr eines Kurzschlusses ist unter normalen Betriebsbedingungen nahezu ausgeschlossen.
2. Die Gefahr von Feuer- und Personenschäden ist auf ein Mindestmaß begrenzt.

Auf den Schutz bei Kurzschluss darf vollständig verzichtet werden in
- Kabeln bzw. Leitungen, die eine Verbindung zwischen Stromquelle (Trafo, Generator) mit der Schaltanlage herstellen, wobei eine Schutzeinrichtung in der Schaltanlage vorhanden sein muss (Schutzeinrichtung für den Schutz bei Kurzschluss und Überlast),
- Stromkreisen deren Unterbrechung eine Gefährdung mit sich bringen würde,
- bestimmten Messstromkreisen (z. B. Stromwandlerkreise),
- öffentlichen Verteilungsnetzen bei in Erde verlegten Kabeln oder bei Freileitungen,
- Stromkreisen, in denen folgende Bedingungen gleichzeitig erfüllt werden:
  - die Gefahr eines Kurzschlusses ist auf ein Mindestmaß begrenzt und
  - die Leiter befinden sich nicht in der Nähe brennbarer Baustoffe.

Als einzuhaltende Bedingungen für den Schutz bei Kurzschluss gilt:

$$q = \frac{\sqrt{t} \bullet I_a}{k}$$

q Leiterquerschnitt in mm^2
I_a Effektivwert des Stroms bei Kurzschluss in A, entspricht dem Strom, der die Schutzeinrichtung innerhalb der Zeit t zum Abschalten bringt, bzw. der Strom, der aufgrund der Schleifenimpedanz maximal zum fließen kommt.
t Abschaltzeit in s, wegen des Schutzes gegen elektrischen Schlag (Schutz gegen gefährliche Körperströme) max. 0,1 s bis 5 s.

Wenn der Kurzschlussstrom aus der Schleifenimpedanz ermittelt wurde, ist die entsprechende Abschaltzeit aus den Sicherungskennlinien zu entnehmen und in die Formel einzusetzen.

k Materialkoeffizient

für PVC-isolierte Cu-Leiter	115 A • $\sqrt{s}/mm^2$
für PVC-isolierte Al-Leiter	76 A • $\sqrt{s}/mm^2$
für gummiisolierte CU-Leiter	141 A • $\sqrt{s}/mm^2$

Beachte:

Die Gleichung zur Berechnung des Leiterquerschnitts ist nur bis zu einer Abschaltzeit von maximal 5 s anwendbar. Daraus ergibt sich die Forderung, dass Kurzschlüsse innerhalb von 5 s abgeschaltet werden müssen.

Hinweis:

Nur "impedanzlose" Fehler müssen betrachtet werden (nur Berücksichtigung der Leitungsimpedanz).

Bei koordiniertem Schutz brauchen die 5 s nicht eingehalten zu werden. Zu beachten ist jedoch der Schutz gegen gefährliche Körperströme bei dem eine Abschaltzeit zwischen 0,1 s und 5 s je nach Art des Stromkreises und der Höhe der Spannung nicht überschritten werden darf. Beide Anforderungen ergeben, dass die Kabel- bzw. Leitungslänge ein wesentlicher Faktor für die Erfüllung der Abschaltbedingung ist.

Für die Berechnung der maximal zulässigen Länge nach der Schutzeinrichtung für den Schutz bei Kurzschluss unter Berücksichtigung der Leitertemperatur im Betriebs- und Kurzschlussfall gilt für Drehstromverbraucher:

$$lz = \frac{\frac{U_0 \bullet 10^3}{I_{kerf}''} - Z_v}{Z'}$$

l_z Maximal zulässige Kabellänge (Entfernung) nach der Schutzeinrichtung in m
U_0 Spannung gegen Erde bzw. geerdeten Leiter in V
I_{kerf}'' Erforderlicher Kurzschlussstrom in A, der zum Abschalten der Schutzeinrichtung für den Schutz bei Kurzschluss führt, innerhalb der Zeit, in der der Leiter nicht unzulässig hoch erwärmt wird und unter Beachtung des "Schutzes gegen gefährliche Körperströme" innerhalb von 0,1 bis 5 s
Z_v Schleifenimpedanz von der Stromquelle (Trafo) bis zur Schutzeinrichtung in mΩ
Z' Schleifenimpedanz für 1 m Kabel/Leitung nach der Schutzeinrichtung in mΩ/m

Für Wechselstromverbraucher gilt:

$$l = \frac{\chi \bullet q \bullet 10^{-3} \left(\frac{U_0 \bullet 10^3}{I_{kerf}''} - Z_v \right)}{2}$$

χ Leitwert in mΩ/mm²
q Querschnitt in mm²
2 Faktor für Umrechnung Länge/Entfernung; bei halbem Rückleiter ist 3 einzusetzen.

Berücksichtigung der Durchlass-I^2t-Werte von Schutzeinrichtungen für den Schutz bei Kurzschluss

Bei sehr kurzen Abschaltzeiten (≤ 0,1 s) der Schutzeinrichtung (z. B. wenn der auftretende Kurzschlussstrom aufgrund kleiner Impedanzen sehr groß ist bzw. bei strombegrenzenden Schutzeinrichtungen, z. B. Sicherungen) muss in Wechselstrom- und Drehstromkreisen wegen der Gleichstromkomponente des Kurzschlussstroms der vom Hersteller der

Schutzeinrichtung für den Schutz bei Kurzschluss angegebene oder zu erfragende I^2t-Wert berücksichtigt werden. Daraus ergeben sich Probleme bei Schutzeinrichtungen, die in ≤ 0,1 s abschalten, z.B. bei Leistungsschaltern und Leitungsschutzschaltern.
Es gilt:

$$I^2 \cdot t \leq k^2 \cdot q^2$$

I Effektivwert des Stroms bei vollkommenem Kurzschluss (Durchlassstrom) in A
t Abschaltzeit in s
k Materialkoeffizient
q Querschnitt in mm^2

Cu-Leiter	Isolierung			
mm^2	PVC (*k*=115) $A^2 \cdot s$	Gummi (*k*=141) $A^2 \cdot s$	VPE, EPR (*k*=143) $A^2 \cdot s$	II K (*k*=134) $A^2 \cdot s$
0,5	$3{,}306 \cdot 10^3$	$4{,}97 \cdot 10^3$	$5{,}112 \cdot 10^3$	$4{,}489 \cdot 10^3$
0,75	$7{,}439 \cdot 10^3$	$11{,}183 \cdot 10^3$	$11{,}502 \cdot 10^3$	$10{,}100 \cdot 10^3$
1	$13{,}225 \cdot 10^3$	$19{,}881 \cdot 10^3$	$20{,}449 \cdot 10^3$	$17{,}956 \cdot 10^3$
1,5	$29{,}756 \cdot 10^3$	$44{,}732 \cdot 10^3$	$46{,}010 \cdot 10^3$	$40{,}401 \cdot 10^3$
2,5	$82{,}656 \cdot 10^3$	$124{,}3 \cdot 10^3$	$127{,}8 \cdot 10^3$	$112{,}225 \cdot 10^3$
4	$211{,}6 \cdot 10^3$	$318{,}1 \cdot 10^3$	$327{,}2 \cdot 10^3$	$287{,}3 \cdot 10^3$
6	$476{,}1 \cdot 10^3$	$715{,}7 \cdot 10^3$	$736{,}2 \cdot 10^3$	$646 \cdot 10^3$
10	$1\,322{,}5 \cdot 10^3$	$1\,988{,}1 \cdot 10^3$	$2\,044{,}9 \cdot 10^3$	$1\,795{,}6 \cdot 10^3$
16	$3\,385{,}6 \cdot 10^3$	$5\,089{,}5 \cdot 10^3$	$5\,234{,}9 \cdot 10^3$	$4\,596{,}7 \cdot 10^3$
25	$8\,265{,}6 \cdot 10^3$	$12\,426 \cdot 10^3$	$12\,781 \cdot 10^3$	$11\,223 \cdot 10^3$
35	$16\,200 \cdot 10^3$	$24\,354 \cdot 10^3$	$25\,050 \cdot 10^3$	$21\,996 \cdot 10^3$
50	$33\,063 \cdot 10^3$	$49\,703 \cdot 10^3$	$51\,123 \cdot 10^3$	$44\,890 \cdot 10^3$
70	$64\,803 \cdot 10^3$	$97\,417 \cdot 10^3$	$100\,200 \cdot 10^3$	$87\,984 \cdot 10^3$
95	$119\,356 \cdot 10^3$	$179\,426 \cdot 10^3$	$184\,552 \cdot 10^3$	$162\,053 \cdot 10^3$
120	$190\,440 \cdot 10^3$	$286\,286 \cdot 10^3$	$258\,566 \cdot 10^3$	$258\,566 \cdot 10^3$
150	$297\,563 \cdot 10^3$	$447\,323 \cdot 10^3$	$460\,103 \cdot 10^3$	$404\,010 \cdot 10^3$
185	$452\,626 \cdot 10^3$	$680\,427 \cdot 10^3$	$699\,867 \cdot 10^3$	$614\,544 \cdot 10^3$
240	$761\,760 \cdot 10^3$	$1\,145146 \cdot 10^3$	$1\,177\,862 \cdot 10^3$	$1\,034\,266 \cdot 10^3$
300	$1\,190\,250 \cdot 10^3$	$1\,789\,290 \cdot 10^3$	$1\,840\,410 \cdot 10^3$	$1\,616\,040 \cdot 10^3$
400	$2\,116\,000 \cdot 10^3$	$3\,180\,960 \cdot 10^3$	$3\,271\,840 \cdot 10^3$	$2\,872\,960 \cdot 10^3$
500	$3\,306\,250 \cdot 10^3$	$4\,970\,250 \cdot 10^3$	$5\,112\,250 \cdot 10^3$	$4\,489\,000 \cdot 10^3$

Zusammenstellung der $k^2 \cdot q^2$-Werte für isolierte Leiter. Die Werte sind mit den Durchlass-I^2t-Werten der Schutzeinrichtungen zu vergleichen.

Koordinierter Schutz bei Überlast und Kurzschluss

Der Schutz bei Überlast und Kurzschluss darf durch eine gemeinsame Überstrom-Schutzeinrichtung realisiert werden. Hierbei ist die Leitungslänge nicht relevant. Da jedoch der "Schutz gegen gefährliche Körperströme" berücksichtigt werden muss, ist diese Erleichterung nur dort zutreffend,

- wo Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit $I_{\Delta n} \leq 30$ mA verwendet werden, bzw.
- in IT-Systemen mit Schutz durch Meldung, z. B. durch Isolations-Überwachungseinrichtungen und zusätzlichem Potentialausgleich.

Erd- und kurzschlusssichere Leiter - kurzschlussfeste Leiter

Bei den Begriffen "erd- und kurzschlusssicher" sowie "kurzschlussfest" treten in der Praxis häufig Verwechslungen auf. Die nachfolgende Betrachtung macht die technischen Unterschiede deutlich und soll helfen Verwechslungen zukünftig auszuschließen.

Erd- und kurzschlusssicher:

Als "erd- und kurzschlusssicher" gilt eine Leiterverlegung (Kabel, Leitungen und blanke Leiter), bei der durch eine besondere Ausführung der Verlegung oder durch Verwendung besonderer Isoliermaterialien (z.B. Isolierungen mit höherer mechanischer Festigkeit) das Auftreten von Kurz- oder Erdschlüssen (Körperschlüssen) unter üblichen Betriebsbedingungen vermieden werden kann.
D. h., aufgrund der besonders sorgfältigen Verlegung (und natürlich auch besonders sorgfältig hergestellter Anschlüsse) werden Kurz- oder Erdschlüsse in diesem Bereich ausgeschlossen.

Kurzschlussfest:

Als "kurzschlussfest" werden elektrische Verbindungen, aber auch Betriebsmittel (z.B. Schaltgeräte) bezeichnet, die aufgrund vorgeschalteter Schutzeinrichtungen gegen die Auswirkungen von Kurzschlüssen geschützt sind (z. B. Back-up-Schutz). Als "kurzschlussfest" kann ein Leiter oder Betriebsmittel auch bezeichnet werden, wenn die vorgeschaltete Stromquelle nur einen solchen Kurzschlussstrom liefert, der nicht die Kurzschlussfestigkeit der angeschlossenen Betriebsmittel überschreitet.
D. h., jeder Kurzschluss auf einem "kurzschlussfesten" Leitungsstück wird durch eine vorgeschaltete Schutzeinrichtung abgeschaltet, bzw. überschreitet nicht die Werte der Kurzschlussfestigkeit der Betriebsmittel. Das setzt natürlich voraus, dass die Schutzeinrichtung für den in der Anlage größtmöglichen Kurzschlussstrom ausgewählt wurde.

Ungeachtet dessen, dass die Begriffe “erd- und kurzschlusssicher” in den Normen nicht mehr verwendet werden, gibt es für Verbindungen, die nicht gegen Kurzschluss geschützt sind - was nur in Ausnahmefällen erlaubt ist - folgende Anforderungen:

Schutzeinrichtungen für den Schutz bei Kurzschluss dürfen entfallen,

- bei Leitungen oder Kabeln, die Generatoren, Transformatoren, Gleichrichter oder Akkumulatorenbatterien mit ihrer Schaltanlage verbinden.
- bei Stromkreisen deren Unterbrechung den Betrieb der Anlage gefährden könnten.
- bei bestimmten Messstromkreisen.
- in öffentlichen Verteilungsnetzen für in Erde verlegte Kabel und für Freileitungen.
- bei Leitungen oder Kabeln, die so ausgeführt sind, dass die Gefahr eines Kurzschlusses auf ein Mindestmaß begrenzt ist, was durch folgende drei Bedingungen erreicht werden kann:
  - Verlegelänge nicht größer als 3 m,
  - Verstärkung des Schutzes gegen äußere Einflüsse, z.B. Verlegung in einem Schutzrohr,
  - Gefahr von Feuer oder Personenschäden sind auf ein Mindestmaß begrenzt und das Kabel oder die Leitung befindet sich nicht in der Nähe brennbarer Baustoffe.

Bei allen drei Bedingungen wird eine entsprechend geschützte Verlegung der Leitungen bzw. Kabel vorausgesetzt.

Nach DIN EN 60 439-1 (VDE 0660 Teil 500): 1994-04 gilt:
Innerhalb eines Schaltfelds dürfen Leiter zu nachgeschalteten Schutzeinrichtungen für den Schutz bei Kurzschluss für die verminderte Kurzschlussbeanspruchung, die auf der Ausgangsseite dieser Schutzeinrichtung auftreten kann, bemessen werden; vorausgesetzt die Verbindung ist so ausgeführt, dass unter üblichen Betriebsbedingungen weder ein Kurzschluss noch ein Erdschluss auftreten kann.

Dies kann nach DIN EN 60 439-1/A1 durch die in der Tabelle aufgeführten Leiter- und Verlegearten erreicht werden.

Leiterart	Anforderungen
Blanke Leiter (z.B. Schienen) oder basisisolierte einadrige Leiter, z.B. H07V-U (z.B. nach IEC 227-3, DIN VDE 0281-3 (VDE 0281 Teil 3)).	Gegenseitige Berührung oder Berührung mit leitfähigen Teilen (Körpern) ist zu verhindern, z.B. durch Abstandhalter.
Basisisolierte einadrige Leiter mit einer zulässigen Betriebstemperatur von ≥ 90 °C (nach IEC 245-3, DIN VDE 0250-1 (VDE 0250 Teil 1), Tabelle 2) oder wärmebeständige PVC-isolierte Leiter nach IEC 227-3.	Gegenseitige Berührung ohne Druck oder Berührung von leitfähigen Teilen (Körpern) ohne Druckeinwirkung ist zugelassen, jedoch keine Verlegung über scharfe Kanten. Die Gefahr einer mechanischen Beschädigung muss verhindert sein. Diese Leiter dürfen nur so belastet werden, dass eine Betriebstemperatur von 70 °C nicht überschritten wird.
Leiter mit Basisisolierung, z.B. H07V-U (z.B. Leiter nach IEC 227-3, DIN VDE 0281-3 (VDE 0281 Teil 3)) mit einem zusätzlichen mechanischen Schutz, z.B. einzeln mit Isolierschlauch überzogen oder einzeln in Kunststoffrohren verlegt.	
Leiter, deren Isolierung eine sehr hohe mechanische Festigkeit hat, z.B. ETFE-isolierte Leiter (z.B. nach DIN VDE 0250-106 (VDE 0250 Teil 106)) oder doppelt isolierte Leiter z.B. NSGAFöu (bemessen für die Verwendung bis 3 kV, z.B. Kabel nach IEC 502, DIN VDE 0250-602 (VDE 0250 Teil 602)).	Keine zusätzlichen Anforderungen, wenn die Gefahr einer mechanischen Beschädigung verhindert ist.
Ein oder mehradrige Kabel, z.B. NYY (z.B. nach IEC 245-4 oder IEC 227-4, DIN VDE 0271 (VDE 0271)).	
max. zulässige Länge bis zur nachgeschalteten Schutzeinrichtung für den Schutz bei Kurzschluss: 3 m	

Leiterart und Anforderungen an die Verlegung für Leiter vor Schutzeinrichtungen für den Schutz bei Kurzschluss innerhalb von Schaltfeldern.

Strombelastbarkeit

Nachfolgend sind die für die Installationspraxis relevanten Bestimmungen mit den entsprechenden Anforderungen aufgeführt.

DIN VDE 0100-430, Beiblatt 1:
Diese Bestimmung enthält Strombelastbarkeitstabellen und Zuordnungen von Schutzeinrichtungen für den Schutz bei Überlast für häufig vorkommende Verlegearten, vorwiegend in Wohngebäuden bei einer Leiterumgebungstemperatur von 25 °C.

DIN VDE 0298-4:
Diese Bestimmung gilt für alle üblichen Verlegearten von Kabel bzw. Leitungen in Luft, vorwiegend in Wohn- und Bürogebäuden, wobei zwischen fest verlegten Leitungen, flexiblen Leitungen sowie Leitungen mit erhöhter Wärmebeständigkeit unterschieden wird.

Die zulässige Strombelastbarkeit I_z ist abhängig vom Reduktionsfaktor f, der außer vom Material und der Isolierung des Leiters abhängig ist von der

- Umgebungstemperatur (f_1) (DIN VDE 0298-4),
- Häufung (f_2) (DIN VDE 0298-4),
- Leiterzahl (f_3) (DIN VDE 0298-4).

Der Gesamtumrechnungsfaktor beträgt demnach:

$$f_{ges} = f_1 \bullet f_2 \bullet f_3$$

DIN VDE 0298-2 gilt für Kabel bei Verlegung in Luft bzw. Erde mit U_0/U von 0,6/1 kV bis 18/30 kV und bedingt auch für Leitungen (NYM).

Die Strombelastbarkeit ist außer vom Material und von der Isolierung des Leiters abhängig von:

- Umgebungstemperatur (f_{L1}, f_{E1}),
- Häufung, Verlegeart (f_{L2}, f_{E2}),
- Leiterzahl (f_{L3}, f_{E3}),
- Verlegung in Erde (f_{E4}).

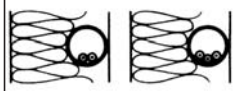
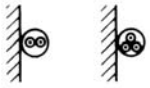
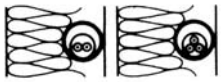
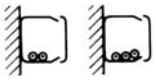
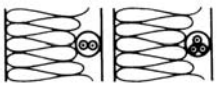
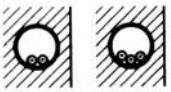
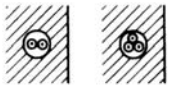
Daraus ergibt sich ein Gesamtumrechnungsfaktor:

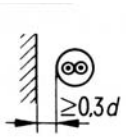
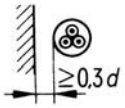
in Erde: $f_{Eges} = f_{E1} \bullet f_{E2} \bullet f_{E3} \bullet f_{E4}$
in Luft: $f_{Lges} = f_{L1} \bullet f_{L2} \bullet f_{L3}$

Hinweis:

Als Ersatz für DIN VDE 0298-2 gibt es DIN VDE 0276-603. In dieser Bestimmung sind jedoch nur noch Strombelastbarkeitswerte für Kabel in Luft und Erde enthalten. Die dazugehörigen Umrechnungsfaktoren sind in DIN VDE 0276-1000 zu finden, wobei sich die Strombelastbarkeit auf die gleiche Weise (mit den Faktoren f..) ermitteln lässt.

Verlegeart A, B1, B2 und C siehe nebenstehende Tabelle: ⇒ Strombelastbarkeit von Kupferleitungen und -kabeln. Dauerbetrieb bei 30 °C Umgebungstemperatur, zulässige Betriebstemperatur 70 °C.

Isolierwerkstoff	PVC															
Bauartkurzzeichen[2)]	NYM, NHXMH, NYBUY, NHYRUZY, NYIF, NYIFY, SIENOPYR, SIFLA, H07V-U, H07V-R, H07V-K															
Zulässige Betriebstemperatur	70 °C															
Umgebungs-temperatur	30 °C[3)]															
Anzahl der belasteten Adern	2		3		2		3		2		3		2		3	
Verlegeart	A				B1				B2				C			
	In wärmedämmenden Wänden				auf oder in Wänden oder unter Putz											
					in Elektroinstallationsrohren oder -kanälen								direkt verlegt			
	 Aderleitungen im Elektroinstallati-onsrohr[4) 7)]				Aderleitungen im Elektroinstalltionsrohr auf der Wand[5)]				Mehradrige Leitung im Elektroinstallationsrohr auf der Wand oder auf dem Fußboden				 Mehradrige Leitung auf der Wand oder auf dem Fußboden[6)]			
	 Mehradrige Leitung im Elektroinstallati-onsrohr[7)]				 Aderleitungen im Elektroinstallati-onskanal auf der Wand				Mehradrige Leitung im Elektro-installationskanal auf der Wand oder auf dem Fußboden				Einadrige Mantelleitungen auf der Wand oder auf dem Fußboden			
	 Mehradrige Leitung in der Wand				 Aderleitungen, einadri-ge Mantelleitung, mehradrige Leitungen im Elektroinstallati-onsrohr im Mauerwerk[8)]								 Mehradrige Leitung, Stegleitung in der Wand oder unter Putz[9)]			
Bemessungs-querschnitt q_r	Strombelastbarkeit I_z, und Bemessungsstrom I_r der Überstromschutzeinrichtung mit $I_2 \leq 1{,}45 \bullet I_z$ in A															
mm²	I_z	I_r	I_z	I_r	I_z	I_r	I_z	I_r	I_z	I_r	I_z	I_r	I_z	I_r	I_z	I_r
1,5	15,5	13	13	13	17,5	16	15,5	13	15,5	13	14	13	19,5	16	17,5	16
2,5	19,5	16	18	16	24	20	21	20	21	20	19	16	26	25	24	20
4	26	25	24	20	32	32	28	25	28	25	26	25	35	35	32	32
6	34	32	31	25	41	40	36	35	37	35	33	32	46	40	41	40
10	46	40	42	40	57	50	50	50	50	50	46	40	63	63	57	50
16	61	50	56	50	76	63	68	63	68	63	61	50	85	80	76	63
25	80	80	73	63	101	100	89	80	90	80	77	63	112	100	96	80
35	99	80	89	80	125	125	111	100	110	100	95	80	138	125	119	100
50	119	100	108	100	151	125	134	125	-	-	-	-	-	-	-	-
70	151	125	136	125	192	160	171	160	-	-	-	-	-	-	-	-
95	182	160	164	160	232	200	207	200	-	-	-	-	-	-	-	-
120	210	200	188	160	269	250	239	225	-	-	-	-	-	-	-	-

Isolierwerkstoff	PVC			
Bauartkurz-zeichen[2]	NYY, NYCWY, NYKY, NYM, NYMZ, NYMT, NYRUY, NHYRUZY			
Zulässige Betriebs-temperatur	70 °C			
Umgebungs-temperatur	30 °C[3]			
Anzahl der belasteten Adern	2		3	
Verlegeart	E		E	
	Frei in Luft verlegt, unter Einhaltung der angegebenen Abstände 		Frei in Luft verlegt, unter Einhaltung der angegebenen Abstände 	
Bemessungs-querschnitt q_r	Strombelastbarkeit I_z, und Bemessungsstrom I_r der Überstromschutzeinrichtung mit $I_2 \leq 1{,}45 \bullet I_z$ in A			
mm²	I_z	I_r	I_z	I_r
1,5	20	20	18,5	16
2,5	27	25	25	25
4	37	35	34	32
6	48	40	43	40
10	66	63	60	63
16	89	80	80	80
25	118	100	101	100
35	145	125	126	125
50	-	-	153	125
70	-	-	196	160
95	-	-	288	250
120	-	-	-	-
	[1] Projektierungshinweise in Heinhold, L.; Stubbe, R.: Kabel und Leitungen für Starkstrom, Teil 1 (1987) und Teil 2 (1989), Siemens AG, Berlin, München, und DIN VDE 0298-2. [2] Auflistung der Bauartkurzzeichen mit Angaben, welchen Normen die Kabel oder Leitungen entsprechen (siehe DIN VDE 0298-1/11.82 und DIN VDE 0298-3 sowie DIN VDE 0298-300). [3] Bei abweichenden Umgebungstemperaturen kann die Strombelastbarkeit I_z, mit Tabelle 10.3/6 umgerechnet werden. Diese Tabelle entspricht Tabelle 10 in DIN VDE 0298-4. [4] Gilt auch für Aderleitungen im Elektroinstallationsrohr in geschlossenen Fußbodenkanälen. [5] Gilt auch für Aderleitungen im Elektroinstallationsrohr in belüfteten Fußbodenkanälen. [6] Gilt auch für mehradrige Leitungen in offenen oder belüfteten Kanälen. [7] Gilt auch für Aderleitungen, einadrige Mantelleitungen, mehradrige Leitung im Elektroinstallationskanal im Fußboden. [8] Gilt auch für Aderleitungen im Elektroinstallationsrohr in der Decke. [9] Gilt auch für mehradrige Leitungen in der Decke.			

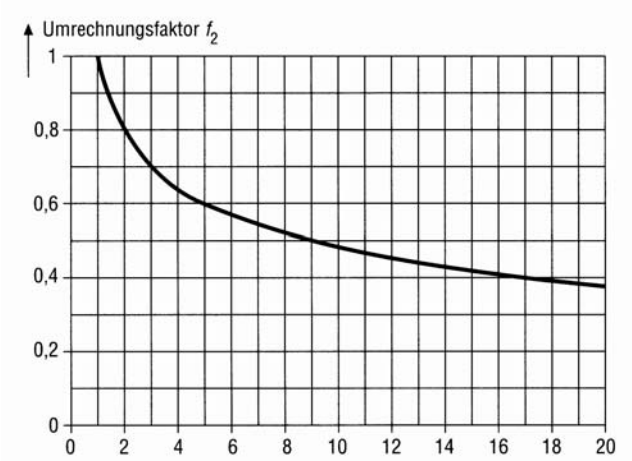
(Fortsetzung Strombelastbarkeit von Kupferleitungen und -kabeln. Dauerbetrieb bei 30 °C Umgebungstemperatur, zulässige Betriebstemperatur 70 °C.)
Verlegeart E, frei in Luft.

Umgebungstemperatur	Strombelastbarkeit I_z in % der Werte	
	Gummiisolierung, [1] zulässige Leitertemperatur	PVC-Isolierung, [2] [3] max. zulässige Leitertemperatur
°C	60 °C	70 °C
über 20 bis 25	108	106
über 25 bis 30	100	100
über 30 bis 35	91	94
über 35 bis 40	82	87
über 40 bis 45	71	79
über 45 bis 50	58	71
über 50 bis 55	41	61
über 55 bis 60	-	50

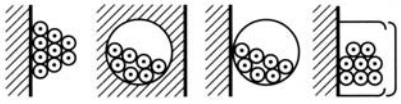
[1] NR Natur-Kautschuk
SR Synthetischer Kautschuk
[2] PVC Polyvinylchlorid
[3] vernetztes Polyäthylen (XLPE) 90 °C u. Silikongummi (SiR) 180 °C

Strombelastbarkeit I_z in % der Werte der Strombelastbarkeitstabelle für isolierte Leitungen und nicht im Erdreich verlegte Kabel bei Umgebungstemperaturen von 10 bis 70 °C. Strombelastbarkeit von Kabeln mit massegetränkter Papierisolierung und Metallmantel, s. DIN VDE 0255,11.72.

Umrechnungsfaktoren f_2 für Häufung, anzuwenden auf die Belastbarkeitswerte der Verlegung A, B1, B2 und C. Bei Häufung von Leitungen in Verlegeart E siehe DIN VDE 0298-4, Tabelle 12.



Anzahl der mehradrigen Kabel/Leitungen oder Anzahl der Wechsel- oder Drehstromkreise, aus einadrigen Leitungen (2 bzw. 3 stromführende Leiter).



⊙ *Symbol für eine einadrige oder eine mehradrige Leitung.*

Belastung isolierter Leitungen bei Umgebungstemperaturen von 30 °C bis 70 °C und Zuordnung von Leitungsschutzsicherungen nach US-amerikanischen und kanadischen Bestimmungen

Die nachfolgende Tabelle zeigt die zulässige Belastung isolierter Leiter nach amerikanischen und kanadischen Bestimmungen für eine Umgebungstemperatur bis 30 °C. Für höhere Umgebungstemperaturen von über 30 bis 70 °C gibt es eine entsprechende Erweiterungstabelle. Diesen Angaben sind folgende Bestimmungen zugrunde gelegt:
USA: National Electrical Code (NEC), 1993, table 310-16 und 310-17,
Kanada: Canadian Electrical Code (CEC), Part I, 1993, table 1-4, 13.

Bei der Verdrahtung von Industrieschaltgeräten werden normalerweise folgende isolierte Leitungen verwendet:

- Für Bemessungsströme bis 100 A: Leiter des Typs TW (thermoplast-isoliert, feuchtigkeitsbeständig, flammhemmend), Grenztemperatur 60 °C
- Für Bemessungsströme über 100 A: Leiter des Typs RH (gummiisoliert, wärmebeständig) oder des Typs THW (thermoplastisoliert, wärme- und feuchtigkeitsbeständig), Grenztemperatur 75 °C.

Sollen Leiterquerschnitt und Sicherungsbemessungsstrom für Umgebungstemperaturen über 30 °C ermittelt werden, so ist folgendermaßen zu verfahren:
Aus der entsprechenden Erweiterungstabelle ist für die gewünschte Umgebungstemperatur die zulässige Leiterbelastung bei Dauerstrom in Prozent der Werte nach der Grundtabelle für die zulässige Dauerbelastung isolierter Cu- bzw. Al-Leiter zu ermitteln. Ergibt sich dabei für Temperaturen über 30 °C ein größerer Leiterquerschnitt, so ist jedoch eine Sicherung zuzuordnen, die dem bei 30 °C ausreichenden Leiterquerschnitt der Grundtabelle entsprechen würde.

Umgebungstemperatur	Zulässige Dauerbelastung in % der Werte von Tabelle 10.3/7 Isolierte Leiter	
°C	Typ TW, UF	Typ RH, THW
über 20 bis 25	108	105
über 25 bis 30	100	100
über 30 bis 35	91	94
über 35 bis 40	82	88
über 40 bis 45	71	82
über 45 bis 50	58	75
über 50 bis 55	41	67
über 55 bis 60	-	58
über 60 bis 70	-	33

Zulässige Dauerbelastung isolierter Leiter in % der Werte der nebenstehenden Grundtabelle bei Umgebungstemperaturen über 20 bis 70 °C.

Leitergröße	Bemessungsquerschnitt q_r (äquivalent)	ISO-Bemessungsquerschnitt	Bis zu drei isolierte Leiter **in Rohr** verlegt oder Dreileiterkabel						Ein isolierter Leiter **frei in Luft** verlegt					
			Cu-Leiter			Al-Leiter			Cu-Leiter			Al-Leiter		
			Zulässige Dauerbelastung nach[5)/6)]		Bemessungsstrom der Sicherung[4)]	Zulässige Dauerbelastung nach[5)/6)]		Bemessungsstrom der Sicherung[4)]	Zulässige Dauerbelastung nach[5)/6)]		Bemessungsstrom der Sicherung[4)]	Zulässige Dauerbelastung nach[5)/6)]		Bemessungsstrom der Sicherung[4)]
			Typ	Typ		Typ	Typ		Typ	Typ		Typ	Typ	
			TW[2)] UF	RH[3)] THW RHW 75		TW[2)] UF	RH[3)] THW RHW 75		TW[2)] UF	RH[3)] THW RHW 75		TW[2)] UF	RH[3)] THW RHW 75	
AWG[1)]	mm²	mm²	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
14	2,08	2,5	20/15	20/15	15	-	-	-	25/15	30/15	15	-	-	-
12	3,31	4	25/20	25/20	20	20/15	20/15	15	30/20	35/20	20	25/15	30/15	15
10	5,26	6	30	35/30	30	25	30/25	25	40/25	50/25	30	35/25	40/25	25
8	8,37	10	40	50	40/50	30	40	30/40	60	70	60/70	45	55	45/60
6	13,3	16	55	65	60/70	40	50	40/50	80	95	80/100	60	75	60/80
4	21,15	25	70	85	70/90	55	65	60/70	105	125	110/125	80	100	80/100
3	26,66	-	85	100	90/100	65	75	70/80	120	145	125/150	95	115	100/125
2	33,63	35	95	115	100/125	75	90	80/90	140	170	150/175	110	135	110/150
1	42,41	-	110	130	110/150	85	100	90/100	165	195	175/200	130	155	150/175
1/0	53,51	50	125	150	125/150	100	120	100/125	195	230	200/250	150	180	150/200
2/0	67,44	70	145	175	150/175	115	135	125/150	225	265	225/300	175	210	175/225
3/0	85,02	95	165	200	175/200	130	155	150/175	260	310	300/350	200	240	200/250
4/0	107,22	-	195	230	200/250	150	180	150/200	300	360	300/400	235	280	250/300
kcmil (MCM)[1)]														
250	126,8	120	215	255	225/300	170	205	175/225	340	405	350/450	265	315	300/350
300	152,01	150	240	285	250/300	190	230	200/250	375	445	400/450	290	350	300/350
350	177,35	185	260	310	300/350	210	250	225/250	420	505	450/600	330	395	350/400
400	202,68	-	280	335	300/350	225	270	225/300	455	545	500/600	355	425	400/450
500	253,35	240	320	380	350/400	260	310	300/350	515	620	600/700	405	485	450/500
600	304,0	300	355	420	400/450	285	340	300/350	575	690	600/700	455	540	500/600
700	354,71	-	385	460	400/500	310	375	350/400	630	755	700/800	500	595	500/600
750	380,0	-	400	475	400/500	320	385	350/400	655	785	700/800	515	620	600/700
800	405,36	400	410	490	450/500	330	395	350/400	680	815	700/1000	535	645	600/700
900	456,04	-	435	520	450/600	355	425	400/450	730	870	800/1000	580	700	600/700
1000	506,70	500	455	545	500/600	375	445	400/450	780	935	800/1000	625	750	700/800
1250	633,38	-	495	590	500/600	405	485	450/500	890	1065	1000/1200	710	855	700/1000
1500	760,05	-	520	625	600/700	435	520	450/600	980	1175	1000/1200	795	950	800/1000
1750	886,7	-	545	650	600/700	455	545	500/600	1070	1280	1200/1600	875	1050	800/1000
2000	1013,4	-	560	665	600/700	470	560	500/600	1155	1385	1200/1600	960	1150	1000/1200

Grundtabelle: Zulässige Dauerbelastung isolierter Cu- bzw. Al-Leiter bei Umgebungstemperaturen von 30 °C (nach amerikanischern NEC und kanadischen Bestimmungen) mit zugeordneten Leitungsschutzsicherungen.

[1] AWG American Wire Gauge, amerikanisches Leiter-Normalmaß für Leiterquerschnitte bis 107,2 mm²
kcmil=kilo circular mil (1 kcmil entspricht 0,5067 mm²), bzw. MCM, amerikanisches Leiter-Normalmaß für Leiterquerschnitte ab 126,7 mm²
[2] Leitertemperatur 60 °C
[3] Leitertemperatur 75 °C
[4] Erste Zahl gilt für Leiter der Typen TW und UF, die zweite Zahl für Leiter der Typen RH, THW und RHW 75
[5] National Electrical Code 1993 (NPFA 70)
[6] Canadian Electrical Code, Part I (CEC), 1993

Thermische Belastbarkeit von Stromschienen und Geräteanschlussklemmen

Bei der Auswahl der Stromschienenquerschnitte sind zu berücksichtigen:

- Die in den einschlägigen DIN VDE-Bestimmungen zulässigen Stromschienen- und Gerätetemperaturen bei Bemessungsbetrieb und Kurzschluss
- Die zusätzlichen Herstellerangaben über angeschlossene Betriebsmittel
- Die zulässigen Grenztemperaturen der in der Nähe befindlichen Betriebsmittel
- Die zulässigen Grenztemperaturen der Isoliermittel, z. B. der an diese Schienen angeschlossenen isolierten Leiter.

Zulässige Grenztemperaturen bei Bemessungsbetrieb sind:

- für Stromschienenverschraubungen nach DIN 43 673, 02.82 oxidfrei und gefettet 120 °C, versilbert oder gleichwertig behandelt 160 °C
- für Stützer und Durchführungen nach DIN VDE 0674 Teil 1, 12.84 85 °C
- für Isolierstoffe mit Klasseneinteilung nach Entwurf DIN VDE 0301 Teil 1, 08.83 (IEC-Publ. 85, 1984) >90 °C

Empfohlene Grenztemperaturen im Kurzschlussfall sind nach DIN VDE 0103:

- für blanke Leiter, massiv oder verseilt, aus Kupfer oder Aluminium 200 °C
- für blanke Leiter, massiv oder verseilt, aus Stahl 300 °C
- für papier- und/oder kunststoffisolierte Leiter, massiv oder verseilt, sind die Temperaturen den entsprechenden Betriebsmittelnormen zu entnehmen

Zulässige Grenzübertemperaturen[1)] an Geräteanschlussklemmen nach DIN EN 60 947-1 (VDE 0660 Teil 100) für externe Anschlüsse sind:

- für Kupfer blank 60 K
- für Messing blank bzw. für Messing oder Kupfer verzinnt 65 K
- für Kupfer oder Messing, versilbert bzw. vernickelt 70 K[2)]

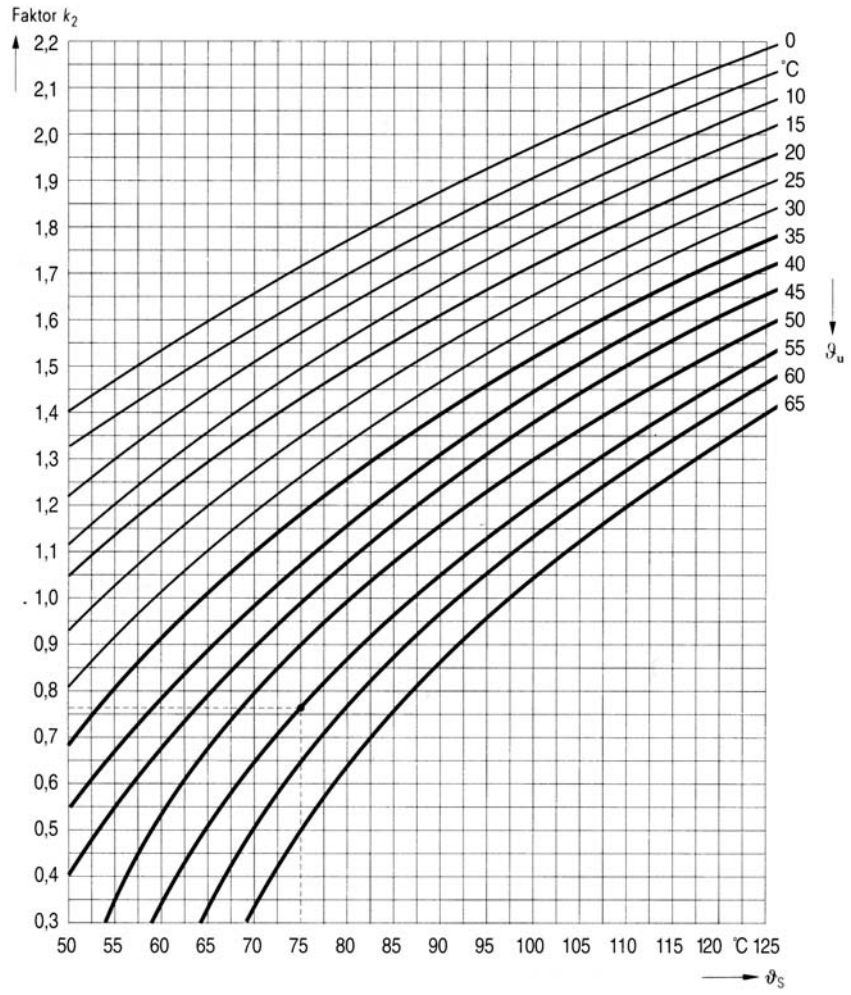
1) Die angegebenen Übertemperaturen dürfen geräteabhängig bei Geräten mit kleinen Abmessungen um max. 10 K überschritten werden.

2) Grenzübertemperaturen bei Anschluss von PVC-Kabeln.

Kupferschienen:
In der entsprechenden Tabelle sind die Belastungswerte für Stromschienen aus Kupfer für eine Umgebungstemperatur von 35 °C und für eine Betriebstemperatur der Stromschienen von 65 °C angegeben. Bei anderen Umgebung- und Schienentemperaturen sind die in der Tabelle aufgeführten Belastungswerte für Kupferschienen mit dem Faktor k_2 durch Division umzurechnen.

Breite x	Quer-	Breite x	Gewicht	Dauerstrom							
Dicke	schnitt	Dicke		Wechselstrom bis 60 Hz				Gleich- und Wechselstrom bis 16 $^2/_3$ Hz			
	q			gestrichen		blank		gestrichen		blank	
				Schienenanzahl		Schienenanzahl		Schienenanzahl		Schienenanzahl	
				I	II	I	II	I	II	I	II
mm	mm²	inch	kg/m	A	A	A	A	A	A	A	A
2x5	99,1	0,75x0,20	0,882	319	560	274	500	320	562	274	502
30x5	149	1x0,25	1,33	447	760	379	672	448	766	380	676
40x5	199	1,25x0,25	1,77	573	952	482	836	576	966	484	848
50x5	249	1,5x0,25	2,22	697	1140	583	994	703	1170	588	1020
20x10	199	0,75x0,5	1,77	497	924	427	825	499	932	428	832
30x10	299	1x0,5	2,66	676	1200	573	1060	683	1230	579	1080
40x10	399	1,25x0,5	3,55	850	1470	715	1290	865	1530	728	1350
50x10	499	1,50x0,5	4,44	1020	1720	852	1510	1050	1830	875	1610
60x10	599	2x0,5	5,33	1180	1960	985	1720	1230	2130	1020	1870
80x10	799	2,5x0,5	7,11	1500	2410	1240	2110	1590	2730	1310	2380
100x10	999	3x0,5	8,89	1810	2850	1490	2480	1940	3310	1600	2890
120x10	1200	3,75x0,5	10,7	2110	3280	1740	2866	2300	3900	1890	3390
160x10	1600	5x0,5	14,2	2700	4130	2220	3590	3010	5060	2470	4400
200x10	2000	6x0,5	17,8	3290	4970	2960	4310	3720	6220	3040	5390

Stromschienen aus Kupfer nach DIN 43 671, 12.75 (Auszug) für eine Schienen-Umgebungstemperatur ϑ_u von 35 °C und einer Betriebstemperatur ϑ_s der Schienen von 65 °C, Werkstoff: E-CuF30.



Faktor k_2 zur Ermittlung des Leiterquerschnitts von Kupferschienen bei Schienen-Umgebungstemperaturen ϑ_u von 0 bis 65 °C und/oder Schienen-Betriebstemperaturen ϑ_s bis 125 °C.

Hinweis:

Für PTSK gelten 50 °C als Schienenumgebungstemperatur und 70 °C als Schienenbetriebstemperatur als üblich, auch wenn in einer PTSK der Erwärmungsnachweis auf 55 °C an der Schrankoberkante basiert, da die Schienen zwar meist oben, jedoch nicht unmittelbar unter dem Dach angeordnet sind.

Dies darf auch zugrunde gelegt werden, obwohl in DIN EN 60 439 Teil 507 Al die Werte auf 55 °C basieren.
Wenn an die Schienen keine PVC-isolierten Leiter angeschlossen werden, darf die Schienentemperatur auf 85 °C festgelegt werden. Damit ergibt sich für 50 °C und 70 °C ein Faktor von 0,78 und bei 85 °C ein Faktor von 1,07. Für TSK können Schienenbetriebstemperaturen von 125 °C zugrunde gelegt werden.

Aluminiumschienen

Im Hinblick auf die dynamische Festigkeit und die Verwendung von Schrauben der Güteklasse 8 und damit mit Rücksicht auf die Stromtragfähigkeit und Temperaturbeanspruchung, wird für Stromschienen aus Aluminium die Verwendung von E-Al MgSi05 F17 vorgeschlagen.

Hinweis:

Die Strombelastbarkeit ist um mehr als ein Drittel geringer als bei Cu-Schienen und kann nach DIN 43 671 ermittelt werden.

Widerstand von Kupfer- und Aluminiumleitern

Zur Ermittlung von 2- und 3-poligen Kurzschlussströmen nach DIN VDE 0102, 01.90 können die Wirkwiderstände je einfache Längeneinheit von Kupferleitern bei einer Leitertemperatur von 20 °C und von Aluminiumleitern ebenfalls bei einer Leitertemperatur von 20 °C der entsprechenden Tabelle entnommen werden und sind mit nachstehender Gleichung auf 80 °C Leitertemperatur umzurechnen.

Hinweis:

Die Leiterwiderstände können den an den Transformatorklemmen auftretenden (dreipoligen) Kurzschluss je nach Länge und Leiterquerschnitt erheblich dämpfen. Diese Dämpfung ist umso wirkungsvoller je kleiner die Leistung und die Sekundärspannung und je größer u_{kr} des Transformators ist.

TIPP:

Als Faustformel gilt: Ein Kurzschlussstrom I_k'' von z. B. 50 kA an den sekundärseitigen Transformatorklemmen wird in einem 400-V-Netz durch ein Verbindungskabel mit 70 mm² Cu-Leiterquerschnitt bereits nach 10 m auf etwa 30 kA gedämpft, bei 240 mm² dagegen erst nach 33 m.

Die in der entsprechenden Tabelle angegebenen Werte für die Wirkwiderstände R_L' von Kupfer- und Aluminiumleitern sind für Leitertemperaturen über 20 °C näherungsweise nach folgender Beziehung umzurechnen:

$$R_{\vartheta 2} = R_{20}\,(1 + \alpha_{20} \bullet \Delta\vartheta)$$

Für Kupfer ist: $\alpha_{20} = 0,00393$
für Aluminium ist: $\alpha_{20} = 0,00403$

Kupfer		Aluminium[1)]	
Bemessungsquer-schnitt q_r mm²	Ohmscher Widerstand mΩ/m	Bemessungsquer-schnitt q_r mm²	Ohmscher Widerstand mΩ/m
0,75	24,17	-	-
1	18,09	-	-
1,5	12,06	-	-
2,5	7,26	-	-
4	4,55	-	-
6	3,02	-	-
10	1,81	10	2,88
16	1,14	16	1,89
25	0,73	25	1,20
35	0,53	35	0,88
50	0,39	50	0,64
70	0,27	70	0,45
95	0,20	95	0,32
120	0,157	120	0,26
150	0,129	150	0,21
185	0,10	185	0,17
240	0,080	240	0,13
300	0,069	300	0,105

Ohmscher Widerstand R_L' je einfache Längeneinheit von Kupfer- und Aluminiumleitern bei 20 °C Leitertemperatur und 50 Hz. In beiden Tabellen sind die Wirk- und Blindwiderstandsbeläge für einen Leiter pro einfache Längeneinheit angegeben. Das bedeutet, dass der Wirkwiderstand Rd bei etwas über 80 °C etwa 25 % über den angegebenen Werten in der oberen Tabelle liegt.

[1)] Der ohmsche Widerstand von Aluminium-Leitern ist etwa um den Faktor 1,7 höher als der von Kupfer-Leitern.

Bemessungsquerschnitt q_r	Kabel für 0,6/1 kV		
	N(A)KBA, 4-Leiter	N(A)KLEY, 3 1/2-Leiter	N(A)YY, NYCY, N(A)YCWY, 4-Leiter
mm²	X_L' mΩ/m	X_L' mΩ/m	X_L' mΩ/m
1,5	-	-	0,115
2,5	-	-	0,110
4	-	-	0,107
6	-	-	0,100
10	0,103	-	0,094
16	0,099	-	0,090
25	0,094	-	0,086
35	0,092	-	0,083
50	0,090	0,071	0,083
70	0,087	0,069	0,082
95	0,086	0,068	0,082
120	0,086	0,068	0,080
150	0,085	0,067	0,080
185	0,085	0,067	0,080
240	0,084	0,066	0,079
300	0,084	-	0,079

Die in der Tabelle angegebenen Werte für die induktiven Blindwiderstände X_L' von Kupfer- und Aluminiumleitern bei 50 Hz sind für andere Frequenzen proportional umzurechnen, z. B. für 60 Hz: $X_{60Hz}' = 60/50 \bullet X_L' = 1,2 \bullet X_L'$

Bemessungsströme von Drehstrom-Asynchronmotoren
Die Bemessungsströme von Drehstrom-Asynchronmotoren für 50-Hz- und 60-Hz-Netze können von Hersteller zu Hersteller geringfügig differieren. Der Zusammenhang von Motorpolzahl und zugehöriger Motordrehzahl bei Leerlauf und bei Bemessungslast in 50-Hz-Netzen lässt sich sehr gut darstellen.

Hinweis:

Bei Betrieb in 60-Hz-Netzen erhöht sich die 50-Hz-Motordrehzahl um etwa 20 % und die 50-Hz-Bemessungsleistung auf etwa das 1,15-fache bei nahezu unverändertem Leistungsfaktor (cos φ). Für andere als die in der Tabelle angegebenen Netzspannungen sind die Ströme entsprechend umzurechnen.

Genormte Motorbe-messungs-leistungen		200 V[1)]	208 V[1)]	230 V[2)]	230 V[1)] (220-240 V)	400 V/ 380 V[2)]	460 V[1)] (440 - 480 V)	500 V[2)]	575 V[1)] (550-600 V)	690 V[2)]
kW[3)]	HP[1)]	Zugeordnete Bemessungsströme I_r in A								
0,25	1/3	1,75	1,7	1,6	1,5	0,9	0,75	-	-	-
0,37	1/2	2,5	2,4	2,0	2,2	1,1	1,1	-	0,9	-
0,55	3/4	3,7	3,5	2,6	3,2	1,5	1,6	1,2	1,3	0,9
0,75	1	4,8	4,6	3,3	4,2	1,9	2,1	1,5	1,7	1,1
1,1	1,5	6,9	6,6	4,3	6,0	2,5	3,0	2,0	2,4	1,4
1,5	2	7,8	7,5	5,8	6,8	3,3	3,4	2,6	2,7	1,9
2,2	3	11	10,6	8,3	9,6	4,7	4,8	3,8	3,9	2,7
3	-	-	-	11,0	-	6,3	-	5,0	-	3,6
(3,7)	5	17,5	16,7	-	15,2	-	7,6	-	6,1	-
4	-	-	-	14	-	8	-	6,5	-	4,7
5,5	7,5	25,3	24,2	19	22	11	11	9,0	9,0	6,3
7,5	10	32,2	30,8	26	28	15	14	12	11	8,5
11	15	48,3	46,2	36	42	21	21	17	17	12
15	20	62,1	59,4	50	54	28	27	23	22	16
18,5	25	78,2	74,8	61	68	35	34	28,5	27	20
22	30	92	88	73	80	42	40	33	32	24
30	40	120	114	99	104	57	52	45	41	33

Bemessungsströme von vierpoligen Drehstrom-Asynchronmotoren in Grundausführung Schutzart IP54, für 50-Hz- bzw. 60-Hz-Netze (1.500 bzw. 1.800 min^{-1}).

Genormte Motorbe-messungs-leistungen		200 V[1)]	208 V[1)]	230 V[2)]	230 V[1)] (220-240 V)	400 V/ 380 V[2)]	460 V[1)] (440 - 480 V)	500 V[2)]	575 V[1)] (550-600 V)	690 V[2)]
kW[3)]	HP[1)]	Zugeordnete Bemessungsströme I_r in A								
37	50	150	143	120	130	69	65	55	52	40
45	60	177	169	140	154	81	77	65	62	47
55	75	221	211	173	192	100	96	80	77	58
75	100	285	273	228	248	131	124	105	99	76
90	125	359	343	281	312	162	156	129	125	94
110	150	414	396	339	360	195	180	156	144	113
132	-	-	-	405	-	233	-	187	-	135
-	200	552	528	-	480	-	240	-	192	-
160	-	-	-	496	-	285	-	228	-	165
-	250	-	-	-	-	-	302	-	242	-
200	-	-	-	611	-	352	-	281	-	204
-	300	830	794	-	722	-	361	-	289	-
250	-	-	-	785	-	431	-	360	-	262
-	350	952	911	-	828	-	414	-	336	-
-	400	1097	1050	-	954	-	477	-	382	-
315	-	-	-	925	-	532	-	426	-	308
335	450	1230	1177	975	1070	561	515	448	412	325
355	-	-	-	-	-	608	-	486	-	352
375	500	1357	1298	1057	1180	637	590	509	472	369
400	-	-	-	1190	-	684	-	547	-	397
450	600	-	-	1338	1416	770	708	615	567	446
500	-	-	-	1470	-	846	-	676	-	490
530	700	-	-	1578	1652	907	826	726	661	526
560	-	-	-	-	-	950	-	760	-	551
600	800	-	-	-	1888	1017	944	813	755	589
630	-	-	-	-	-	1064	-	851	-	617
670	900	-	-	-	2124	1140	1062	912	850	661
710	-	-	-	-	-	1216	-	973	-	705
750	1000	-	-	-	2360	1283	1180	1026	944	743
800	-	-	-	-	-	1378	-	1102	-	799
850	-	-	-	-	-	1463	-	1170	-	848
900	1200	-	-	-	2832	1549	1416	1239	1132	898
950	-	-	-	-	-	1634	-	1307	-	947
1000	-	-	-	-	-	1720	-	1376	-	997

Bemessungsströme von vierpoligen Drehstrom-Asynchronmotoren in Grundausführung Schutzart IP54, für 50-Hz- bzw. 60-Hz-Netze (1.500 bzw. 1.800 min^{-1}).

[1)] nach NEC 96 (nur bis 500 HP), ab 500 HP nach UL 508 (19.9.77) table 24.4 für 60 Hz
[2)] ca. Bemessungsstrom eines vierpoligen Asynchronmotors bei 50-Hz-Netzen
[3)] nach DIN 42 973

Polzahl	Synchrone Drehzahl n[1)]		Drehzahl bei Bemessungsbelastung	
	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz
	min^{-1}	min^{-1}	min^{-1}	min^{-1}
2	3000	3600	2800-2950	3360-3540
4	1500	1800	1400-1470	1680-1765
6	1000	1200	900-985	1080-1180
8	750	900	690-735	830-880
10	600	720	550-585	660-700

Zusammenhang zwischen Motorpolzahl und Motordrehzahl in 50-Hz bzw. 60-Hz-Netzen.
[1)] Ungefähre Leerlaufdrehzahl

Drehstrom-Verteilungstransformatoren

Ein überschlägiges Verfahren zur Ermittlung der Kurzschlussströme in Niederspannungs-Strahlennetzen bedient sich folgender Faustformeln:

Transformator-Bemessungsstrom:

I_r (in A) = K • S_{rT} (in kVA)

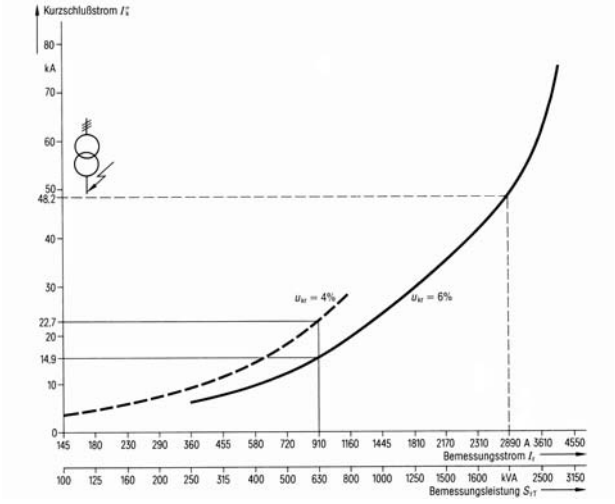
bei 400 V: K = 1,45
bei 525 V: K = 1,1
bei 690 V: K = 0,85

Transformator-Anfangskurzschlusswechselstrom:

$$I_k'' \approx I_k = \frac{I_r \bullet 100}{u_{kr}}$$

Hinweis:

Die Grafik zeigt, dass die Kurzschlussströme von Transformatoren meist nicht so hoch sind wie allgemein angenommen wird.



Unbeeinflusster Anfangs-Kurzschlusswechselstrom I_k'' von Transformatoren (400 V, 50 Hz), abhängig von der Transformator-Bemessungsleistung S_{rT} und dem Bemessungswert der Kurzschlussspannung u_{kr}.

Kurzzeichen der Kühlungsart und ihre Anordnung nach DIN VDE 0532 Teil 2, 01.89[1)]

Kühlmittel:

O Mineralöl oder synthetische Kühl- und Isolierflüssigkeit mit Brennpunkt ≤ 300 °C
K Synthetische Kühl- und Isolierflüssigkeit mit Brennpunkt > 300 °C
L Synthetische Kühl- und Isolierflüssigkeit mit nichtmessbarem Brennpunkt
A Luft

Kühlmittelbewegung:

N Natürliche Bewegung (Selbstkühlung)
F Erzwungene Bewegung (Öl nicht gerichtet)
D Erzwungene Bewegung (Öl gerichtet)

Für Wicklungskühlung		Für äußere Kühlung	
1. Buchstabe	2. Buchstabe	3. Buchstabe	4.Buchstabe
Kühlmittel	Kühlmittelbewegung	Kühlmittel	Kühlmittelbewegung

Folge der Buchstaben-Kurzzeichen, z. B. ONAN.

Ausführung		Bemessungs-leistungen S_{rT} kVA	Höchste Spannung für Betriebs-mittel U_m kV	Bemessungs-wert der Kurzschluss-spannung u_{kr} %	Kühlungsart	DIN
Ölgefüllte Transformatoren		50-630	24	4	ONAN	42 500[1)]
		1000-3150	24	6	ONAN	42 500[1)]
Trockentrans-formatoren	E,B,F	100-630	1,1	4	AN	42 524
	E,B,F	100-630	12	4		
	E,B,F	250-1600	12	6		
in Isolierstoff-klasse	H	100-630	1,1	4		
	H	250-1600	1,1	6		
	H	400-630	12	4		
	H	400-1600	12	6		
Gießharztransformatoren		100-630	12	4	AN	42 523[2)]
		1000-2500	12	6		
		250-2500	24	6		

Wichtige Kenndaten von Drehstrom-Verteilungstransformatoren: 1) EG-Norm, entspricht dem HD428 des Europäischen Komitees für Elektrotechnische Normung CENELEC. 2) Es ist eine Normal-Reihe (N) und eine Reduzierte Reihe (R) mit gegenüber N um etwa 23 % verringerten Leerlaufverlusten und um 8 dB verminderten A-Schallleistungspegeln vorgesehen.

Bemessungs-spannung U_{rT}	400/230 V, 50 Hz			525 V, 50 Hz			690/400 V, 50 Hz		
Bemessungs-wert der Kurzschluss-spannung u_{kr}		4 %[1]	6 %[2]		4 %[1]	6 %[2]		4 %[1]	6 %[2]
Bemessungs-leistung	Bemessungs-strom I_r	Anfangskurzschlusswechselstrom I_k''[3]		Bemessungs-strom I_r	Anfangskurzschlusswechselstrom I_k''[3]		Bemessungs-strom I_r	Anfangskurzschlusswechselstrom I_k''[3]	
kVA	A	A	A	A	A	A	A	A	A
50	72	1 800	1 200	55	1 375	910	42	1 040	690
100	144	3 600	2 400	110	2 750	1 830	84	2 080	1 390
160	230	5 770	3 850	176	4 400	2 930	133	3 320	2 230
200	288	7 200	4 810	220	5 500	3 660	167	4 160	2 780
250	360	9 025	6 015	275	6 875	4 580	209	5 220	3 480
315	455	11 375	7 580	346	8 560	5 770	262	6 650	4 360
400	578	14 400	9 630	440	11 000	7 330	335	8 330	5 580
500	722	18 050	11 030	550	13 750	9 160	418	10 450	6 960
630	910	22 750	14 860	693	17 300	11 550	525	13 120	8 760
800	1 154	28 850	19 260	880	22 000	14 660	670	16 750	11 160
1 000	1 444	36 100	24 060	1 100	27 500	18 330	836	20 900	13 930
1 250	1 805	45 125	30 080	1 375	34 375	22 910	1 046	26 160	17 430
1 600	2 310	57 800	36 530	1 760	44 000	29 300	1 330	33 250	22 170
2 000	2 887	-	48 180	2 200	55 000	36 660	1 674	41 850	27 890
2 500	3 608	-	60 150	2 749	-	45 800	2 090	-	34 840
3 150	4 550	-	75 850	3 470	-	57 840	2 640	-	44 000

Bemessungsströme und Anfangskurzschlusswechselströme von Drehstrom-Verteilungstransformatoren mit 50 bis 3150 kVA

[1] *u_{kr} = 4 %, genormt nach DIN 42 503 für S_{rT} = 50...630 kVA*

[2] *u_{kr} = 6 %, genormt nach DIN 42 511 für S_{rT} = 100...1600 kVA*

[3] *I_k'' Unbeeinflusster Transformator-Anfangskurzschlusswechselstrom beim Anschluss an ein Netz mit unbegrenzter Kurzschlussleistung*

Typische Werte des prozentualen Bemessungswerts der Kurzschlussspannung von Transformatoren mit zwei getrennten Wicklungen		Höchstzulässige Kurzschlussdauer für deutsche und österreichische Netze [1]	Kurzschlussleistung des Netzes, die bei fehlenden Angaben verwendet werden darf	
Bemessungs-leistung S_{rT} kVA	Bemessungskurz-schlussspannung u_{kr} %		Höchste Spannung für Betriebsmittel U_m kV	Kurzschluss-leistung S des Netzes MVA
bis 630	4,0	2	7,2; 12; 17,5; 24	500
631 bis 1250	5,0	3	36	1000
1251 bis 3150	6,25	4	52; 72,5	3000

$$I_k = \frac{U_{rT} \bullet 10^3}{(Z_T + Z_s)\sqrt{3}} \quad \text{mit } Z_s = \frac{U_s^2}{S} \quad \text{und } Z_T = \frac{10 \bullet u_{kr} \bullet U_{rT}^2}{S_{rT}} \quad \text{für } Z_s = 0 \quad \text{wird} \quad I_k / I_r = \frac{100}{u_{kr}} \quad [2]$$

Dauerkurzschlussströme und ihre höchstzulässige Dauer nach DIN VDE 0532 Teil 5, 05.84:

I_k Dauerkurzschlussstrom in A
I_r Bemessungsstrom der betroffenen Wicklung in A
U_{rT} Bemessungsspannung der betroffenen Wicklung in kV
U_s Nennspannung des Netzes in kV
Z_s Kurzschlussimpedanz des Netzes in Ω/Phase[2)]
Z_T Kurzschlussimpedanz des Transformators in Ω/Phase
1) Die IEC-Publikation 76-5 (1976) sieht eine Kurzschlussdauer von einheitlich 2 s vor für $I_k/I_r \leq 25$
2) Z_s wird nur berücksichtigt bei $S_{rT} \leq 3.150$ kVA mit $Z_s/Z_T > 0,05$

Zulässige Übertemperaturen nach DIN VDE 0532 Teil 2, 01.89

Öltransformatoren:
Thermische Klasse A:
Wicklung 65 K bei ON- oder OF-Kühlung,
70 K bei OD-Kühlung:
Öl (oben):
60 K bei Transformatoren mit Ausdehnungsgefäß oder bei hermetisch geschlossenem Transformator,
55 K ohne Ausdehnungsgefäß und ohne hermetischen Abschluss des Transformators.

Trockentransformatoren:

Thermische Klasse	A	E	B	F	H	C
Wicklung K	60	75	80	100	125	≥150

Temperatur des Kühlmittels:
- bei Luftkühlung

Maximaltemperatur: 40 °C,
Minimaltemperatur: -25 °C (kurzzeitig -30 °C),
mittlere Temperatur: Tag: max. 30 °C,
Jahr: max. 20 °C;

- bei Wasserkühlung

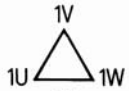
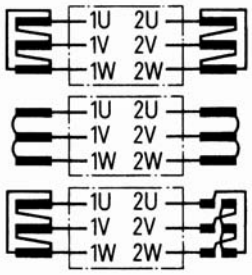
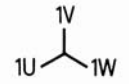
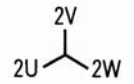
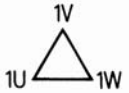
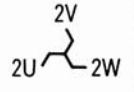
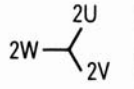
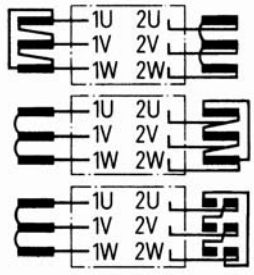
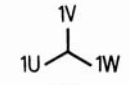
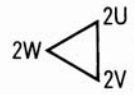
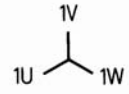
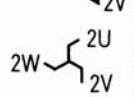
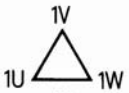
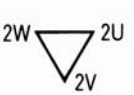
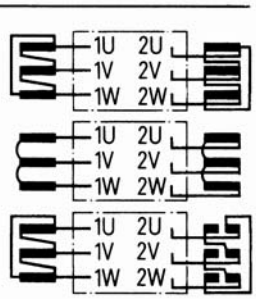
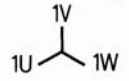
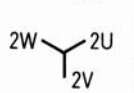
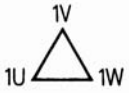
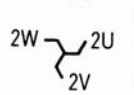
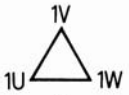
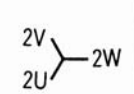
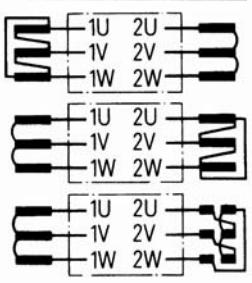
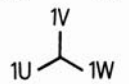
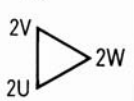
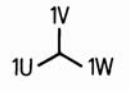
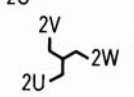
Eintrittstemperatur max. 25 °C.

Schaltzeichen und Schaltgruppen von Drehstrom-Verteilungstransformatoren

Da die Energieversorgung heute auf dem Drehstromsystem beruht, werden Leistungstransformatoren fast immer als Drehstromeinheiten gebaut. Für die elektrische Schaltung der drei Oberspannungs- und Unterspannungswicklungen besteht dabei eine Vielzahl von Möglichkeiten, von denen die wichtigsten in DIN VDE 0532 zusammengestellt sind.
Die Darstellung der Wicklungen mit den vollständigen Anschlussbezeichnungen erfolgt nach DIN 42 402. Die vor den Buchstaben U, V und W stehenden Zahlen 1 und 2 kennzeichnen die Oberspannungs- bzw. Unterspannungswicklung. Die den Buchstaben nachgestellten Zahlen 1 und 2 bezeichnen Anfang und Ende eines Wicklungsstrangs, die oft weggelassen werden.

Zur Kennzeichnung der Schaltung von Oberspannungs- und Unterspannungswicklung dient die Schaltgruppe, die außerdem die Phasenlage der Spannungen zueinander angibt. Mit der Stern-, der Dreieck- und der Zickzackschaltung bestehen drei Möglichkeiten zur Verbindung der Wicklungen jeder Seite. Ihnen sind die Zeichen Y, D und Z für die Oberspannungsseite zugeordnet.

Ist der Sternpunkt einer Wicklung in Stern- oder Zickzackschaltung herausgeführt, wird zur Kennzeichnung ein N bzw. ein n zugefügt, z.B. Dyn5, Yzn, Ynd5.

Kennzahl	Schaltgruppe [1]	Zeigerbild OS	Zeigerbild US	Schaltungsbild [2] OS / US
0	Dd0			
	Yy0			
	Dz0			
5	Dy5			
	Yd5			
	Yz5			
6	Dd6			
	Yy6			
	Dz6			
11	Dy11			
	Yd11			
	Yz11			

Die Tabelle zeigt die gebräuchlichsten Schaltgruppen von Drehstrom-Verteilungstransformatoren. Die eingerahmten Schaltgruppen werden bevorzugt angewendet.

[1] *Bei herausgeführtem Sternpunkt ist hinter dem Schaltungszeichen der Wicklung N bzw. n zu ergänzen.*

[2] *Bei den Wicklungen ist gleicher Wickelsinn vorausgesetzt. Das heißt, räumlich gesehen sind in den Schaltungsbildern die Wicklungen nach unten geklappt zu denken. Herausgeführte Sternpunkte werden mit 1N bzw. 2N bezeichnet.*

Überwachen, Steuern, Schalten

Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten und Geräte für das Überwachen, Steuern und Schalten von Motoren. Sie unterscheiden sich im Leistungsspektrum und in den Anwendungsmöglichkeiten. Außerdem hat die IEC Ansprechgrenzen für den zeitverzögerten Überlastschutz festgelegt, um damit den Schutz von Normmotoren zu gewährleisten.

Relais und ihre unterschiedlichen Überwachungsfunktionen	
Zeitrelais - 3RP15/3RP20	Zeitsteuerung, Störimpulsunterdrückung, stufenweises Starten und verzögertes Abschalten von Motoren
Überwachungsrelais für Netzüberwachung - 3UG	Phasenfolge, Phasenausfall, Phasenasymmetrie, Unterspannung, Überspannung, Isolationsüberwachung
Überwachungsrelais für Lastüberwachung - 3UG4	Einphasige Stromüberwachung, cos φ- und Wirkstromüberwachung
Überwachungsrelais für Fehlerstromüberwachung - 3UG4	Überwachen von Anlagen, in denen sich Fehlerströme bilden können, z. B. durch poröse Kabel und Leitungen usw.
Sonstige Überwachungsrelais - 3UG4	Überwachung für Füllstand und Drehzahl (z. B. Schlupf/Riss eines Riemenantriebs usw.)
Thermistor-Motorschutz - 3RN1	Schutz von Motoren vor Überhitzung und z. B. bei Fördertrassen das gemeinsame Abschalten mehrer Motoren. Warnen und Abschalten (z. B. Zuschalten von Zusatzkühlung, Lastreduktion etc.)
Temperaturüberwachungsrelais - analog: 3RS10/3RS11 digital: 3RS10/3RS11/ 3RS20/3RS21	Überwachung von Flüssigkeiten aller Art und von Raum-, Motor- und Anlagentemperaturen, Temperaturgrenzen für Prozessgrößen (z. B. Verpackungs- und Galvanotechnik usw.) sowie Steuern von Anlagen und Maschinen (z. B. Heizungs-, Klima-, Lüftungsanlagen, Solarkollektoren, Wärmepumpen, Warmwasserversorgungen usw.)
Koppelrelais schmale Bauform - 3TX701 steckbar, 3TX700 nicht steckbar	Galvanische Trennung, Spannungsumsetzung von z. B. DC 24 V auf AC 230 V, Signalverstärkung, Kontaktvervielfachung, allgem. Relaissteuerungen, Überspannungs- und EMV-Schutz von Steuerungen
Koppelrelais schmale Bauform - Halbleiterkoppler 3TX70	Galvanische Trennung, Spannungsumsetzung, Schalten von DC-Lasten und von kapazitiven Lasten, hohe Anzahl von Schaltspielen, Überspannungs- und EMV-Schutz von Steuerungen
Koppelrelais im Industriegehäuse - 3RS18	Überall, wo elektronikgerechte Kontakte (z. B. Ein- und Ausgänge an SPS) benötigt werden und Geräte mit Weitspannung zum Einsatz kommen
Koppelrelais mit Steckrelais - LZS	Als Messwertumschalter, als Koppelrelais zum Koppeln zwischen Ein- und Ausgängen bei elektronischen Steuerungen, Kontaktvervielfachung, Schalten kleiner Lasten
Wandler - 3RS17	Galvanische Trennung und Wandlung von analogen Signalen, Umsetzung von Analogsignalen auf eine Frequenz, Wandlung von nicht normierten Signalen in Normsignale, Überspannungsschutz von Analogeingängen
Powerrelais - 3TG10	Sind kleine und geräuscharme Relais oder Schütze mit niedrigem Preis zum Einsatz in einfachen Steuerungen, speziell für den Einsatz in großserienmäßig gefertigten Geräten und Steuerungen. Für Anwendungen, die ohne Überlastrelais und mit nur einem Hilfsschalter auskommen - und dafür mehr Schaltleistung, -spannung und eine höhere Lebensdauer brauchen (z. B. Hausgeräte und -installationen, Hebezeuge, Gebäudetechnik, brummfreier Einsatz im INSTA-Bereich, z. B. Krankenhäuser)
Stromversorgung - 6EP1	Primär getaktete Weitspannungsnetzteile als Spannungsvorsatz für alle Spannungsbereiche und weitere Arbeitsbereiche

Motormanagement Simocode

Simocode pro ist das flexible und modular aufgebaute Motormanagement-System für Motoren im Niederspannungsbereich, das sich über Profibus DP einfach und direkt an übergeordnete Automatisierungssysteme anbinden lässt. Funktionell deckt es alle Belange zwischen Motorabzweig und Automatisierungssystem ab. Zudem vereint es in nur einem kompakten System alle notwendigen Schutz-, Überwachungs- und Steuerfunktionen für jeden Motorabzweig. Damit wird die Prozessführungsqualität bei gleichzeitiger Senkung der Kosten erhöht – von der Planung über die Montage bis hin zum Betrieb oder der Wartung einer Anlage. Mit einem klaren Fokus auf aktuelle und zukünftige Anforderungen hat die nächste Generation des Motormanagement-Systems von Siemens umfassende Features an Bord:

- Multifunktionalen, elektronischen Motorvollschutz, autark vom Automatisierungssystem
- Integrierte Steuerfunktionen
- Detaillierte Betriebs-, Service- und Diagnosedaten
- Offene Kommunikation über Profibus DP

Simocode pro – Highlights
Überlastschutz für Motorströme bis 820 A
Integrierter Thermistor-Motorschutz
Integrierte Erdschlussüberwachung
Temperaturerfassung (Pt100/Pt1000/KTY/NTC)
Spannungserfassung bis 690 V
Leistung und Cos-Phi
Analoge Ein- und Ausgänge
Kommunikation über PROFIBUS DP bis 12 Mbit/s
Standardisierte und durchgängige Integration
Grafische Parametrieroberfläche
Aufzeichnung von Messkurven
Integrierter Fehlerspeicher/Fehlerhistorie
45 mm Baubreite
Abnehmbare Stromwandler
Weltweite Zertifizierungen (z. B.: ATEX, UL/CSA, CCC)

Das Motormanagement-System Simocode pro überzeugt mit einer Vielzahl von Möglichkeiten. Die wichtigsten sind in der Tabelle genannt.

Um die Vorteile von Simocode pro in allen Bereichen der Prozessindustrie oder der Kraftwerkstechnik nutzen zu können, gibt es zwei funktionell abgestufte Gerätereihen, nämlich Simocode pro C und Simocode pro V.

Simocode pro C

Das kompakte Motormanagement-System für Direkt- und Wendestarter: Das derzeit wirtschaftlichste kommunikationsfähige Motormanagement-System seiner Klasse. Damit ist Simocode pro C insbesondere auch für den Umstieg von einem konventionellen auf einen kommunikationsfähigen Motorabzweig die optimale Lösung.

Simocode pro V

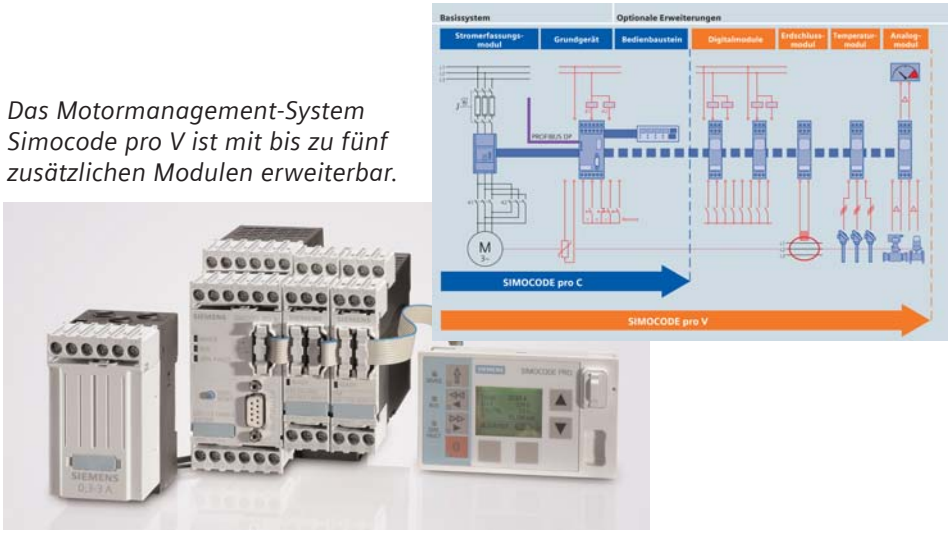
Das variable Motormanagement-System:
Es bietet einen noch größeren funktionellen Umfang, der sich außerdem um genau die Funktionen erweitern lässt, die Anwender in ihrem Motorabzweig benötigen – bis zu fünf optionale Erweiterungsmodule sind anschließbar.
Simocode pro verfügt über eine integrierte Profibus DP-Schnittstelle und ermöglicht damit eine standardisierte Einbindung des Motorabzweiges in jedes Profibus DP-fähige Automatisierungssystem.
Simocode pro unterstützt unter anderem:

- Die Kommunikation mit bis zu drei Profibus DP-Mastern
- Zyklische Dienste (DPV0) und azyklische Dienste (DPV1)
- Uhrzeitsynchronisation über Profibus (für Simocode pro V)
- Zeitstempelung mit hoher zeitlicher Genauigkeit*

Hinweis:

Ein wesentliches Merkmal von Simocode pro ist die autarke Ausführung aller Schutz- und Steuerfunktionen. Das heißt, auch bei Ausfall des Bus- oder Automatisierungssystems bleiben die volle Funktionsfähigkeit und der Schutz des Motorabzweigs gewährleistet – der Motorabzweig bleibt verfügbar. Ein definiertes Verhalten im Störfall lässt sich einstellen.

Simocode pro überwacht Motoren mit Motornennströmen bis 820 A. Hierzu stehen verschiedene Stromerfassungsmodule zur Verfügung. Statt der Stromerfassungsmodule können mit Simocode pro V zudem optional Strom-/Spannungserfassungsmodule eingesetzt werden. Damit können neben dem Motorstrom auch Spannungen bis 690 V erfasst und leistungsbezogene Messgrößen überwacht werden.



Das Motormanagement-System Simocode pro V ist mit bis zu fünf zusätzlichen Modulen erweiterbar.

Bedienbaustein:
Der Bedienbaustein dient zur Steuerung des Motorabzweigs. Eingebaut in eine Schaltschranktür erfüllt er die Schutzart IP54. So lässt sich Simocode pro bzw. der Abzweig direkt am Schaltschrank bedienen. Die frontseitig im Bedienbaustein integrierte Systemschnittstelle erleichtert die Parametrierung und Diagnose über PC/PG direkt an der Schaltschranktür. Um Messwerte, Betriebs- und Diagnosedaten direkt am Schaltschrank anzeigen zu können, steht für Simocode pro V der Bedienbaustein wahlweise mit Display zur Verfügung.

Digitalmodule*:
Art und Anzahl der binären Ein- und Relaisausgänge von Simocode pro V lassen sich durch Digitalmodule schrittweise erhöhen. Damit lassen sich

- zusätzliche Prozess-Signale ein- oder ausgeben und weitere Funktionen realisieren.
- extern versorgte binäre Eingänge nachrüsten (24 V DC oder 110-240 V AC/DC).
- bistabile Relaisausgänge anfügen – der Schaltzustand der Relaisausgänge wird auch nach Ausfall der Versorgungsspannung beibehalten.

Erdschlussmodul*:
Das Erdschlussmodul ermöglicht es, neben der im Grundgerät integrierten Erdschlussüberwachung, eine noch genauere externe Erdschlussüberwachung mit Hilfe eines Summenstromwandlers aufzubauen.

Temperaturmodul*:
Parallel zum Thermistor-Motorschutz lassen sich mit Hilfe des Temperaturmoduls bis zu drei analoge Temperatursensoren (z. B. Pt100, Pt1000) in Prozesse einbinden. Damit ist die Überwachung z. B. der Lager-, Getriebeöl oder der Kühlmitteltemperatur kein Problem.

Kommunikation über Profibus DP		
Betriebsdaten: • Schaltzustand Motor (Ein, Aus, Links, Rechts, Langsam, Schnell) • Strom in Phase 1, 2, 3 und maximaler Strom • Spannung im Strang 1, 2, 3* • Wirkleistung* • Scheinleistung* • Leistungsfaktor* • Phasenunsymmetrie • Phasenfolge* • Zeit bis zur Auslösung • Erwärmung Motormodell • Verbleibende Abkühlzeit des Motors • Temperatur (z.B. Motortemperatur)* • Aktuelle Werte Analogsignale*	**Servicedaten:** • Motorbetriebsstunden • Motorstillstandszeiten • Anzahl der Motorstarts • Anzahl der Überlastauslösungen • Interne Kommentare im Gerät gespeichert • Betriebsstunden Gerät • Verbrauchte Energie* • Und vieles mehr	**Diagnosedaten:** • Zahlreiche detaillierte Frühwarn- und Störmeldungen, auch zur weiteren Verarbeitung im Gerät oder im Leitsystem • Geräteinterne Fehlerprotokollierung mit Zeitstempel • Zeitstempelung beliebig auswählbarer Status-, Warn- und Störmeldungen* • Wert des letzten Auslösestromes • Rückmeldefehler (z. B. kein Stromfluss im Hauptstromkreis nach Ein-Steuerkommando)

* für Simocode pro V

Analogmodul*:
Mit dem Analogmodul ist das System Simocode pro V um analoge Ein- und Ausgänge (0/4...20 mA) erweiterbar. So wird die Prozessüberwachung von z. B. Füllständen, Durchflüssen, Trockenlauf oder Filterverschmutzung äußerst einfach.

Simocode pro bietet alle erforderlichen Daten für den Prozess- und Anlagenbetrieb. Diese Daten sind in der Schaltanlage und gleichermaßen auch im Leitsystem verfügbar. Neben den vielen Prozessgrößen unterstützen vor allem die Service- und Diagnosedaten das Wartungs- und Servicepersonal. Das Motormanagement-System hilft dabei, sich anbahnende Störungen zu erkennen und durch präventive Maßnahmen zu verhindern. Tritt doch eine Störung auf, kann der Fehler schnell lokalisiert und beseitigt werden. Ausfallzeiten werden so auf ein Minimum begrenzt bzw. treten gar nicht erst auf.

Die Vorteile von Simocode pro auf einen Blick	
Schützen und Überwachen	Steuern
Umfassender Schutz: multifunktionaler, elektronischer Motorvollschutz	Absolut flexibel: integrierte Steuerfunktionen
Simocode pro bietet einen umfassenden Schutz des Motorabzweiges durch eine Kombination verschiedener mehrstufiger Schutz- und Überwachungsfunktionen. **Schutzfunktionen:** • Überlastschutz (Class 5–40) • Thermistor-Motorschutz • Phasenausfallüberwachung • Unsymmetrieschutz • Blockierschutz • Erdschlussüberwachung • Stromgrenzwertüberwachung • Überwachung von Betriebsstunden • Überwachung der Stillstandszeit • Überwachung der Startzahl • Und vieles mehr **Erweiterte Überwachungsfunktionen:** • Temperaturüberwachung Pt100/ Pt1000* • Spannungsüberwachung* • Leistungsüberwachung* • Cos-Phi-Überwachung* • Phasenfolgeerkennung* • Eingabe, Ausgabe und Überwachung von 0/4...20 mA Signalen* **Aufzeichnung von Messkurven***	Simocode pro hat bereits viele vordefinierte Motorsteuerfunktionen, inklusive aller notwendigen Verriegelungen, integriert. Der Vorteil: Man spart eine ganze Menge an Hardware und Verdrahtung und erhält einen Motorabzweig, der hinsichtlich seines Aufbaus hoch standardisiert ist. **Steuerfunktionen:** • Direktstarter • Wendestarter • Stern-Dreieckstarter* • Stern-Dreieckstarter mit Drehrichtungsumkehr* • Zwei Drehzahlen, Motoren mit getrennten Wicklungen (Polumschalter) auch mit Drehrichtungsumkehr* • Zwei Drehzahlen, Motoren mit getrennten Dahlander-Wicklungen auch mit Drehrichtungsumkehr* • Schieberansteuerung* • Ventilansteuerung* • Ansteuerung eines Leistungsschalters • Ansteuerung eines Sanftstarters* • Ansteuerung eines Sanftstarters mit Drehrichtungsumkehr*
Einfaches Anpassen durch Logikbausteine und Standardfunktionen: Mittels frei parametrierbarer Logikbausteine, wie Wahrheitstabellen, Zähler oder Flankenauswertung und über Standardfunktionen wie Netzausfallüberwachung*, Notstart oder externe Fehler lassen sich die Schutz- und Steuerfunktionen bei Bedarf flexibel an die Anforderungen Ihres Motorabzweigs anpassen. Arithmetische Funktionen ermöglichen zusätzlich die Umrechnung von Messwerten in beliebige Formate oder Einheiten.	

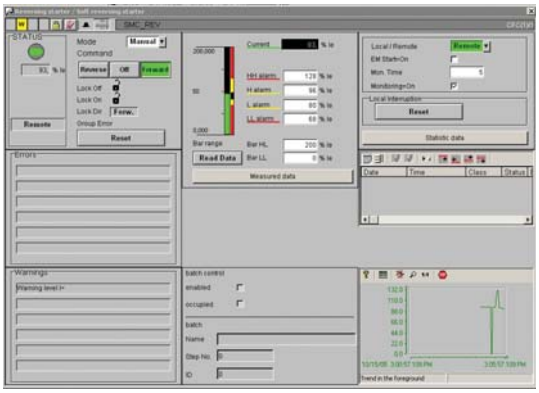
Softwareunterstützung
Heute werden neben der Sensorik auch die Daten des Motorabzweigs in das Prozessleitsystem mit eingebunden. Simocode pro stellt diese Daten über Profibus allen Prozessleitsystemen zur Verfügung. Damit erhöht das Motormanagement-System die Transparenz von Prozessen und sorgt für eine deutlich größere Informationsdichte im Leitsystem ohne zusätzliche Kosten. Auf der Basis von Totally Integrated Automation werden die Daten einheitlich und durchgängig eingebunden. Standardisierte Motorbausteine erleichtern dabei die Integration und vereinfachen das Handling.

PCS 7-Bibliothek Simocode pro
Mit der PCS 7-Bibliothek Simocode pro lässt sich Simocode pro einfach und komfortabel in das Prozessleitsystem SIMATIC PCS 7 einbinden. Die PCS 7-Bibliothek Simocode pro hält dafür standardisierte Motorbausteine und Faceplates zur Steuerung bzw. zum Bedienen und Beobachten des Motors parat. Zusätzlich können die in Simocode pro parametrierten wartungsrelevanten Überwachungsfunktionen und Alarme direkt auf einer zentralen Maintenance-Station abgebildet werden. Die für jeden Motorabzweig durch Simocode pro erfassten Leistungswerte bieten außerdem die optimale Grundlage für ein übergeordnetes Power Management mit SIMATIC PCS 7 powerrate.

Integration in Simatic PDM
Zur anlagenweiten Geräteparametrierung und Diagnose ist Simocode pro selbstverständlich auch in SIMATIC PDM (PDM =Process Device Manager) integriert. Damit steht im Prozessleitsystem ein einheitliches Werkzeug für intelligente Feldgeräte wie Simocode pro zur Verfügung.

Diagnose und Wartung mit Simocode ES
Mit Simocode ES wird Simocode pro komfortabel von zentraler Stelle über den Profibus oder direkt am Schaltschrank parametriert und diagnostiziert. Durch die Anzeige aller Betriebs-, Service- und Diagnosedaten des Motorabzweigs liefert Simocode ES aussagekräftige Informationen im Wartungs- oder im Störungsfall. Dabei hilft es, Störungen zu verhindern bzw. diese im Fehlerfall schneller zu lokalisieren und zu beseitigen. Die Möglichkeit der Online-Parametrierung auch während des Betriebs vermeidet unnötige Anlagenstillstandszeiten. Unter anderem werden folgende Informationen in übersichtlichen Dialogen dargestellt:

- Warnungen, Störungen, Meldungen
- Motorbetriebsstunden, Motorstarts
- Fehlerprotokoll/Fehlerhistorie
- Trends und Messkurven



Mit entsprechenden Faceplates lässt sich Simocode einfach in Simatic PCS 7 integrieren.

Einbindung in SIMATIC S7 mit Objektmanager für Simocode pro

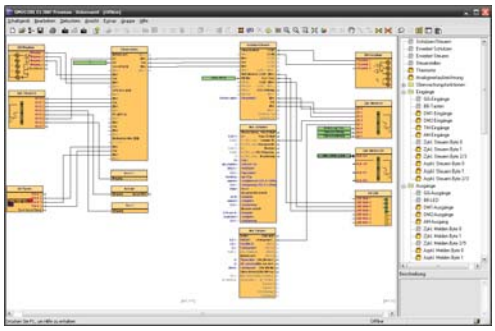
Der Objektmanager OM Simocode pro ist Bestandteil von Simocode ES und ermöglicht die Einbindung von Simocode ES in STEP 7. Indem Simocode ES direkt aus STEP 7 aufrufbar wird, lässt sich eine einfache und S7-durchgängige Projektierung bzw. Diagnose realisieren. Damit ist Simocode pro totally integrated in SIMATIC S7.

Parametrierung und Inbetriebnahme der Schaltanlage mit Simocode ES

Steuer- und Schutzfunktionen sowie die Verdrahtung des Steuerstromkreises sind in Simocode pro durch integrierte Steuerfunktionen realisiert und werden mit Simocode ES parametriert. Mit Simocode ES bietet Simocode pro eine benutzerfreundliche und übersichtliche Oberfläche zur schnellen Parametrierung und Inbetriebnahme. Die integrierte Druckfunktion erlaubt dabei die Dokumentation aller Parameter nach DIN EN ISO 7200.

Parametrierung per Drag & Drop mit dem Grafikeditor

Der Grafikeditor für Simocode ES ermöglicht eine sehr ergonomische und benutzerfreundliche Parametrierung per “Drag & Drop”. Dabei können die Ein- und Ausgänge von Funktionsbausteinen grafisch “verdrahtet” und Parameter eingestellt werden. Durch beliebige Kommentare können die projektierten Funktionen näher beschrieben und die Geräteparametrierung grafisch dokumentiert werden – das beschleunigt die Inbetriebsetzung nochmals enorm und vereinfacht die Dokumentation sichtbar.

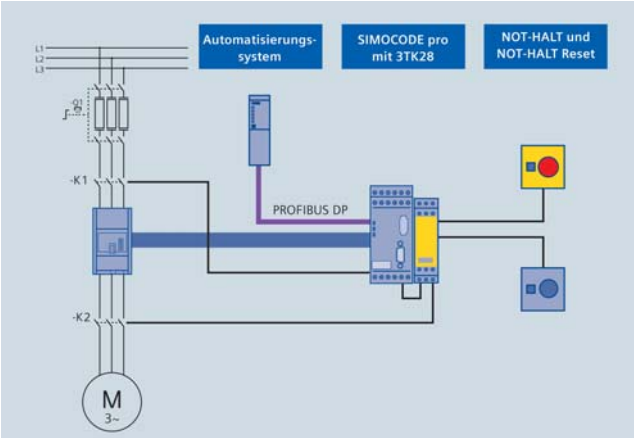


Der Grafikeditor für Simocode ES erlaubt das schnelle und übersichtliche Arbeiten.

Simocode pro mit Safety

Durch die Kombination von Simocode pro mit einem Sicherheitsschaltgerät 3TK28 profitieren Anwender von den Vorteilen eines flexiblen, modularen Motormanagement-Systems und von der sicherheitsgerichteten Abschaltung des betroffenen Verbrauchers. Dabei werden alle geltenden Sicherheitsnormen erfüllt. Mensch und Maschine sind durch die Kombination verschiedener mehrstufiger Schutz- und Überwachungsfunktionen in Simocode pro inklusive sicherheitsgerichteter Abschaltung des Verbrauchers umfassend geschützt.

Über die in Simocode pro integrierte Profibus-Schnittstelle lässt sich der Motorabzweig standardisiert in das Automatisierungssystem einbinden. Alle Signalzustände des 3TK28 können über Profibus an die übergeordnete SPS gemeldet werden. Zusätzliche Hilfskontakte für das Sicherheitsschaltgerät und den Not-Halt-Taster entfallen.



Simocode pro lässt sich auch in Kombination mit einem Sicherheitsschaltgerät einsetzen.

Simocode pro mit Sivacon

Mit Simocode pro steht neben den kommunikationsfähigen Sanftstartern, Leistungsschaltern oder den AS-Interface Modulen ein flexibles und kommunikationsfähiges Motormanagement-System für die Niederspannungs-Schaltanlage zur Verfügung. Simocode pro wird in Sivacon sowohl in Festeinbau-, Steck- oder Einschubtechnik eingesetzt und ermöglicht den Aufbau leistungsfähiger und zugleich äußerst platzsparender, kommunikationsfähiger Verbraucherabzweige.

Mit Simocode pro bietet Sivacon eine wirtschaftliche Möglichkeit für den Datenaustausch mit Automatisierungssystemen. Als Bussystem kommt der genormte, herstellerneutrale Profibus DP zum Einsatz, der eine weitreichende Anbindung an verschiedenste Automatisierungsgeräte ermöglicht.

Sivacon Einschübe mit Simocode pro.

Sirius Relais zum Überwachen, Steuern und Schalten

Zeitrelais 3RP15/3RP20

Elektronische Zeitrelais 3RP1/3RP2 werden für alle zeitverzögerten Schaltvorgänge in Steuer-, Anlass-, Schutz- und Regelschaltungen eingesetzt. Dank ihrer ausgereiften Konzeption sowie der Platz sparenden, kompakten Bauform sind sie ideale Timer-Bausteine für Schaltschrank-, Schaltanlagen- und Steuerungshersteller aus der Industrie.
Ihre Vorteile sind:

- Dokumentation der eingestellten Funktion am Multifunktionszeitrelais via Schildersätze
- Überschaubares Programm für jede Anwendung: nur sieben Grundgeräte
- Deutliche logistische Vorteile durch Varianten mit Weitspannung und weitem Zeiteinstellbereich
- Optimales Preis-Leistungs-Verhältnis
- Zwangsgeführte Relaiskontakte u.a. für Sicherheitskreise bis zu Kat. 2 nach DIN EN 954-1 geeignet
- Hartvergoldete Relaiskontakte für optimale Zusammenarbeit mit elektronischen Steuerungen
- Plombierbare Abdeckkappe zur Sicherung der eingestellten Parameter
- Alle Ausführungen mit abnehmbarer Klemme
- Alle Ausführungen mit Schraubanschluss oder alternativ mit innovativer Federzugtechnik

Entsprechend ihrer Einsatzgebiete arbeiten die Zeitrelais ansprechverzögert, rückfallverzögert bzw. Stern/Dreieck.

- Ansprechverzögert:
  Störimpulsunterdrückung (Ausblenden von Störimpulsen)
  Stufenweises Starten von Motoren, um das Netz nicht zu überlasten
- Rückfallverzögert:
  Erzeugung von Nachlauffunktionen nach Wegnahme der Steuerspannung (Lüfternachlauf)
  Stufenweise verzögertes Abschalten von Motoren, Lüftern etc., um eine Anlage gezielt herunterzufahren
- Stern/Dreieck:
  Umschalten von Motoren von Stern auf Dreieck mit einer Umschaltpause von 50 ms, um einen Phasenschluss zu verhindern

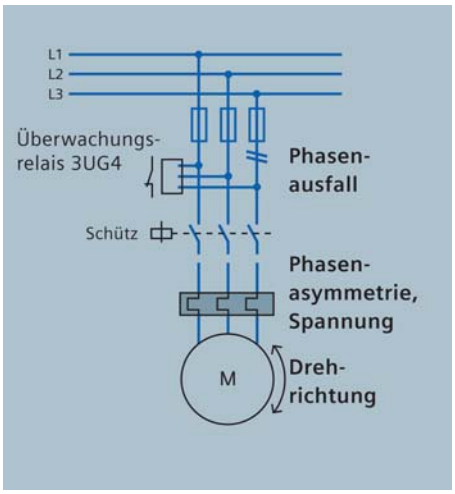
Zeitrelais 3RP1551.

Hinweis:

Bei Funktion "taktend" sind Impuls und Pause getrennt einstellbar, anders beim Blinker: Verhältnis Impuls/ Pause 1:1
Funktion "Zeitaddition" (nicht nullspannungssicher) beim Multifunktionsrelais: durch Aktivierung des Startkontakts

Überwachungsrelais 3UG für Netz-, einphasige Spannungs- und Isolationsüberwachung

Die neuen Überwachungsrelais 3UG4 ermöglichen maximalen Schutz für Maschinen und Anlagen. So können Netz- und Spannungsfehler frühzeitig erkannt und behoben werden, bevor weit größere Folgeschäden auftreten.



Aufbau einer 3-phasigen Netzüberwachung.

Die Vorteile von Überwachungsrelais 3UG sind:

- Durch Weitspannungsbereich einsetzbar in allen Netzen der Welt von AC 160 V bis 600 V ohne separate Hilfsspannung
- Variabel einstellbar auf Über-, Unterschreitung oder Fensterüberwachung
- Frei parametrierbare Verzögerungszeiten und Resetverhalten
- Geringe Baubreite für alle Varianten zur Netz- und Spannungsüberwachung
- Permanente Anzeige von Istwert und Netzfehlerart bei den digitalen Varianten
- Automatische Drehrichtungskorrektur durch Unterscheidung von Netzfehler und falscher Phasenfolge
- Alle Ausführungen mit abnehmbarer Klemme
- Alle Ausführungen mit Schraubanschluss oder alternativ mit innovativer Federzugtechnik

Die Anwendungsbereiche dieser Überwachungsrelais sind äußerst vielfältig. Diese ergeben sich aufgrund der Messgrößen, was die folgende Tabelle sehr augenscheinlich verdeutlicht.

Messgröße	Möglicher Anlagenfehler
Phasenfolge	• Drehrichtung des Antriebs
Phasenausfall	• Eine Sicherung hat ausgelöst • Ausfall der Steuerspeisespannung • Einphasenlauf eines Motors mit dementsprechender Überhitzung
Phasenasymmetrie	• Überhitzung des Motors durch unsymmetrische Spannungen oder Phasenausfall • Erkennung unsymmetrisch belasteter Netze • Erkennung eines Phasenausfalls trotz generatorischer Rückspeisungen
Unterspannung	• Erhöhter Strom bei einem Motor mit dementsprechender Überhitzung • Ungewolltes Rücksetzen eines Geräts • Zusammenbrechen eines Netzes, vor allem bei Batterieversorgung • Schwellwertschalter für Analogsignale 0 bis 10 V
Überspannung	• Schützt eine Anlage vor Zerstörungen durch Überspannungen der Versorgung • Einschalten einer Anlage ab einer gewissen Spannung • Schwellwertschalter für Analogsignale 0 bis 10 V
Isolationsüberwachung	• Überwacht den Isolationswiderstand bei ungeerdeten Anlagen

Überwachungsrelais 3UG4 für einphasige Stromüberwachung, cos φ- und Wirkstromüberwachung

Die Überwachung der Belastung von Motoren und der Funktionalität von elektronischen Verbrauchern – ein Fall für die Überwachungsrelais 3UG4 für Strom-, cos φ- und Wirkstromüberwachung. Diese Geräte erkennen Verschleißerscheinungen und Fehler frühzeitig. So kann beispielsweise eine Wartung rechtzeitig durchgeführt werden, bevor es zu einem Anlagenausfall kommt.

Die Vorteile der Überwachungsrelais 3UG4 sind vielfältig:

- Weitspannungsvarianten reduzieren die Lagerhaltung
- Variabel einstellbar auf Über-, Unterschreitung oder Fensterüberwachung
- Frei parametrierbare Verzögerungszeiten und Reset-Verhalten
- Permanente Anzeige von Istwert und Fehlerart
- Alle Ausführungen mit abnehmbarer Klemme
- Alle Ausführungen mit Schraubanschluss oder alternativ mit innovativer Federzugtechnik
- Stromüberwachung
  - Nur zwei Ausführungen von 2 mA bis 10 A
  - Echte Effektivwertmessung
  - Einsetzbar für Frequenzen mit AC 40 bis 500 Hz und DC
- Cos φ- und Wirkstromüberwachung
  - Weltweiter Einsatz durch Weitspannung von AC 90 bis 690 V
  - Überwachung auch kleinerer einphasiger Motoren mit einem Leerlaufstrom unter 0,5 A
  - Einfaches Ermitteln der Schwellwerte durch direkten Bezug von Messgröße zu Motorbelastung
  - Durch Fensterüberwachung und Wirkstrommessung wird ein Kabelbruch zwischen Schaltschrank und Motor sowie ein Phasenausfall erkannt
  - Spannungsunabhängige Überwachung der Motorbelastung
  - Wählbares Messprinzip cos φ und/oder I_{res} (Wirkstrom)

Überwachungsrelais 3UG4 für einphasige Stromüberwachung, cos - und Wirkstromüberwachung erkennen Verschleißerscheinungen frühzeitig.

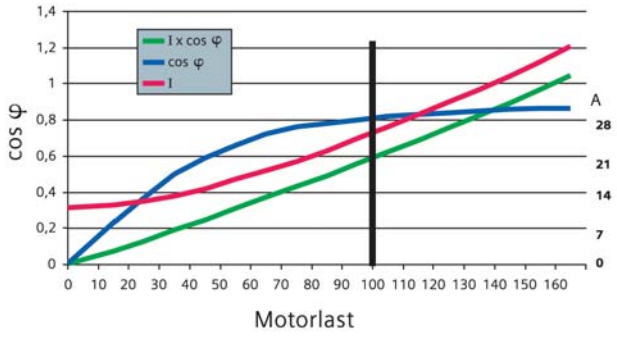
Die Anwendungsbereiche der Überwachungsrelais 3UG4 sind ebenfalls sehr vielfältig. Die folgende Tabelle gibt jedoch einen guten Überblick über die Möglichkeiten dieser Niederspannungs-Schaltgeräte.

Überwachungsparameter	Anlagenzustände
Stromüberwachung	• Überlastüberwachung • Unterlastüberwachung in der Nähe des Nennmomentes • Überwachung auf Funktionalität von elektrischen Verbrauchern • Drahtbruchüberwachung • Energiemanagement (Strangstromüberwachung) • Schwellwertschalter für Analogsignale 4 bis 20 mA
Cos φ- und Wirkstromüberwachung	• Leerlaufüberwachung • Unterlastüberwachung im unteren Leistungsbereich • Überlastüberwachung • einfachste cos φ-Überwachung in Netzen zur Steuerung von Kompensationsanlagen • Energiemanagement • Kabelbruch zwischen Schaltschrank und Motor

TIPP:

Als Faustregel gilt: Unterhalb der Nennlast ändert sich der cos φ sehr stark, oberhalb steigt der Strom überproportional.

Der Wirkstrom I_{res} zeigt über den gesamten Bereich einen linearen Zusammenhang zwischen der Motorbelastung und dem Messwert.



Überwachungsrelais 3UG4 für Fehlerstromüberwachung

Durch Feuchtigkeit oder hohe Verschmutzung können in Anlagen mit der Zeit Isolationsprobleme entstehen. Diese führen zu Fehlerströmen, die gravierende Anlagenschäden verursachen können. Um solche Gefahren sicher auszuschließen, empfiehlt sich der Einsatz des Fehlerstromüberwachungsrelais 3UG4624 in Kombination mit einem Summenstromwandler 3UL22. Dank einstellbarer Grenz- oder Warnschwellwerte gibt das Relais bereits vor Erreichen des Grenzwerts eine Warnung aus und schaltet bei Überschreitung des Grenzwerts nach einer gewissen Verzögerungszeit zuverlässig ab.

Vorteile:

- Weltweit einsetzbar durch Weitspannungsbereich von AC 90 V bis AC 690 V
- Variabel einstellbare Schwellwerte für Warnen und Abschalten
- Frei parametrierbare Verzögerungszeiten und Reset-Verhalten
- Permanente Anzeige des Istwertes und Fehlerdiagnose über Display
- Mit abnehmbarer Klemme und Wahlmöglichkeit zwischen Schraubanschluss oder innovativer Federzugklemme
- Hohe Flexibilität und Platzersparnis durch Aufbau des Wandlers außerhalb des Schaltschranks

Anwendungsbereiche:

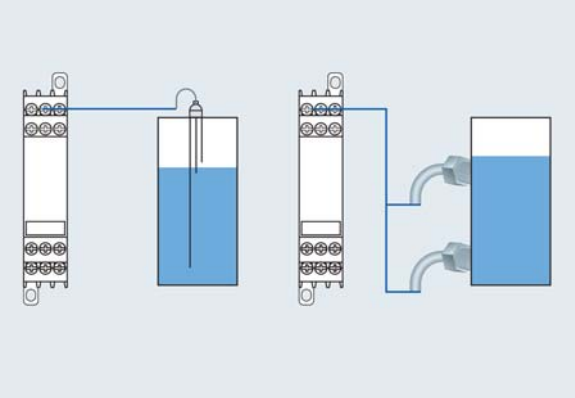
- Überwachung von Anlagen, in denen sich Fehlerströme bilden können, z. B. infolge von:
  - Staubablagerungen oder Feuchtigkeit
  - Porösen Kabeln und Leitungen
  - Kapazitiven Fehlerströmen

Überwachungsrelais 3UG4 für Füllstand und Drehzahl

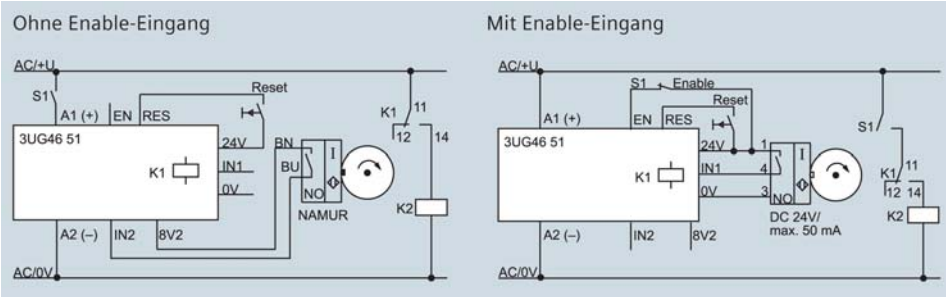
Überwachungsrelais 3UG4 kontrollieren auch nichtelektrische Größen. So sorgen Siemens-Füllstandsüberwachungsrelais 3UG4501 für zuverlässige 1- oder 2-Punkt-Regelungen und Alarmmeldungen bei Über- oder Leerlauf – nach einem einfachen Prinzip: Fast jede Flüssigkeit ist leitfähig. Dies wird zur Überwachung von Füllständen genutzt. Sind die Sonden in der Flüssigkeit, fließt Strom – fallen die Sonden trocken, fließt kein Strom mehr. Ob die Soll-Drehzahl von Motoren über- oder unterschritten wird, kontrollieren die Drehzahlüberwachungsrelais 3UG4651. Mit einer Periodendauermessung überwachen sie die Impulse, die pro Umdrehung von den am Motor angebrachten Sensoren geliefert werden. Darüber hinaus eignen sich die Relais für alle Funktionen, bei denen ein kontinuierliches Impulssignal überwacht werden soll, z. B. für die Bandlauf- wie Taktzeitüberwachung oder zur Vorbeilaufkontrolle.

Vorteile und Anwendungsbereiche der Überwachungsrelais 3UG4 für Füllstandsüberwachung und Drehzahlüberwachung	
Füllstandsüberwachung	Drehzahlüberwachung
Vorteile: • Weltweit einsetzbar durch Weitspannungsbereich von AC/DC 24 bis 240 V • Individuell kürzbare 2- und 3-polige Drahtelektroden für einfache Montage von oben/unten • Bügelelektroden zum Einbau von der Seite, für größere Füllhöhen und minimalen Platzbedarf • Flexibel an verschiedene leitfähige Flüssigkeiten anpassbar durch analoges Einstellen der Empfindlichkeit von 2 bis 200 kOhm • Kompensation von Wellenbewegungen durch Auslöseverzögerungszeit von 0,1 bis 10 Sekunden • Zu- oder Ablauffunktion wählbar • Alle Ausführungen mit abnehmbarer Klemme und Wahlmöglichkeit zwischen Schraubanschluss oder innovativer Federzugklemme	Vorteile: • Weltweit einsetzbar durch Weitspannungsbereich von AC 24 bis 240 V • Variabel einstellbar auf Über-, Unterschreitung oder Fensterüberwachung • Frei parametrierbare Verzögerungszeiten und Reset-Verhalten • Permanente Anzeige von Istwert oder Fehlerart • Verwendung von bis zu 10 Sensoren pro Umdrehung bei extrem langsam drehenden Motoren • 2- oder 3-Leiter-Sensoren und Sensoren mit mechanischem Schalt- oder Elektronikausgang anschließbar • Hilfsspannung für Sensor integriert • Alle Ausführungen mit abnehmbarer Klemme und Wahlmöglichkeit zwischen Schraubanschluss oder innovativer Federzugklemme
Anwendungsbereiche: • 1- und 2-Punkt-Füllstandsregelung • Überlaufschutz • Trockenlaufschutz • Leckageüberwachung	Anwendungsbereiche: • Schlupf/Riss eines Riemenantriebs • Lastabwurf • Stillstandsüberwachung (kein Personenschutz) • Transportstücküberwachung auf Vollständigkeit

1- und 2-Punkt-Füllstandsüberwachung, Überlaufschutz: Diese Methode ist bei sehr vielen Flüssigkeiten und Stoffen anwendbar. Voraussetzung ist, dass der spezifische Widerstand kleiner als 200 kΩ ist.



Spezifischer Widerstand			
Produkt	kΩ	Produkt	kΩ
Buttermilch	1	Naturwasser	5
Obstsaft	1	Abwasser	5
Gemüsesaft	1	Stärkelösung	5
Milch	1	Öl	10
Suppe	2,2	Kondenswasser	18
Bier	2,2	Seifenschaum	18
Kaffee	2,2	Konfitüren	45
Tinte	2,2	Gelees	45
Salzwasser	2,2	Zuckerlösung	90
Wein	2,2	Whisky	220
		Destilliertes Wasser	450



Drehzahlüberwachung.

Thermistor-Motorschutzrelais 3RN1 für Schutz vor Überhitzung

Thermistor-Motorschutzrelais bringen überall dort entscheidende Vorteile, wo stromabhängiger Schutz durch Leistungsschalter oder Überlastrelais nicht die ideale Überwachungsgröße ist. In bestimmten Fällen und dann oft durch äußere Einflüsse bedingt, kann es zu Überhitzung kommen, ohne dass das thermische Abbild im Leistungsschalter/Überlastrelais dies erfassen kann. Beispiele hierfür sind der Schweranlauf (z. B. Zentrifugen), Betrieb mit Frequenzumrichter oder häufiges Schalten, Bremsvorgänge oder eine behinderte Kühlung, z. B. durch verschmutzte Umgebung.

Thermistor-Motorschutzrelais 3RN1 eignen sich überall dort, wo es durch äußere Einflüsse zur Überhitzung von Antrieben kommen kann.

Die Vorteile von Thermistor-Motorschutzrelais 3RN1 sind:
- Direkte Messung der Motor-Wicklungstemperatur
- Nur ein Gerät für alle Motorleistungen
- Geräte-/Klemmenbeschriftung nach DIN EN 50005 für "normale" Schaltrelais und für Überlastschutzeinrichtungen
- Relais mit hartvergoldeten Kontakten für den Einsatz unter schwierigen Bedingungen
- Anzeige von Drahtbruch und Kurzschluss im Fühlerkreis via LED
- Variante mit sicherer Trennung bis 300 V nach DIN/VDE 0106 sowie Variante mit bistabilen Relais für besondere Fälle
- ATEX-Zulassung für Gase und Staub
- Alle Ausführungen mit abnehmbarer Klemme
- Alle Ausführungen mit Schraubanschluss oder alternativ mit innovativer Federzugtechnik

Anwendungsbereiche:
- Schutz von Motoren vor Überhitzung, insbesondere bei Schweranlauf, Bremsbetrieb, häufigem Schalten oder unzureichender Kühlung
- Funktion "Warnen und Abschalten" durch Einsatz von zwei Sensorkreisen mit unterschiedlicher Ansprechtemperatur, um bereits vor dem Abschalten zu reagieren (Zuschalten von Zusatzkühlung, Lastreduktion etc.)
- Mehrmotorenschutz mit nur einem Gerät, z. B. bei Förderstraßen, für mehrere Motoren, die gemeinsam abgeschaltet werden sollen

Temperaturüberwachungsrelais 3RS10/3RS11 als analog einstellbare Relais

Messung von Temperaturen in festen, flüssigen und gasförmigen Medien – das ist die Spezialität der analogen Temperaturüberwachungsrelais 3RS10/3RS11.
Dabei wird die Temperatur über Fühler im Medium erfasst, vom Gerät ausgewertet und auf Über- oder Unterschreitung der Grenztemperaturen überwacht. Das Ausgangsrelais schaltet je nach Parametrierung an den Schwellwerten ein oder aus.

Die Geräte besitzen eine Reihe von Vorteilen wie zum Beispiel:
- Alle Geräte mit galvanischer Trennung, Ausnahme: AC/DC 24 V
- Einfache Bedienung über Drehpotentiometer
- Einstellbare Hysterese
- Umstellbares Arbeitsprinzip bei Geräten mit zwei Schwellwerten
- Alle Ausführungen mit abnehmbarer Klemme
- Viele Ausführungen auch in innovativer Federzugtechnik erhältlich

Anwendungsbereiche für die Temperaturüberwachungsrelais 3RS10/3RS11:
- Motor- und Anlagenschutz
- Schaltschrank-Temperaturüberwachung
- Frostüberwachung
- Temperaturgrenzen für Prozessgrößen, wie z. B. in der Verpackungsindustrie oder Galvanotechnik
- Steuern von Anlagen und Maschinen wie Heizungs-, Klima- und Lüftungsanlagen, Solarkollektoren, Wärmepumpen oder Warmwasserversorgungen
- Lager- und Getriebeölüberwachung
- Überwachung von Kühlflüssigkeiten

Temperaturüberwachungsrelais 3RS10/3RS11 und 3RS20/3RS21 als digital einstellbare Relais

Die digital einstellbaren Relais sind zur Messung von Temperaturen in festen, flüssigen und gasförmigen Medien einsetzbar. Sie überwachen Temperaturen auf Über- und Unterschreitung oder innerhalb eines Arbeitsbereichs (Fensterfunktion). Die Geräte sind auch eine gute Alternative zu Temperaturreglern im Low-End-Bereich.

Vorteile:
- Einfache Bedienung ohne komplizierte Menüführung
- Widerstandssensoren in 2- oder 3-Leiter-Technik anschließbar
- Varianten in Grad Fahrenheit erhältlich
- Alle Ausführungen mit abnehmbarer Klemme
- Alle Ausführungen mit Schraubanschluss oder alternativ mit innovativer Federzugtechnik erhältlich

Anwendungsbereiche:
- Anlagen- und Umweltschutz
- Temperaturgrenzen für Prozessgrößen, wie z. B. in der Verpackungsindustrie oder Galvanotechnik
- Temperaturgrenzen für Wärmeerzeugungsanlagen
- Abgastemperaturüberwachung
- Steuern von Anlagen und Maschinen wie Heizungs-, Klima- und Lüftungsanlagen, Solarkollektoren, Wärmepumpen oder Warmwasserversorgungen
- Motor-, Lager- und Getriebeöltemperaturüberwachung
- Überwachung von Kühlflüssigkeiten

Ob analog oder digital: Die Temperaturüberwachungsrelais sind für viele Anwendung die ideale Lösung und lassen sich komfortabel einstellen.

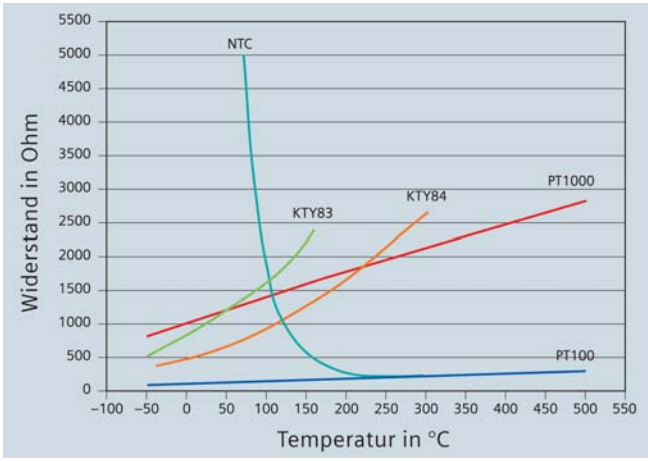
Digital einstellbare Auswertegeräte

Temperaturüberwachungsrelais zeichnen sich durch einfachste Bedienbarkeit aus. Das dreistellige LED-Display zeigt immer die aktuelle Temperatur. Zur Fühlerüberwachung ist ein eigenes Relais mit einem Schließer eingebaut. Im Parametriermodus ist das Relais abgeschaltet. Folgende Parameter sind einstellbar:

- Fühlerart
- 2 Schwellwerte: J1, J2
- 1 Hysterese; wirkt auf beide Schwellen (0-99 K)
- 1 Verzögerungszeit; wirkt auf beide Schwellen (0-999 s)
- Arbeits-/Ruhestromprinzip umschaltbar
- Funktion: Über-/Unterschreitung oder Fensterüberwachung

Ausführungen mit Weitspannung besitzen galvanische Trennung.
Die Temperaturbereiche sind abhängig vom Sensortyp.

Weitere INFOS



Kennlinien der wichtigsten Widerstands-Temperaturfühler.

www.siemens.de/temperatur

Koppelrelais – schmale Bauform Relaiskoppler 3TX70

Relaiskoppler 3TX70 sind grundsätzlich in zwei Bauformen erhältlich: Zum einen die Reihe 3TX7004/05 in der 6,2 mm schmalen Bauform. Mit ihnen verringert sich die Breite, die Relaiskoppler im Schaltschrank in Anspruch nehmen.
Und zum anderen die Reihe 3TX7002/03. Sie eignet sich zum Aufbau mit geringen Zeilenabständen zwischen den Hutschienen und geringerer Bautiefe in kleinen Schaltschränken. Beide Reihen bieten ein umfassendes Programm an Ein- und Ausgangskoppelgliedern.

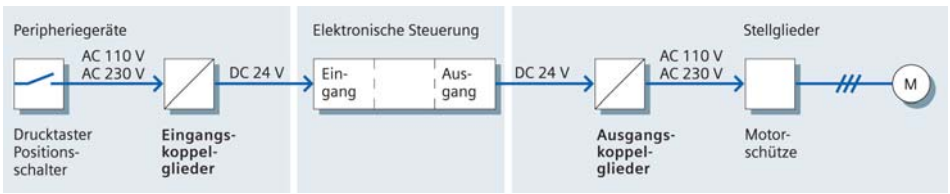
Je nachdem, wo im Schaltschrank bzw. Schaltkasten Platz zur Verfügung steht, gibt es die Koppelrelais 3TX70 in einer besonders schmalen sowie in einer besonders kurzen Variante.

Vorteile der 3TX7002/03 und 3TX7004/05

- Arbeitsbereich von 0,7 bis 1,25 U_S bei DC 24 V bis 60 °C
- Integrierte Schutzschaltung im Eingang
- Verbindungskamm und -leitung zur Brückung gleicher Potenziale
- Erleichterte Inbetriebnahme durch Manuell-0-Automatik-Schalter

Vorteile der 3TX7014 und 3TX7015

- Steckbare Relais ermöglichen schnellen Austausch bei stehender Verdrahtung
- Drahteinführung und Anklemmen von vorne, dadurch Reduzierung der Verdrahtungszeit
- Geprüfte Komplettgeräte sparen Montagezeit
- Einzelrelais als Ersatzteile lieferbar
- Geräteausführung mit hartvergoldeten Kontakten, dadurch hohe Kontaktzuverlässigkeit



Koppelrelais als Eingangs- oder Ausgangskoppler.

Anwendungsbereiche:

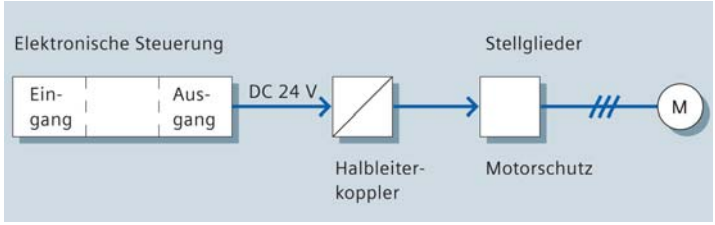
- Galvanische Trennung
- Spannungsumsetzung von z. B. DC 24 V auf AC 230 V
- Signalverstärkung
- Kontaktvervielfachung
- Allgemeine Relaissteuerungen
- Überspannungs- und EMV-Schutz von Steuerungen

TIPP:

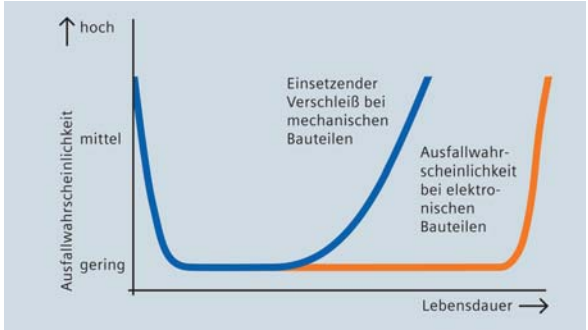
Bei Bemessungssteuerspeisespannungen von AC 110 V und AC 230 V ist bei der Auswahl der Koppelglieder auf die maximal zulässige Leitungslänge zu achten. Bei längeren Leitungen kann der Sondertyp 3TX700-...05 für lange Leitungen eingesetzt werden.

Halbleiterkoppler 3TX70 als Koppelrelais in schmaler Bauform

Koppelbausteine gibt es mit konventionellen Relais und in Halbleiterausführung. Die Koppelbausteine in Halbleiterausführung bieten im Vergleich zum Relais wesentliche Vorteile: die hohe Zuverlässigkeit und Lebensdauer der elektronischen Bauteile. So bietet der Eingangskoppler alles in allem die bessere Technik und Vorteile im Preis.
Bei den Ausgangskopplern sollte in der Frage "Relais oder Halbleiter" die Anforderung an Schaltleistung und Anzahl der Schaltspiele berücksichtigt werden. Denn muss ein Relais während der gesamten Lebensdauer einer Maschine auch nur einmal ausgetauscht werden, hat sich ein Halbleiterkoppler schon bezahlt gemacht.



Einsatz von Halbleiterkopplern.



Lebensdauervergleich: Elektronische Koppelbausteine haben eine wesentlich höhere Lebensdauer als elektromechanische.

Vorteile der Halbleiterkoppler 3TX70:
- Preiswert und zuverlässig: Eingangskoppler mit Halbleiterausgang
- Abgestufte Reihe an Ausgangskopplern mit Halbleiter
- Sehr hohe elektrische Lebensdauer
- Höchste Kontaktsicherheit
- Hohes DC-Schaltvermögen
- Kurze Schaltzeiten

Anwendungsbereiche:
- Galvanische Trennung, Spannungsumsetzung
- Schalten von DC-Lasten
- Schalten von kapazitiven Lasten
- Hohe Anzahl von Schaltspielen
- Überspannungs- und EMV-Schutz von Steuerungen

Koppelrelais im Industriegehäuse Relaiskoppler 3RS18

Die Relaiskoppler 3RS18 setzen Maßstäbe: Mit einer Weitspannung von AC/DC 24 V bis 240 V sind sie ein Highlight am Kopplermarkt. Siemens bietet in dieser Reihe Geräte im Industriegehäuse 22,5 mm mit ein, zwei und drei Wechslern – in Schraubklemmen- und Federzugtechnik und in Kombi- sowie Weitspannung mit hartvergoldeten Kontakten für eine besonders hohe Kontaktzuverlässigkeit auch bei niedrigen Strömen. Dank des Industriegehäuses gibt es auch hier wie bei den Siemens-Zeitrelais die komfortable Anschlusstechnik mit stehender Verdrahtung. Pro Klemmstelle lassen sich zwei Leiter anschließen.

Vorteile:
- Ein Produkt für alle Spannungen
- Kostenersparnis durch Variantenreduzierung
- Besonders hohe Kontaktzuverlässigkeit auch bei niedrigen Strömen
- Abnehmbare Klemme mit Schraubanschluss oder alternativ mit innovativer Federzugtechnik

Anwendungsbereiche:
- Überall, wo elektronikgerechte Kontakte benötigt werden und Geräte mit Weitspannung zum Einsatz kommen
- Dank hartvergoldeter Kontakte prädestiniert für Ein- und Ausgänge an SPS

Steckrelaiskoppler LZS als Koppelrelais mit Steckrelais

Steckrelaiskoppler sind als Komplettgeräte oder als Einzelmodule für den Selbstzusammenbau oder Ersatzteilbedarf erhältlich.

Die Steckrelaiskoppler LZS teilen sich in drei Bauformen auf: RT, PT und MT.

Vorteile der Steckrelaiskoppler LZS:

- Alle Ausführungen mit bewährter Schraubanschlusstechnik oder Push-in-Federzugklemmen
- Werkzeuglose Verdrahtung und rüttelsichere Verbindung dank innovativer Push-in-Federzugklemmen
- Sockel mit logischer Trennung für unkomplizierte Verdrahtung
- Geprüftes AC-15- und DC-13-Schaltvermögen
- Verfügbare Spulenspannungen: DC 24 V, AC 24 V, AC 115 V, AC 230 V
- Hartvergoldete Kontakte für die optimale Zusammenarbeit mit elektronischen Steuerungen

Anwendungsbereiche der Steckrelaiskoppler LZS:

- Als Koppelrelais zum Koppeln zwischen Ein- und Ausgängen bei elektronischen Steuerungen
- Kontaktvervielfachung
- Schalten kleiner Lasten
- Als Messwertumschalter

Hinweis:

Beim PT-Relais ist der Prüfhebel nicht rastend ausgeführt. Wird der Prüfhebel weiter gedrückt, bis eine Bewegung von 90° erreicht ist, brechen zwei kleine Rastnasen ab und der Prüfhebel kann verrastend gestellt werden.

Beim Betrieb von Steckrelais mit Spannungen von AC 60 Hz muss der untere Ansprechwert um 10 % erhöht werden, die Verlustleistung sinkt leicht.

Schnittstellenwandler 3RS17 als Normsignal- und Universalwandler

Schnittstellenwandler werden hauptsächlich zur galvanischen Trennung und Wandlung von analogen Signalen eingesetzt. Sensoren/Aktoren und Steuerungen haben meist verschiedene Netzteile und benötigen deshalb galvanische Trennung im Signalkreis. Diese wird entweder in der Steuerung oder durch Schnittstellenwandler realisiert.
Die Wandlung von einem Signal in ein anderes wird benötigt, wenn z. B. ein Spannungssignal zur Übertragung über eine weitere Strecke in ein Stromsignal gewandelt werden muss oder der Ausgang eines Sensors und der Eingang einer Steuerung nicht zusammenpassen.
Eine weitere Anwendung bieten die realisierten Frequenzausgänge. Dabei wird das Eingangssignal in eine proportionale Frequenz gewandelt. So können mit Digitaleingängen Analogsignale verarbeitet werden. Dies ist wichtig, wenn eine Steuerung keine Möglichkeit für einen Analogeingang bietet oder diese bereits alle belegt sind, wie z. B. bei Nachrüstungen.

Schnittstellenwandler 3RS17 eignen sich hervorragend zur galvanischen Trennung und Wandlung von analogen Signalen.

Vorteile der Schnittstellenwandler 3RS17:

- Geringe Baubreite
- Leicht einstellbare Universalwandler
- Wandler mit Frequenzausgang
- Alle Bereiche voll kalibriert
- Durchgängige Familie, für jeden Fall die ideale Lösung
- Integrierter Hand-Automatik-Schalter mit Sollwertgeber
- Ausgänge kurzschlusssicher
- Bis 30 V geschützt gegen Beschädigung durch fehlerhafte Verdrahtung

Anwendungsbereiche der Schnittstellenwandler 3RS17:

- Galvanische Trennung von analogen Signalen
- Wandlung von analogen Signalen
- Umsetzung von Analogsignalen auf eine Frequenz
- Wandlung von nicht normierten Signalen in Normsignale
- Überspannungsschutz von Analogeingängen

Hinweis:

Passivwandler beziehen ihre notwendige Energie aus dem Analogsignal und brauchen keine eigene Versorgungsspannung.
Bei 2-Wege-Trennung ist der Eingang galvanisch vom Ausgang und von der Versorgungsspannung getrennt, Ausgang und Versorgung liegen auf dem gleichen Potenzial.
Bei 3-Wege-Trennung sind alle drei Kreise voneinander getrennt.

Powerrelais 3TG10 und Stromversorgung SITOP Power

Powerrelais 3TG10 bewähren sich überall dort, wo kleine, geräuscharme Relais oder Schütze und ein niedriger Preis gefordert sind. Dabei eignet sich das Powerrelais für einfache Steuerungen, speziell für den Einsatz in großserienmäßig gefertigten Geräten und Steuerungen. Für Anwendungen, die ohne Überlastrelais und mit nur einem Hilfsschalter auskommen – und dafür mehr Schaltleistung, -spannung und eine höhere Lebensdauer brauchen.

Vorteile:

- Beliebige Einbaulage, brummfrei
- Sichere Trennung
- Schraub- und steckbar
- Eingebauter Hilfsschalter
- Leistung AC-3: 4 kW/400 V
- Betriebsstrom Ie/AC-1: 20 A/400 V
- Einschaltstrom pro Phase: 90 A
- Integrierte Überspannungsbedämpfung
- Geringe Breite, nur 36 mm

Powerrelais 3TG10

Anwendungsbereiche:

- Hausgeräte und -installationen
- Hebezeuge: Kleinaufzüge, Hebebühnen
- Gebäudetechnik, brummfreier Einsatz im INSTA-Bereich, z. B. in Krankenhäusern

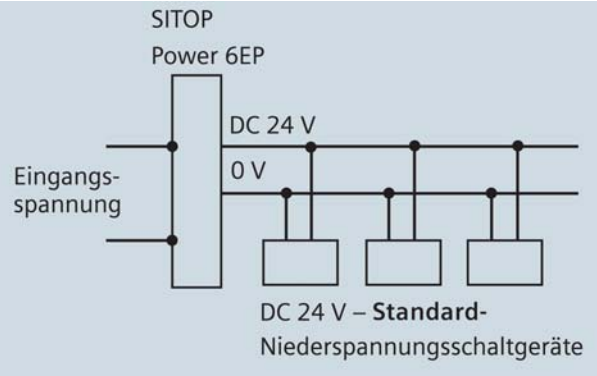
Hinweis:

Bei Belastung der drei Hauptstrombahnen mit 20 A gilt bei I >10 A bei der vierten Strombahn: zulässige Umgebungstemperatur 40 °C.

Sitop Weitspannungsnetzteil 6EP1

Die primär getakteten Sitop®-Weitspannungsnetzteile 6EP1 im schmalen 22,5-mm-Gehäuse wurden speziell als Vorschaltgeräte für Standardprodukte entwickelt, wenn "krumme" Versorgungsspannungen und/oder große Arbeitsbereiche der Versorgungsspannung abgedeckt werden müssen.

Die Geräte haben große Eingangsspannungsbereiche und als Ausgang DC 24 V. Somit kann bei praktisch allen vorkommenden Versorgungsspannungen mit Standardgeräten gearbeitet werden. Der Effekt: Man spart Kosten für Sonderausführungen und Projektierungszeit.



Sitop als Vorschaltgerät.

Vorteile:

- Geringe Breite von nur 22,5 mm
- Großer Eingangsspannungsbereich
- Geringes Gewicht
- Hoher Wirkungsgrad

Anwendungsbereiche:

- Spannungsvorsatz für alle Spannungsbereiche
- Spannungsvorsatz bei weiten Arbeitsbereichen

Weitere INFOS

www.siemens.de/relais

Motorstart für die Praxis

Grundlagen

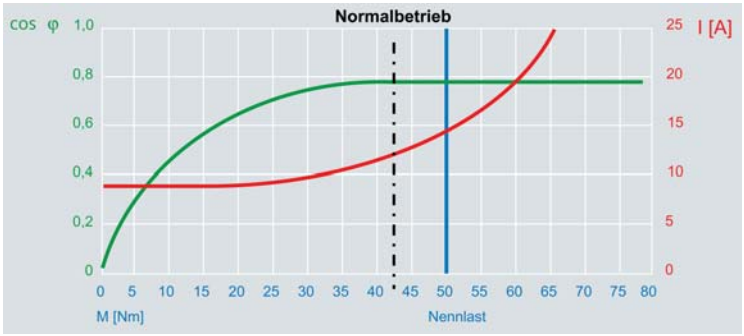
Die größte Gefahr für jeden Elektromotor ist die Überhitzung. Bei den Wärmeverlusten gibt es:

- lastabhängige Verluste
  - Erwärmungsverluste im Stator
  - Erwärmungsverluste im Rotor
- lastunabhängige Verluste
  - Eisenverluste
  - Reibungsverluste

Hinweis:

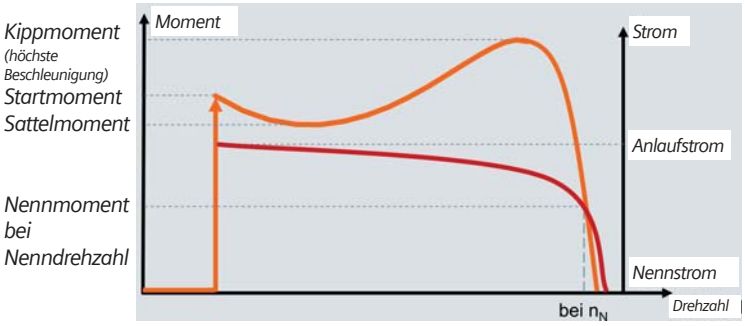
Die Verlustleistung steigt nahezu proportional mit dem Quadrat des Stroms oder dem Schlupf des Motors. Im Extremfall, bei blockiertem Motor, wird die gesamte Energie in Wärme umgewandelt.

Meist werden Motoren 10 bis 20 % unterhalb ihres Nenndrehmoments betrieben. Unterhalb dieser Belastung verändert sich der cos φ sehr stark, oberhalb dieser Belastung verändert sich der Strom sehr stark.



Scheinstrom und cos φ in Abhängigkeit der Last.

- *Bei Überlastung ändert sich der Strom deutlich.*
- *Bei Unterlast ändert sich der cos φ deutlich.*



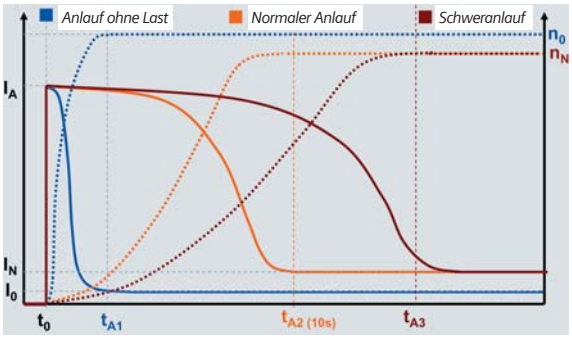
Drehmoment und Strom während des Motorhochlaufs.

Das größte Moment tritt knapp vor der Nenndrehzahl auf. Der höchste Strom tritt beim Motorstart, also bei Stillstand des Motors auf.
Der Anlaufstrom I_A ist eine Motorkenngröße und unabhängig von der Last (I_A = 4 bis 8,4 • I_N). Die Anlaufzeit und somit die Zeit t des überhöhten Stromes ist stark abhängig von der Last. Die erzeugte Wärmeenergie in der Wicklung entspricht in etwa I^2 • t.

I_A = Anlaufstrom
I_N = Nennstrom
I_0 = Leerlaufstrom

t_0 = Einschaltzeit
t_A = Anlaufzeit

n_0 = Leerlaufdrehzahl
n_N = Nenndrehzahl



Strom- und Drehzahlverlauf während des Hochlaufs.

Die Isolierstoffklasse beschreibt die maximal zulässige Temperatur am heißesten Punkt der Wicklung. Als Faustregel gilt: Die Wicklungstemperatur ist bei Einhaltung der Grenztemperatur auf 100.000 h (12 Jahre Dauerbetrieb) ausgelegt.

Isolierklasse	Max. Kühlmitteltemperatur in °C	Höchstzulässige Dauertemperatur in °C
E	40	120
B	40	130
F	40	155
H	40	180

Beachte:

Eine Überschreitung der Grenztemperatur um 10 K halbiert die Lebensdauer des Motors.

Die Ursachen für die thermische Belastung von Elektromotoren sind unterschiedlich:

- Erhöhte Belastung durch die Betriebsart
  - Zu lange Anlauf- oder Bremsvorgänge
  - Blockieren während des Einschaltens oder im Betrieb
  - Zu große Schalthäufigkeit
  - Zu lange relative Einschaltdauer bei Schaltbetrieb (Takten)
  - Zu hohes Lastmoment im Dauerbetrieb
  - Betrieb an Stromrichtern

- Beeinträchtigte Kühlung
  - Behinderung des Kühlmittelstroms (Staub)
  - Erhöhte Kühlmitteltemperatur
  - Zu geringe Luftdichte (Aufstellhöhe)
- Netz-, Anschluss- und Schaltfehler
  - Abweichende Netzfrequenz oder Netzspannung
  - Phasenasymmetrie oder Phasenausfall

Auswirkungen eines falschen Drehfelds:
Eine falsche Drehrichtung kann eine Anlage schwer beschädigen oder zu Unfällen führen. Bei mobilen Anlagen wie Baumaschinen, Kühltransporter etc. muss das Einschalten mit falscher Drehrichtung verhindert werden.
In Anlagen bei denen eine falsche Drehrichtung zu Personenschäden führen kann wie Aufzüge, Rolltreppen etc. ist eine Überwachung gesetzlich vorgeschrieben.
Für Motoren ist die Drehrichtung nicht relevant. Ausnahme: Die Drehrichtung hat auch Auswirkung auf das Kühlmittel.

Auswirkungen durch Phasenausfall:
Bei Phasenausfall muss prinzipiell zwischen Stern- und Dreieckbetrieb unterschieden werden.

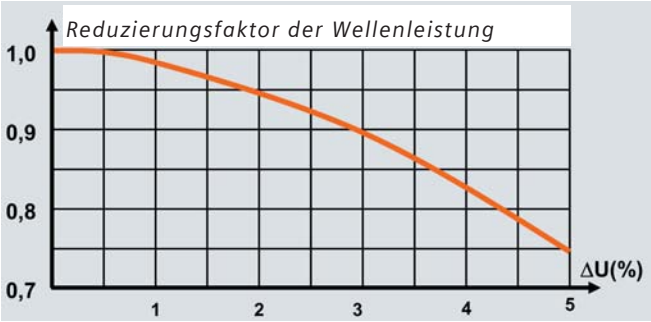
Sternschaltung

Sowohl im normalen, wie auch im gestörtem Betrieb gilt: $I_{Strang} = I_{Außenleiter}$
Die Ströme in den beiden verbundenen Wicklungen nehmen zwar zu, in Summe zieht der Motor aber weniger Strom und wird somit auch weniger erwärmt (Temperaturausgleich zwischen den Wicklungen). Der Motor hat in diesem Fall nur ca. die Hälfte des normalen Drehmoments. (Faustwert)

Dreieckschaltung

Im normalen Betrieb gilt:
$I_{Strang} = 1/\sqrt{3} \bullet I_{Außenleiter} = 0{,}58$
Durch elektromagnetische Effekte will der Motor die Wellenleistung konstant halten. Dadurch wird der Außenleiterstrom ca. verdoppelt und im Verhältnis 2:1 in den Strängen aufgeteilt.
$I_1 = 1/3 \bullet 2 \bullet I_{Außen} = \text{ca. } 0{,}67 \bullet I_{Außen}$
$I_2 = 2/3 \bullet 2 \bullet I_{Außen} = \text{ca. } 1{,}34 \bullet I_{Außen}$
Der Motor ist durch zu hohen Strom und Asymmetrie gefährdet; Schaltgeräte (z. B. Schütze) werden bei Dauerbetrieb überlastet.

Auswirkungen durch Phasenunsymmetrie:
Die aus den abweichenden Spannungen resultierende Asymmetrie der Wicklungsströme beträgt das 6- bis 10-fache der Spannungsasymmetrie.
Die Abgabeleistung wird entsprechend dem Diagramm reduziert.
Die verbleibende Energie wird durch elektromagnetische Effekte in reine Wärmeenergie umgewandelt (Reduzierung des Wirkungsgrads).
Mögliche Ursachen für Phasenasymmetrie sind zum Beispiel sehr lange Netzleitungen bei unsymmetrischer Belastung, defekte Kontakte an Leistungsschaltern oder Schützen sowie lose Klemmenanschlüsse.



Minderung der Abgabeleistung an der Welle aufgrund von Phasenunsymmetrie.

Hinweis:

Die Definition nach IEC und NEMA lautet: ΔU (%) = Maximale Abweichung vom Durchschnitt der Phasenspannungen x 100 / Durchschnitt der Phasenspannungen.

Schützen von Elektromotoren
Die Motorleistung ist im Wesentlichen durch den Strom und damit eigentlich durch die maximale Wicklungstemperatur begrenzt. Hauptaufgabe des Motorschutzes ist es somit eine Erwärmung über der Grenztemperatur in der Ständer- und Läuferwicklung zu verhindern.

Läuferkritisch:
Die Grenztemperatur wird zuerst im Läufer erreicht

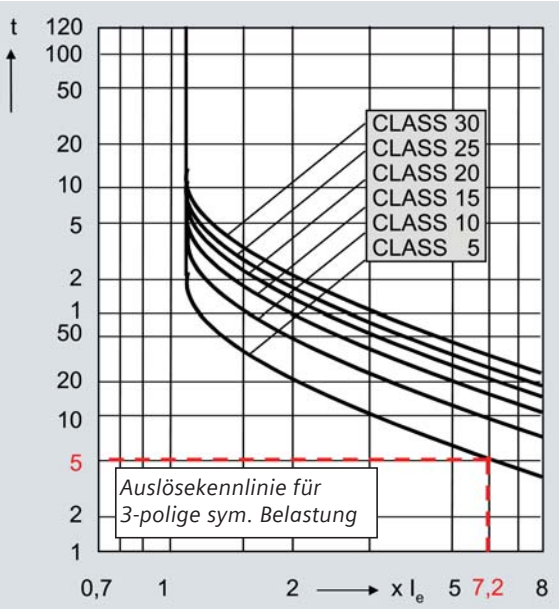
Ständerkritisch:
Die Grenztemperatur wird zuerst im Ständer erreicht

Hinweis:

Faustregel: Kleine und mittlere Motoren sind meist ständerkritisch. Je größer ein Motor und je höher seine Drehzahl, desto höher sein Anlaufstrom und um so läuferkritischer ist er.

Die Auslöseklassen richten sich nach der Auslösezeit (t_A) bei 7,2-fachem Einstellstrom aus kaltem Zustand (Auszug IEC 947-4). Innerhalb dieser Zeiten muss das Überlast-Schutzgerät auslösen.

CLASS	Auslösezeit
10A	2 s < t_A < 10 s
10	4 s < t_A < 10 s
20	6 s < t_A < 20 s
30	9 s < t_A < 30 s



Die Auslöseklassen richten sich nach der Auslösezeit (t_A) bei 7,2-fachem Einstellstrom aus kaltem Zustand.

Es gibt unterschiedliche Arten des Schutzes:
Sicherungsbehaftet mit Sicherungen:
Sicherung - Schütz - Überlastrelais
Sicherungslos mit Leistungsschalter zum Starterschutz:
Leistungssschalter - Schütz - Überlastrelais
Sicherungslos mit Leistungsschalter zum Motorschutz:
Leistungsschalter - Schütz

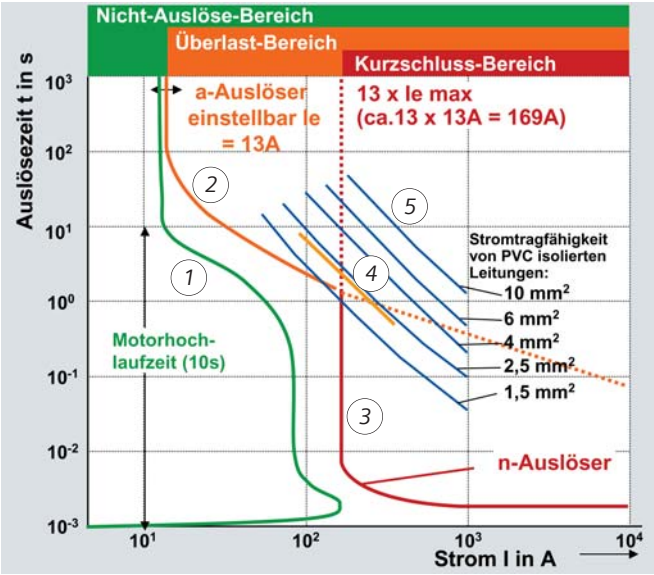
Bezüglich der Schaltgeräte gibt es elektronische, stromabhängige Schutzeinrichtungen; auch als Kombination von Sicherungen und Schütz, Leistungsschalter mit Schütz sowie als Bestandteil von Leistungsschaltern. Darüber hinaus gibt es temperaturabhängige Schutzeinrichtungen wie zum Beispiel den Thermistor-Motorschutz mit Kaltleitern NTC, mit Heißleitern KTY oder PT100 sowie mit Bimetallschaltern.
Strom- und temperaturabhängige Schutzgeräte übernehmen den Motor-Vollschutz mit Kaltleitern NTC oder mit elektronischer Stromüberwachung.

Damit der Schutz von Normmotoren gewährleistet ist, hat die IEC Ansprechgrenzen für den zeitverzögerten Überlastschutz festgelegt:

- Wenn der Motor im Dauerbetrieb mit Nennleistung gefahren wird.
- Wenn während der Anlauf- oder Bremszeit der Anzugsstrom nicht überschritten wird.

- Wenn der Motor bestimmungsgemäß in den Betriebsarten S2 bis S8 betrieben wird.
- Wenn folgende Grenzwerte für Strom und Zeit eingehalten werden.

Funktion		Nicht ansprechen vom kalten Zustand aus	Ansprechen nach anschließender Stromerhöhung	Ansprechen vom warmen Zustand aus	Ansprechen vom kalten Zustand aus
Vielfaches des Nennstroms		1,05	1,2	1,5	7,2
Auslöse-klasse	10A	≥ 2 h	< 2 h	< 2 min	2 .. 10 s
	10	≥ 2 h	< 2 h	< 4 min	4 .. 10 s
	20	≥ 2 h	< 2 h	< 8 min	6 .. 20 s
	30	≥ 2 h	< 2 h	< 12 min	9 .. 30 s



1 - Typische Stromkennlinie eines Motors im Hochlauf Class 10 (10s)

2 - Auslösekennlinie eines Bimetall-Überlastauslösers a-Auslöser

3 - Auslösekennlinie eines Kurzschlussauslösers n-Auslöser

4 - Zerstörungsgrenze des Überlastauslösers

5 - Typische Stromtragfähigkeiten von Kupferleitungen

Ebenso ist darauf zu achten, dass die Stromtragfähigkeit der Leitung für den Maximalstrom ausgelegt sein muss. Ansonsten besteht die Gefahr eines Kabelbrands. Die Impedanz der Leitung darf nicht zu hoch sein. Das bedeutet, das Schutzorgan muss genügend Strom bekommen, um in entsprechend kurzer Zeit abschalten zu können.

Die Formel zur Berechnung der maximal zulässigen Leitungslänge lautet folgendermaßen:

$$I_{max,\,Leitung} = \frac{(U_{treibend} / (I_{Bemessung} \bullet 13 \bullet 1{,}2)) - R_{Trafo}}{2 \bullet R_{relativ,Leitung}}$$

Der Leitungsquerschnitt bis zum Schaltschrank ist abhängig von der Verlegeart. Und auch die Leitungslängen ab dem Schutzorgan sind abhängig vom Querschnitt und von der Industrieart.

Leistungsschalter:
Das Funktionsprinzip von Leistungsschaltern basiert auf der Möglichkeit eines handbetätigten Ein- und Ausschaltens, eines verzögerten Auslösens bei Überlast und eines unverzögerten Auslösens bei Kurzschluss.
Die Schutzfunktion besteht durch Auslösung bei einer Überlast sowie der Auslösung bei einer Phasenasymmetrie und Phasenausfall durch integrierten Differentialschieber.
Weitere Charakteristika sind die Temperaturkompensation. Das bedeutet, durch einen internen Kompensationsstreifen wird eine gleichbleibende Auslösung bei einer Temperaturumgebung zwischen -20 bis +60°C gewährleistet. Außerdem zeichnen sich thermische Überlastrelais durch eine hohe Langzeitstabilität aufgrund spezieller Bimetalle aus.

Thermisches Überlastrelais (Bsp. 3RU11):
Die Schutzfunktion besteht durch Auslösung bei einer Überlast sowie der Auslösung bei einer Phasenasymmetrie und Phasenausfall durch integrierten Differentialschieber.
Weitere Charakteristika sind die Temperaturkompensation. Das bedeutet, durch einen internen Kompensationsstreifen wird eine gleichbleibende Auslösung bei einer Temperaturumgebung zwischen -20 bis +60°C gewährleistet. Außerdem zeichnen sich thermische Überlastrelais durch eine hohe Langzeitstabilität aufgrund spezieller Bimetalle aus.

Elektronisches Überlastrelais (Bsp. 3RB20/21):
Das elektronische Überlastrelais besitzt die Schutzfunktionen Auslösung bei einer Überlast, bei einer Phasenasymmetrie und bei einem Phasenausfall. Weitere Eigenschaften dieser Geräte sind die Temperaturkompensation, sehr hohe Langzeitstabilität, große Einstellbereiche, Auslöseklassen von CLASS 5 bis CLASS 30, geringe Verlustleistung, Eigenversorgung sowie ein thermisches Gedächtnis.

Elektronische Überlastrelais mit erweiterter Funktionalität (Bsp. 3RB22/23):
- Modularer Geräteaufbau
- Große Einstellbereiche von 1:10 minimiert Varianz um bis zu 90 %
- Steuerspeisespannung AC/DC 24 ... 240 V
- Thermistor-Motorschutzgerät integriert
- Motorvollschutz durch Anschluss eines PTC-Fühlers
- Überlastwarnung
- Analogausgang
- Bistabile Kontakte möglich
- Erdschlussüberwachung

TIPP:
Ein elektronisches Überlastrelais besitzt gegenüber einem konventionellen thermischen Überlastelais eine geringere Verlustleistung von bis zu 95 Prozent.

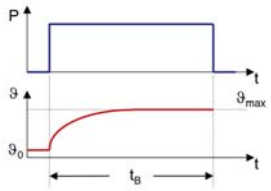
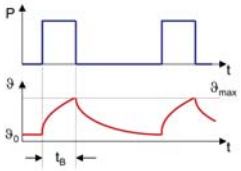
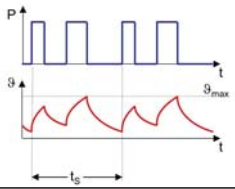
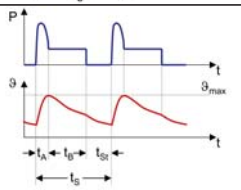
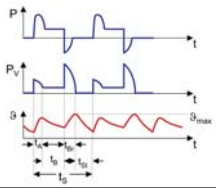
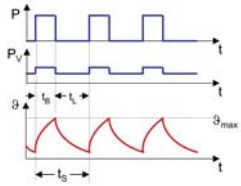
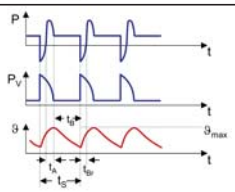
Thermistor-Motorschutz zum Schutz von Motorwicklungen:
Der Motorhersteller definiert die maximale Wicklungstemperatur durch den Einsatz des richtigen PTC-Typs.
Monostabile Geräte lösen bei Ausfall der Steuerspannung aus. Der Motor wird bei Ausfall der Steuerspannung abgeschaltet. Das gilt auch dann, wenn die Motorversorgung noch zur Verfügung steht.

"**Nullspannungssichere** Geräte" speichern den Auslösezustand während eines Spannungsausfalls. Das Gerät löst bei Ausfall der Steuerspannung aus. Nach Rückkehr der Steuerspannung setzt das Gerät in den Zustand zurück, in dem es vorher war. Diese Geräte speichern also den Auslösezustand während des Ausfalls der Steuerspannung.

Bei **bistabilen** Geräten bleibt der Zustand während und nach dem Ausfall der Steuerspannung unverändert. Somit ist zwar ein Betrieb des Motors auch bei Ausfall der Steuerspannung möglich, jedoch ist dann keine Schutzfunktion mehr gegeben. Bei diesen Geräten ist eine zusätzliche Überwachung der Steuerspannung zu empfehlen.

Schalten von Elektromotoren
Das Anlauf- und Betriebsverhalten des Drehstrom-Asynchronmotors wird durch zwei physikalische Größen bestimmt, nämlich das Drehmoment und den aufgenommenen Strom.
Zum Schalten von Elektromotoren gibt es elektromechanische Lösungen (Direktstart, Stern-Dreieck) und elektronische Lösungen (Sanftstarter, Frequenzumrichter, Halbleiterschaltgeräte).

Neun Betriebsarten unterscheiden die jeweiligen Einsatzschwerpunkte von Elektromotoren. Dabei kann eine Einteilung in zwei Gruppen getroffen werden:
S2, S3, S6 sind Betriebsarten, die gegenüber dem Dauerbetrieb S1 eine Leistungserhöhung zulassen; die Folge ist, dass der Motor nicht überlastet wird.
S4, S5, S7, S8, S9 sind Betriebsarten, die gegenüber dem Dauerbetrieb S1 eine Leistungsreduzierung erfordern; die Folge ist, dass der Motor wahrscheinlich überlastet wird und somit deshalb stärker ausgelegt werden sollte.

S1 - Dauerbetrieb • Konstanter Belastungszustand mit Bemessungsleistung • Thermischer Beharrungszustand wird erreicht	
S2 - Kurzzeitbetrieb (KB) • Konstanter Belastungszustand • Thermischer Beharrungszustand wird nicht erreicht • Pause lang genug für Systemabkühlung bis (θ - θ_0) < 2K • Grenztemperatur der Komponenten wird nicht erreicht → t_B entsprechend kurz gewählt • (↑Belastungsstrom => ↓Belastungszeit)	
S3 - Periodischer Aussetzbetrieb (AB) • Konstanter Belastungszustand • Folge identischer Schaltspiele (Belastungs- und Pausenzeiten können variieren) • Thermischer Beharrungszustand wird nicht erreicht • Thermisches Gleichgewicht der Anlagenkomponenten wird weder bei Erwärmung noch bei Abkühlung erreicht	
S4 - wie S3 mit Einfluss des Anlaufvorgangs • Folge identischer Schaltspiele mit erheblicher Anlaufzeit t_A, konstanter Belastung und Pause	
S5 - wie S4 mit elektrischer Bremsung • Folge identischer Schaltspiele mit erhebl. Anlaufzeit t_A, konst. Belastung und Pause • Schaltspiel beinhaltet elektrische Bremsung	
S6 - unterbrochener periodischer Betrieb • Folge identischer Schaltspiele • Konstante Belastung • Leerlaufzeit t_L • Keine Pause • Thermischer Beharrungszustand wird nicht erreicht	
S7 - wie S6 mit elektrischer Bremsung • Folge identischer Schaltspiele • Anlaufzeit t_A und elektrische Bremsung t_{Br} • Keine Pause	
S8 - wie S6 mit Last-/Drehzahländerung • Folge identischer Schaltspiele • Belastungszeiten mit konstanter Belastung • Drehzahländerungen mit Anlauf-/Bremsleistung	
S9 - Betrieb mit nichtperiodischer Last-/Drehzahländerung • nichtperiodische Last-/Drehzahländerung im zulässigen Betriebsbereich • Häufige Belastungsspitzen über Bemessungsleistung • Passend gewählte Dauerbelastung muss als Bezug für Lastspiel zugrunde gelegt werden • Zusammenfassung von KB, AB und Durchlaufbetrieb	

Direktstart mit Schütz:
Im Gegensatz zum Motor ist beim Schütz weniger die Gesamtengergie (Erwärmung) zu berücksichtigen, sondern vielmehr die Ein- und Ausschaltströme. Die unterschiedlichen Schaltspiele je Gebrauchskategorie sind meist in den Katalogen angegeben. Ihre Dimensionierung im Hauptstromkreis bzw. die Gebrauchskategorien lässt sich aus der IEC 60 947 (VDE 0660) ermitteln.

AC	Gebrauchskategorie für Wechselspannung	Einschaltströme I_e/I	
		Ein	Aus
AC-1	Nicht induktive (ohmsche) oder schwach induktive Last	1,5	1,5
AC-2	Schleifringläufermotoren: Anlassen, Ausschalten	4	4
AC-3	Käfigläufermotoren: Anlassen, Ausschalten während des Laufs	10	8
AC-4	Käfigläufermotoren: Anlassen, Gegenstrombremsen oder Reversieren, Tippen	12	10

Tabelle für die unterschiedlichen Strombelastungen der einzelnen Motortypen bzw. Motorbetriebssituationen.

Hinweis:

In Bezug auf die Dimensionierung im Steuerstromkreis sollte der Überspannungsbedämpfung beim Abschalten von Schützspulen Aufmerksamkeit geschenkt werden. Vor allem beim Abschalten ergeben sich Spannungsspitzen mit großer Steilheit bis 4 kV für ca. 250 µs (Schauerentladungen). Daraus ergeben sich möglicherweise Fehlsignale in elektronischen Steuerungen oder ein Defekt bzw. ein starker Abbrand der Kontakte, die die Spule schalten.

Auch lange Steuerleitungen haben Einfluss auf das Schaltverhalten von Schützen beim Einschalten. Sind für Steuerstromkreise von Schützen oder Relais lange Steuerleitungen erforderlich, kann es beim Schalten unter bestimmten Bedingungen zu Fehlfunktionen kommen. Diese können bewirken, dass die Schütze nicht ein- oder ausschalten.
Einschalten:

Aufgrund des Spannungsabfalls in langen Steuerleitungen ist es möglich, dass die anliegende Steuerspannung am Schütz unter den Schwellwert sinkt, bei dem das Schütz einschaltet. Die betrifft sowohl gleichstrom- als auch wechselstrombetätigte Schütze.

Folgende Gegenmaßnahmen können hier erfolgen:

Änderung der Schaltungstopologie, sodass kürzere Steuerleitungen eingesetzt werden können
Erhöhung des Leitungsquerschnitts
Erhöhung der Steuerspannung
Einsatz ein Schützes mit geringerer Anzugsleistung der Magnetspule.

Ausschalten:

Beim Ausschalten von wechselstrombetätigten Schützen kann es Aufgrund einer zu großen Leitungskapazität der Steuerleitung dazu kommen, dass das Schütz nicht mehr ausschaltet, wenn der Steuerstromkreis unterbrochen wird.

Folgende Gegenmaßnahmen können hier erfolgen:

Änderung der Schaltungstopologie, so dass kürze Steuerleitungen eingesetzt werden können
Einsatz von gleichstrombetätigten Schützen
Verringerung der Steuerspannung
Einsatz eines Schützes mit größerer Halteleistung der Magnetspule
Parallelschaltung eines ohmschen Widerstandes zur Erhöhung der Halteleistung (Zusatzverbraucherbaustein)

Stern-Dreieck-Start:

Nach wie vor wird der Stern-Dreieck-Anlauf zum Einschalten von Drehstrom-Asynchronmotoren verwendet. Bei dieser Schaltungsart reduziert sich der Anlaufstrom auf 1/3 des Stromes gegenüber dem bei Direkteinschaltung.

Hinweis:

Bei der Umschaltung von Stern in Dreieck können aber, verstärkt durch eine ungünstige Konstellation von Netzfrequenz und Läuferfeld, Ausgleichsvorgänge im Motor auftreten, die zu größeren Stromspitzen führen als beim direkten Zuschalten des stehenden Motors in Dreieckschaltung.

Im ungünstigen Fall ergeben sich folgende Probleme:

- Kurzschlusseinrichtungen lösen aus
- das Dreieckschütz verschweißt bzw. unterliegt hohem Kontaktabbrand
- der Motor unterliegt einer hohen dynamischen Beanspruchung

Beim Umschaltvorgang von Stern- auf Dreieckschaltung (Spannungsversorgung wird kurz unterbrochen) kommt es durch das Zurückbleiben des Läufers gegenüber dem Ständerdrehfeld zu Stromspitzen (Läuferfeld induziert eine Restspannung). Die auftretenden Stromspitzen können folgende Probleme verursachen:

- Auslösen der Kurzschlusseinrichtungen
- Dreieckschütz verschweißt bzw. unterliegt hohem Kontaktabbrand
- Motor unterliegt einer hohen dynamischen Beanspruchung

Durch Vorzugsschaltung können Stromspitzen beim Umschaltvorgang minimiert werden.

TIPP:

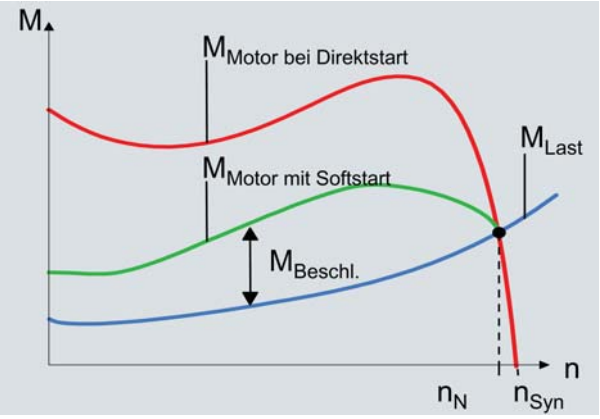
Eine optimierte Verdrahtung des Dreieckschützes sorgt für eine günstige Vektorlage der induzierten Restspannung bezüglich der Netzspannung, folglich wird die Differenzspannung reduziert.

Halbleiterschaltung:
Halbleiterschaltgeräte sind für sehr hohe Schalthäufigkeiten ausgelegt. Sie haben keine mechanischen bewegten Teile und damit eine fast endlose Lebensdauer.

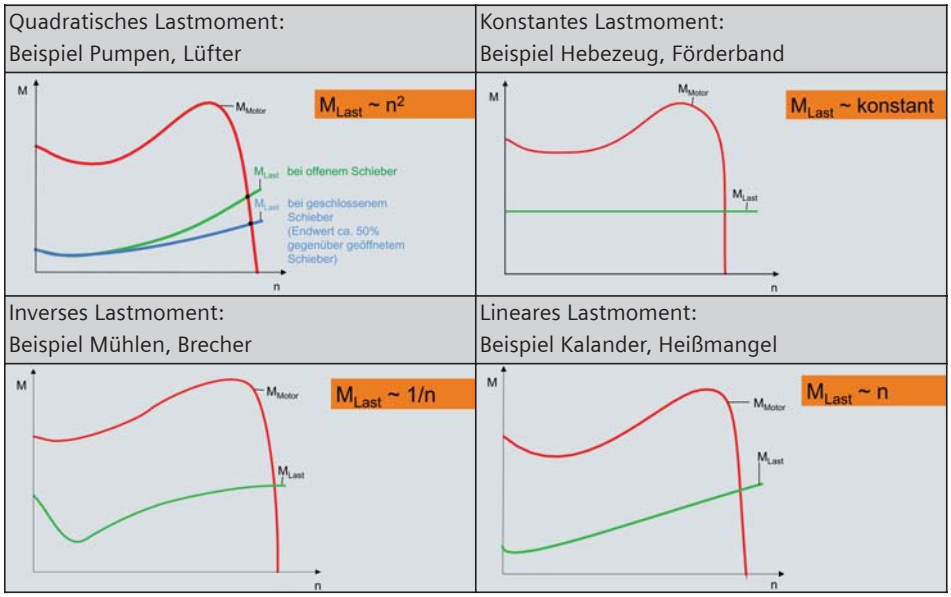
- Sie schalten lautlos.
- Sie sind unempfindlich gegen Schock, starke Schwingungen und elektromagnetische Felder.
- Sie können in feuchten und stark verunreinigten Umgebungen eingesetzt werden.
- Sie schalten ohne einen Störlichtbogen und haben somit eine geringe Störaussendung.

Sanftstarter:
Je nach Art des Starters sind unterschiedliche Lastkennlinien am Motor erkennbar. Diese können entsprechend dem Lastmoment quadratisch, konstant, invers oder linear sein.

Durch eine Reduzierung der Spannung ist eine Reduzierung/Anpassung des Anlaufstroms möglich. Diese Reduktion der Spannung geschieht mithilfe des Phasenanschnitts.
Zur besseren Steuerung des Sanftstarters besitzen die Siemens-Geräte SIRIUS 3RW ein so genanntes “Polarity Balancing”. Polarity Balancing verhindert jedoch nicht die vollständige Asymmetrie. Aufgrund der reduzierten Anlaufströme ist die Motorerwärmung dennoch geringer als bei Direkt- oder Stern-Dreieckstart.



Das durch den Sanftstarter im Motor erzeugte Drehmoment muss größer sein als das von der Last benötigte Drehmoment. (Beschleunigungs-drehmoment)



Unterschiedliche Anwendungsfälle bringen spezielle Lastmomente auf Motoren.

Vorteile von Polarity Balancing:

- Eliminiert die physikalisch bedingten Gleichstromkomponenten in zweiphasig gesteuerten Sanftstartern.
- Verhindert die sonst entstehenden Bremsmomente.
- Ermöglicht das zweiphasige Sanftstarten von Motoren, vor allem im Leistungsbereich 75 kW und höher (patentiert und weltweit einzigartig).
- Sorgt für gleichmäßigen Motorhochlauf.

Frequenzumrichter:

Eingangsseitige Optionen

Netzsicherungen

- Für den Schutz der Zuleitung immer erforderlich
- Bei langen Anschlussleitungen nahe am Abzweig vom Netz anordnen

Netzkommutierungsdrosseln

- Verringern die Netzrückwirkungen
- Schützen den Umrichter vor hohen Oberschwingungsströmen
- Notwendig bei Netzen mit hoher Kurzschlussleistung, d.h. mit geringer Impedanz

Hauptschalter

- Hiermit wird der Umrichter spannungsfrei geschaltet
- Je nach Anlage kann dies auch über den Hauptschalter für die gesamte Maschine erfolgen
- Kann als Lasttrennschalter mit oder ohne Sicherungen ausgeführt werden

Hauptschütz:
- Nicht zwingend erforderlich
- Für eine fernbetätigte Abschaltung z.B. von einer Warte aus
- Falls der Umrichter im Fehlerfall vom Netz getrennt werden soll

Funkentstörfilter
- Verringern die Netzrückwirkungen
- Notwendig, wenn gemäß dem EMV-Gesetz Grenzwerte für Industriegebiete (A) oder Wohngebiete (B) eingehalten werden müssen

Ausgangsseitige Optionen

Ausgangsfilter, Ausgangsdrosseln:
- Notwendig bei langen Motorleitungen. Bei mehreren Motoren am Umrichter (Gruppenantriebe) müssen die Längen addiert werden.
- Mögliche maximale Leitungslängen siehe Katalog
- Begrenzen die Umladeströme - verursacht durch die parasitären Kapazitäten des Kabels
- Reduzieren die Beanspruchung der Motorisolation, verursacht durch den steilen Spannungsanstieg der Pulsbreitenmodulation
- Je nach Leitungslänge: Ausgangsdrosseln oder Sinusfilter
- Ausgangsdrosseln: Kostengünstige Lösung

Ausgangsschütz:
- Nicht zwingend erforderlich
- Bei Not-Aus kann der Motor spannungsfrei geschaltet werden
- Wenn mehrere Motoren wahlweise zugeschaltet werden sollen

Regeln zum EMV-gerechten Aufbau:
1. Störquellen und Störsenken im Schaltschrank räumlich voneinander trennen. (Zonenkonzept)
2. Signalleitungen und Leistungskabel getrennt voneinander verlegen. Mindestabstand: 20 cm
3. Signalleitungen und Leistungsleitungen möglichst nur von jeweils einer Seite in den Schrank führen.
4. Leitungen nahe an geerdeten Blechen und nicht frei im Schrank verlegt.
5. Funkentstörfilter immer in der Nähe der Störquelle anbringen.
6. Die Schirme von digitalen Signalleitungen beidseitig großflächig und gut leitend auf Erde legen (eventuell auch mehrmals).
7. Die Schirme von analogen Signalleitungen bei gutem Potentialausgleich beidseitig auf Erde legen. Falls niederfrequente Störungen auftreten, Schirmanbindung einseitig am Umrichter vornehmen. Die andere Seite des Schirms sollte über einen Kondensator geerdet werden.

8. Schirme dürfen keine Unterbrechungen aufweisen (z. B. durch Zwischenklemmen, Filter, Sicherungen, Schütze).
9. Alle drehzahlveränderbaren Motoren mit geschirmten Leitungen anschließen.
10. Alle metallischen Teile des Schaltschranks werden flächig und gut leitend miteinander verbunden.
11. Potentialausgleich mit möglichst kurzen und dicken Leitungen ($\geq 10\ mm^2$) ausführen.
12. Reserveadern an beiden Enden erden. Unnötige Leitungslängen vermeiden.
13. Die ungeschirmten Signalleitungen des gleichen Stromkreises (Hin- und Rückleiter) verdrillen.
14. Schütze, Relais, etc. im Schaltschrank mit RC-Gliedern, Dioden, Varistoren beschalten.

Starten von Elektromotoren

Verbraucherabzweige:
Verbraucherabzweige lassen sich in “sicherungsbehaftet” und “sicherungslos” unterteilen. Bei beiden gibt es entsprechende Zuordnungsarten.

Zuordnungsart 1 gemäß IEC 60947-4-1:
Schütz und/oder Überlastrelais ist nach einem Kurzschlussfall defekt und damit für den weiteren Gebrauch ungeeignet (Personen- und Anlagenschutz gewährleistet)
Folge: Das Bauteil muss getauscht oder (falls möglich) repariert werden.

Zuordnungsart 2 gemäß IEC 60947-4-1:
Schütz und Überlastrelais müssen nach Kurzschlussfall für den weiteren Gebrauch geeignet sein (Personen- und Anlagenschutz gewährleistet)
Folge: Gefahr der Kontaktverschweißung
Herstellerseitige Wartungsanweisungen für das Aufbrechen der Schaltstücke sind notwendig

Zuordnungsart II gem. IEC 60947-4-1 besagt, dass nach einer Kurzschlussabschaltung Schütz und Überlastauslöser ohne Beschädigung wieder in Betrieb zu nehmen sind; die Auslösekennlinie der Schutzgeräte muss bestehen bleiben. Ein Verschweißen der Schützkontakte ist zulässig, wenn diese ohne nennenswerte Verformung leicht zu trennen sind. Folglich ist ein Austausch des Abzweigs nicht erforderlich.

Zuordnungsart 3 (keine Norm, in der Praxis teilweise so bezeichnet):
Schütz und Überlastrelais wären nach einem Kurzschlussfall für den weiteren Gebrauch geeignet (Personen- und Anlagenschutz gewährleistet)
Folge: Verschweißungsfrei (auch nach Lebensdauerende)

Einspeisesystem und Kompaktstarter:
Der konventionelle Aufbau eines Motorabzweigs besteht aus Leistungsschalter, Schütz und Überlastrelais plus Zubehör. Dieser kann komplett mit Einzelgeräten zusammengestellt werden oder in Form eines Einspeisesystems sehr kompakt auf einer Sammelschiene aufgebaut werden.
Alternativ dazu gibt es so genannte Kompaktabzweige. Ein Schaltgerät integriert dabei die Eigenschaften von Leistungsschalter, Schütz und Überlastrelais.

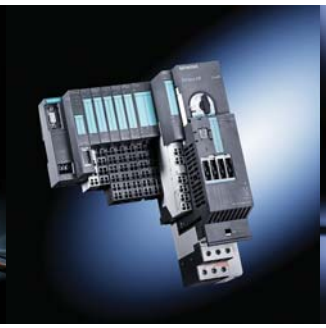
Sicherungsloser Verbraucherabzweig

Einspeisesystem

Kompaktabzweig

Motorstarter - Dezentrale Peripherie:
Solche sehr kompakten Einheiten mit der Möglichkeit eines direkten Profibus- bzw. Profinet-Anschlusses besitzen eine Reihe von Kundennutzen. So kann die Verdrahtung bis zu 80 Prozent schneller erfolgen und auch der Projektierungsaufwand bzw. die Montagezeiten verkürzen sich. Durch die Möglichkeit der Diagnose lässt sich auch der Prüfaufwand vermindern, was natürlich auch den Servicezeiten zugute kommt.

ET200X



ET200S

ET200pro

Energiemanagement

Energiemanagement geht heute jeden an: Eine durchdachte Lastspitzenregelung schont die Kostenseite und erhöht somit den Gewinn eines Unternehmens.

Energiemanagement bildet die Basis, um Kosten zu sparen. Durch das Erfassen von Energieflüssen - Strom, Gas, Wasser, Wärme, Kälte usw. - kann der Verbrauch gezielt dokumentiert werden. In nächsten Schritten können Fehler (z. B. Leckage) beseitigt oder eine Anlagenmodernisierung - und damit einer Erhöhung des Wirkungsgrads - durchgeführt bzw. eine gesteuerte Anpassung an Vorgabewerte (z. B. Strombezugsverträge) erzielt werden. All das führt zu Einsparungen für den Betreiber.
Siemens bietet hierzu unter anderem das Programm SIMATIC PCS7 powerrate.

Ein Energiemanagement in der elektrischen Energieverteilung lässt sich in drei Ebenen unterteilen, nämlich die Erfassungsebene, die Verarbeitungsebene und die Visualisierungsebene.

Innerhalb der Erfassungsebene sind Schaltgeräte mit zusätzlicher Messwerterfassung notwendig. Typische Vertreter sind Leistungsschalter mit integrierter Kommunikation. Die Erfassung der Messwerte ist dabei ein integrierter Bestandteil des Schalters. Darüber hinaus gibt es noch Multifunktionsmessgeräte bei einer Trennung von Schutz und Erfassung sowie komplette Motormanagementsysteme wie zum Beispiel den SIMOCODE pro von Siemens. Bei Letzterem handelt es sich um einen Leistungsschalter mit Motorschutz- und Steuergerät.

Energiemanagementsoftware erlaubt den ständige Blick auf den Energieverbrauch. "Energiefresser" fallen damit sofort auf.

Drei Phasen zur Implementierung eines umfassenden Energiemanagements:

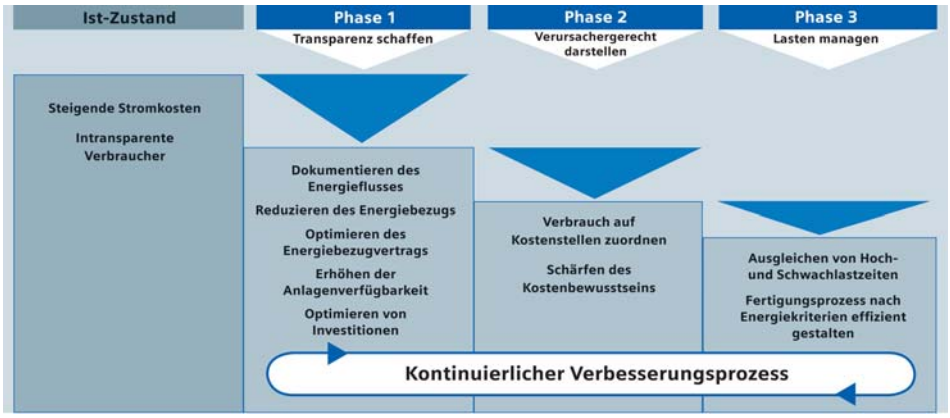
Energiemanagement sollte in einem kontinuierlichen Verbesserungsprozess einer regelmäßigen Überprüfung unterzogen werden. Grundsätzlich gibt es drei Phasen, die am Ende dazu führen, dass der gesamte Betrieb energieseitig optimiert wird.

Mit dem durchgängigen Power Management System von Siemens können Sie Ihren Energiehaushalt einfach optimieren und Betriebskosten drastisch senken – in drei Phasen und mit bedeutenden Ergebnissen bei jedem Schritt.

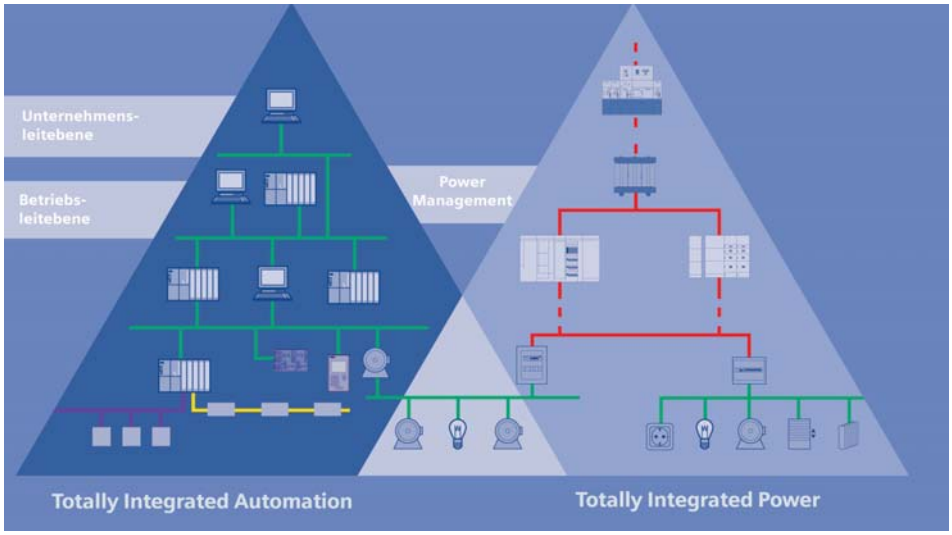
Phase 1:
Zuerst erhalten Sie die Basis für höhere Energieeffizienz: die maximale Transparenz Ihrer Energieströme durch eine konstante und lückenlose Erfassung der Daten. Denn je besser der Überblick über den Verbrauch, umso besser lassen sich vorhandene Energiesparpotenziale erkennen und nutzen.

Phase 2:
In der zweiten Phase werden die erfassten Verbrauchsdaten verursachergerecht dargestellt. Das zeigt Ihnen, wo wie viel Energie verbraucht wird, und schärft das Energiekostenbewusstsein in Ihrem Unternehmen.

Phase 3:
Im letzten Schritt können Sie die Energieauslastung perfekt planen und steuern, um teure Verbrauchsspitzen sicher zu vermeiden und ungenutzte Ressourcen vollständig auszuschöpfen.



Das Simatic basierte Power Management unterstützt den Energiesparprozess in Industrie und Zweckbauten.



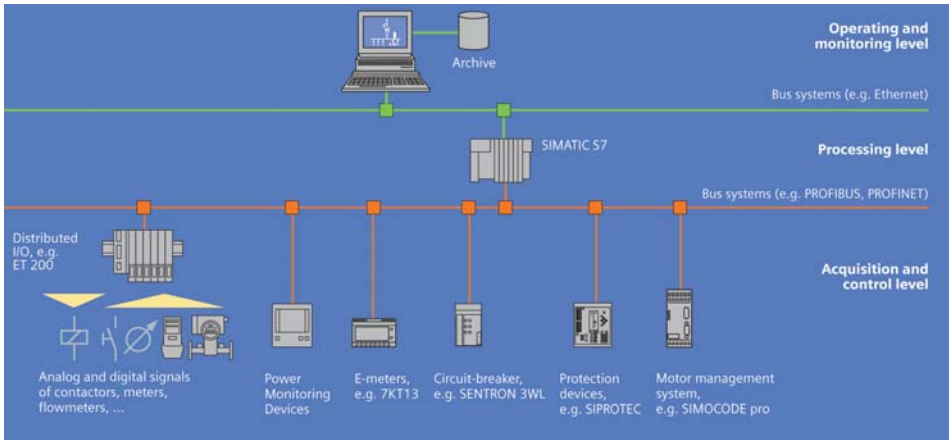
Je stärker sich die Automatisierungs- und die Energieebene verzahnen, desto effizienter funktioniert ein Energiemanagement.

Das Power Management von Siemens - mit dem Baustein SIMATIC PCS7 powerrate - schafft die Voraussetzung, die Energiekosten Schritt für Schritt zu reduzieren.
Die Software gibt es in vier unterschiedlichen Varianten: Lean, Standard, Advanced und Unlimited. Die Anzahl der Messstellen bestimmt im Grunde genommen die richtige Wahl.

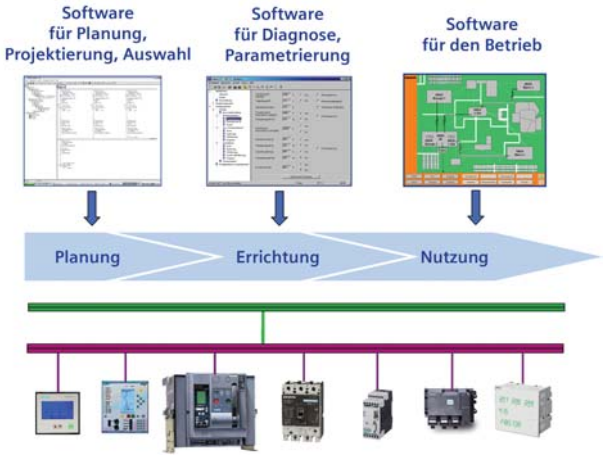
Hinweis:

Entscheidend ist, dass die Software mit den in der Energiewirtschaft üblichen 15-Minuten-Zeittakten der Energieversorger arbeitet. Um die gesamte Bandbreite des Energieverbrauchs aufzuzeigen, wird neben den langfristigen Energieganglinien auf 15-min-Basis auch der kleinste und größte 10-Sekunden-Mittelwert angegeben.

Ein effizientes Energiemanagement umfasst die Erfassungs-, die Verarbeitungs- und die Beobachtungsebene.

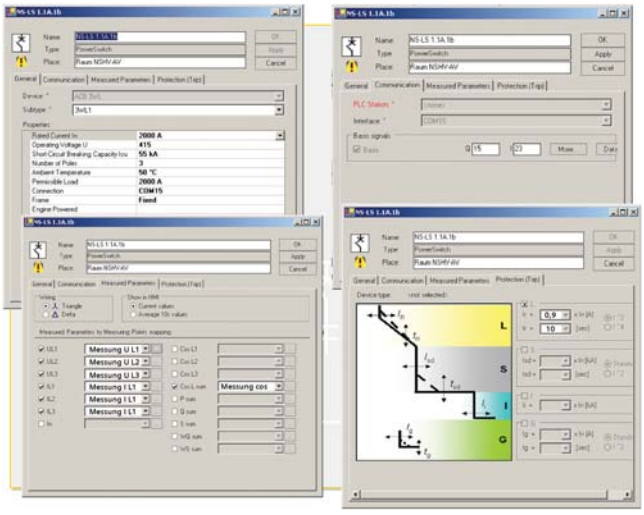


Energiemanagement SIMATIC PCS7 powerrate:



Geradewegs zum Energiemanagement: ‚Simaris design' für die Anlagenplanung, ‚Switch ES' für den Aufbau und ‚SIMATIC PCS7 powerrate' zur langfristigen Betriebs- bzw. Energieoptimierung. Intelligente Niederspannungs-Schaltgeräte ermöglichen ein optimales Energiemanagement.

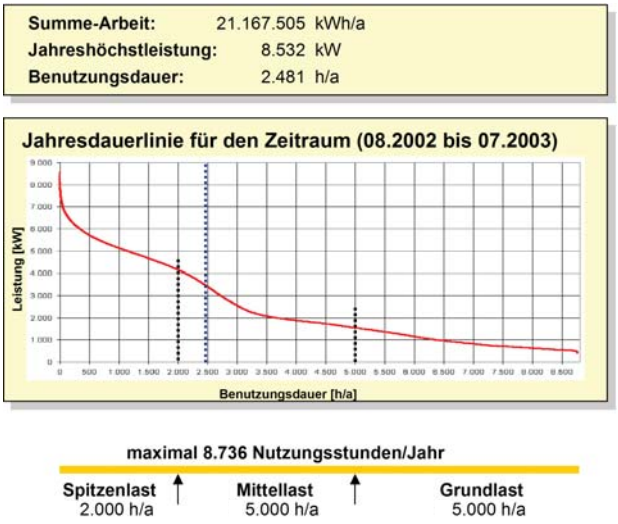
Mithilfe der Software wird die Transparenz der Energieströme bzw. der Energiekosten deutlich erhöht. Durch das Erfassen der unterschiedlichen Verbrauchswerte und das Visualisieren ergibt sich ein Spiegelbild der Energieverbräuche bzw. der "Energiefresser", das Rationalisierungsmaßnahmen mit belegbaren Fakten unterstützt. Das System folgt der Philosophie der ganzheitlichen (Echtzeit-) Erfassung und Auswertung.
In SIMATIC PCS7 powerrate bzw. SIMATIC WinCC erfolgt zunächst eine Istwert-Darstellung der Messwerte. Zusätzlich werden Statusanzeigen über den Schaltzustand von Niederspannungs-Schaltgeräten sowie Meldungen aller Art oder allgemeine Beschreibungen abgebildet, die auch die Historie eines Anlagenbetriebs dokumentieren. Bis zu sieben Tage bleiben die Daten in der speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) als eigenständige Verarbeitungseinheit für die Messwerte der Sensoren gespeichert, so dass keinerlei Daten verloren gehen können. Es sind also keine zusätzlichen Redundanzkonzepte oder Hot-Stand-by-Maßnahmen gegen Datenverlust wie zum Beispiel gespiegelte Speicherplatten notwendig.



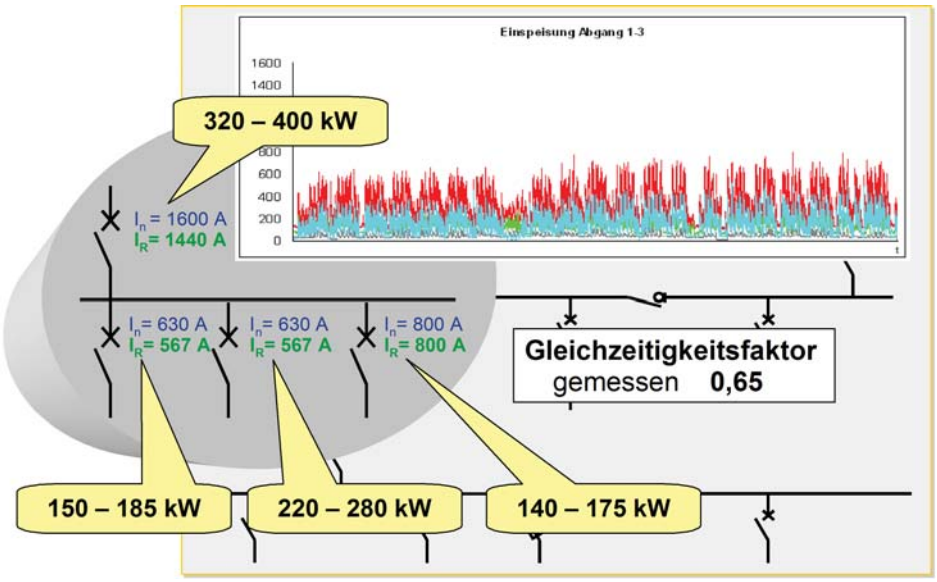
SIMATIC PCS7 powerrate zeigt die Schaltzustände von Schaltern sowie andere Ist-Daten an, die für die konsequente Anlagenüberwachung notwendig sind. Daraus erstellt das Programm automatisch die Ganglinie des Energieverbrauchs.

In regelmäßigen Zyklen fragt die Software die Werte ab, speichert und archiviert diese. Gleichzeitig erfolgt auch die Umrechnung von Sensorsignalen (0/4...20 mA, 0...10 V) in die damit korrespondierenden physikalischen Angaben.
Die Energieversorger (EVU) erfassen die Stromverbrauchswerte im Viertelstunden-Takt; das gleiche macht das Energiemanagement, weshalb die Synchronisierung mit den Energieversorgern perfekt funktioniert. Die Software mittelt die Werte im 10-Sekunden-Takt. Daraus berechnet das System die 15-Minuten-Mittelwerte.
Auf diese Weise erhält man eine aussagefähige Gangliniendarstellung der tatsächlichen Energieverbräuche. Über die Gangliniendarstellung lässt sich zum Beispiel visualisieren, welche Energiekosten-Sparmaßnahme den erwünschten Erfolg gebracht hat und welche nicht.
Nach Ablauf eines Jahres kann sogar eine Jahresdauerlinie ausgedruckt werden. Diese ist die gleiche, wie sie der Energielieferant von seinem Kunden zeichnet.

Anhand der Jahresdauerlinie erfasst der Energieversorger das Bedarfsspektrum seines Industriekunden. Mit dem Energiemanagement ist der Kunde nun selbst in der Lage, diese Daten synchron zum EVU zu ermitteln und seine Energiekosten zu optimieren.



Beispiel Elektromotor:
Eine entscheidende Kenngröße stellt die Cos-Phi-Betrachtung dar. Dieser liegt bei optimalen Bedingungen im Bereich von 15 bis 20 Grad ($\cos \varphi \approx 0{,}95$). Nun variiert dieser Wert in der Praxis natürlich, was einen - teilweise drastischen - Anstieg der Blindleistung zur Folge hat. Für den Versorger bedeutet das, dass er die für die Prozesse benötigte Wirkleistung über erhöhte Kosten zur Verfügung stellt. Diese Phasenverschiebung lässt sich nun mit der Software problemlos überwachen, um Kosten senkende Maßnahmen durchführen zu können.
Das gleiche gilt für die Erfassung von Oberschwingungen in Maschinen und Anlagen, die beispielsweise aus dem Einsatz von Frequenzumrichtern resultieren. Die Summe daraus ergibt einen Oberschwingungsfaktor (THD), der den direkten Rückschluss auf die Stromqualität gibt. Mit dem Wissen um die Netzqualität, kann entsprechend Einfluss genommen werden.



Durch die Möglichkeit, die tatsächlichen Verbrauchswerte in elektrischen Anlagen zu erfassen, lassen sich sehr einfach Reserven in der Auslegung lokalisieren.

Das Leistungsspektrum dieses Energiemanagements erstreckt sich sehr weit: Im Programm sind zum Beispiel auch die Einpoldiagramme/Single Lines einer gesamten Anlage enthalten, was ermöglicht, dass vom Leitstand aus - in Echtzeit - sämtliche Geräte vor Ort mit einem Knopfdruck eingeblendet werden können. Wie viel Strom fließt im Leistungsschalter, hat er geschaltet, wie sehen die Oberschwingungen in großen Antrieben aus oder in welchem Lastbereich läuft ein Kompressor? Auf all diese Fragen gibt Simatic PCS7 powerrate die aktuellen Daten aus.

TIPP:

Das Energiemanagement SIMATIC PCS7 powerrate ist der unermüdlich mitschreibende "Bleistift" zur Erfassung, Darstellung und Archivierung von Energiedaten aller Art. Er hilft jedem Betrieb, Energiekosten zu sparen und gleichzeitig die knappen Ressourcen zu schonen.

Hinweis:

Neben elektrischer Energie können Simatic WinCC powerrate und Simatic PCS 7 powerrate auch für alle anderen Energieträger wie z.B. Wasser, Gas, Wärme oder Druckluft eingesetzt werden.

Die Vorteile des Power Management System auf einen Blick
Betriebskosten senken ...
• Identifizierung energieintensiver Verbrauchsgeräte für die Umsetzung energieeffizienter Maßnahmen • Unterstützung der Energieeinkäufer mit Hilfe der Bereitstellung historischer Anforderungsprofile und Energieverbrauchsmuster • Optimierung der Kapitalaufwendungen für Anlagenerweiterungsprojekte dank der Lokalisierung versteckter Reserven in der Energieverteilung • Verbesserung des Energiekostenbewusstseins in den Abteilungen durch exakte Kostenstellenzuordnung • Reduzierung des Leistungspreises von Energieversorgungsverträgen durch die Begrenzung von Lastspitzen • Vermeidung von Zusatzkosten durch Lastmanagement
... und Anlagenverfügbarkeit erhöhen
• Steigerung der Betriebszeiten durch die sofortige und automatische Erkennung kritischer Bedingungen (z. B. Alarm- und Ereignisprotokolle) • Vermeidung von Überlastsituationen durch die frühzeitige Erkennung der Kapazitätsgrenzen der Energieverteilung • Gesicherte Qualität der elektrischen Energie durch kontinuierliche Überwachung und Analyse • Optimierung des Wartungsaufwands durch die Analyse des Einsatzes der Energieverteilungskomponenten

Datenerfassung und -auswertung

Das ganzheitliche Power Management System von Siemens erfüllt die Anforderungen an höchste Transparenz von Energieverbrauch und -qualität sowie an die Sicherheit einer verfügbaren Energieverteilung. Die präzise Datenerfassung der Schalt- , Schutz- und Messgeräte – wie zum Beispiel des Multifunktionsmessgeräts Sentron PAC3200 – stellt so die ideale Basis für Optimierungsmaßnahmen dar. Mittels der in Totally Integrated Automation eingebundenen Power Management Addons SIMATIC WinCC powerrate und SIMATIC PCS 7 powerrate können die Energiewerte leicht dargestellt und ausgewertet werden – und das mit Hilfe umfangreicher Funktionen. So erhalten Sie neben der transparenten Darstellung des Energieverbrauchs die verursachergerechte Kostenstellenzuordnung sowie automatisches Lastmanagement.

Kommunikationsfähige Produkte aus dem Sentron und Sirius Programm von Siemens, wie z. B. das Sentron PAC3200, das Simocode pro Motormanagement-System oder die Sentron-Leistungsschalter 3WL können einfach in das überlagerte Power Management System eingebunden werden. So liefert beispielsweise der Simocode pro- Messwertbaustein unter Simatic PCS 7 mit der elektrischen Wirkleistung die Eingangsgrößen für die Energieerfassungsbausteine von Simatic PCS 7 powerrate.

Geräte für die Mittelspannung oder für nichtelektrische Messgrößen können ebenfalls leicht integriert werden. Doch auch die Daten nicht kommunikationsfähiger Feldgeräte werden bereitgestellt – durch den Anschluss über Peripheriebaugruppen wie die Simatic ET200 an den Profibus. Die Verbrauchsdaten anderer Energiearten können mit entsprechender Messtechnik über die zentrale oder dezentrale Peripherie der Simatic S7 erfasst werden.

Multifunktionsmessgerät Sentron PAC3200

Das Sentron PAC3200 erfasst Wirk-, Blind- und Scheinarbeit – für Energiebezug und Rückspeisung. Dabei ist das Multifunktionsmessgerät äußerst flexibel. So können Energiewerte sowohl für Hoch- als auch für Niedertarif gemessen werden. Zudem ermöglicht das Gerät die Erfassung der Mittelwerte einer Messperiode für Wirk- und Blindleistung. Diese können z. B. in einem Power Management System zu Lastgängen weiterverarbeitet werden.

Das besondere Highlight von Sentron PAC3200: Es ist kommunikationsfähig und standardmäßig mit einer Ethernetschnittstelle ausgestattet – eine Ausnahme bei Geräten dieser Leistungsklasse. Somit lässt sich das Multifunktionsmessgerät über Ethernet, Profibus DP oder ModbusRTU einfach in jedes Power Management System oder Automatisierungssystem integrieren.

Des Weiteren steht mit Simatic PCS 7 Library PAC3200 eine PCS 7 Bausteinbibliothek zur Verfügung, die eine nahtlose Integration des Multifunktionsmessgeräts in die PCS 7 Prozesswelt gewährleistet.

Das Multifunktionsmessgerät Sentron PAC3200 ist kommunikationsfähig und lässt sich einfach in das Energiemanagementsystem Simatic PCS7 powerrate integrieren.

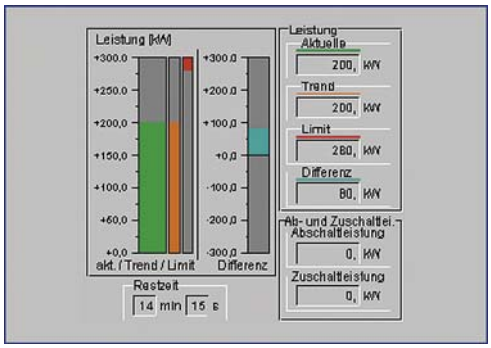
Übersichtliche und umfassende Auswertemöglichkeiten

So können alle erfassten Energiewerte online innerhalb von vordefinierten Faceplates auf dem Bildschirm angezeigt und Energiedaten von nicht kommunikationsfähigen Zählern direkt in das System eingegeben werden. Energiedaten werden nicht nur online dargestellt, sondern auch als Mittelwerte bzw. Arbeitswerte abgespeichert. Zur Anpassung an die unterschiedlichen Medien

können diese mit beliebigen Rasterzeiten gebildet und archiviert werden. Die Mittelwerte können als Ganglinie angezeigt und so miteinander verglichen werden. Zur vorausschauenden Überwachung des Leistungslimits wird jeweils ein Trend zum Periodenende auf Basis des aktuellen Verbrauchs ermittelt und im Faceplate dargestellt. Dadurch werden eventuell bevorstehende Überschreitungen umgehend erkannt.

Dank der nahtlosen Integration in Totally Integrated Automation können alle dort vorhandenen Standardmechanismen, die Meldungen oder eine Anbindung an Simatic IT, problemlos genutzt werden. Darüber hinaus bieten offene Schnittstellen zahlreiche weitere Möglichkeiten für spezifische Anpassungen. So steht z. B. eine Berechnungsfunktion für Wärmeenthalpie zur Verfügung. Der Export nach Excel bildet eine weitere Option für eine einfache Weiterverarbeitung der Daten.
Innerhalb der Excel-Makros von Simatic WinCC powerrate und Simatic PCS 7 powerrate können Hoch-, Nieder- und Feiertagstarife vorgegeben und, darauf basierend, anfallende Energiekosten je Kostenstelle berechnet werden. Auf Basis der exportierten Verbrauchsdaten sowie der projektierten Kostenstellen und Tarife ermitteln Simatic WinCC powerrate und Simatic PCS 7 powerrate in Excel den Gesamtverbrauch und die Energiekosten für einen vorgegebenen Zeitraum. Hierbei stehen zwei Standardberichte – tabellarisch und als Balkengrafik – zur Verfügung.
Alle Verträge >30 kW mit Energieversorgern beinhalten neben den Kosten für die verbrauchte Arbeit (z. B. kWh) auch eine Vereinbarung bzgl. des Leistungspreises. Der mit dem Verbundnetzbetreiber (VNB) vereinbarte maximale Leistungsmittelwert / Periode – bei elektrischer Energie typischerweise 15 Minuten – muss eingehalten werden, weil Überschreitungen häufig zu drastischen Kostenerhöhungen führen.
Als Basis für die Einhaltung des Leistungslimits muss innerhalb der Erfassungsperiode der Trend zum Periodenende hin ermittelt werden. Dieser Trend wird mit dem vorgegebenen Leistungslimit verglichen und im Falle einer prognostizierten Limitüberschreitung gibt es einen Hinweis in Form einer Warnung bzw. eines Alarms in der WinCC-Meldeliste. Dieses Wissen ermöglicht zum einen den manuellen Eingriff in den Prozess, um eine Limitüberschreitung zu vermeiden, und zum anderen die Aussage darüber, wie gut der Prozess das vorgegebene Limit auch wirklich ausnutzt.

Neben der Trendberechnung und dem Generieren von Meldungen bei einer bevorstehenden Limitüberschreitung gibt es zudem die Möglichkeit, Verbraucher direkt zu managen. Das bedeutet, das System generiert auf Basis einer vorgegebenen Prioritätenliste so genannte Freigabe- oder Sperrsignale. Diese Signale bewirken entweder ein direktes Ausschalten des Verbrauchers oder werden entsprechend weiterverschaltet. Außerdem stehen verschiedene Parameter zur Verfügung, um das Lastmanagement den spezifischen Prozess- und Verbrauchergegebenheiten anzupassen. Damit können Beruhigungszeiten, z. B . in Form von min./max. Ausschaltzeiten, sowie minimale Einschaltzeiten vorgegeben werden.



Mithilfe von Faceplates lässt sich der aktuelle Status des Lastmanagements übersichtlich darstellen.

Mithilfe von Faceplates kann das Lastmanagement einfach an die Prozessgegebenheiten angepasst werden. Die übersichtlich gestalteten Faceplates zeigen stets den aktuellen Status des Lastmanagements und bieten die Möglichkeit, die verschiedenen Parameter, wie z. B. Leistungslimit und Prioritäten von Verbrauchern, direkt über das Faceplate zu ändern. Weiterhin wird angezeigt, ob noch genügend Verbraucher für eventuelle Eingriffe durch das Lastmanagement zur Verfügung stehen.

Systeme zur Energieverteilung

Ecofast

Der Begriff Ecofast bedeutet die durchgängige Anschlusstechnik für Daten und Energie in der Feldebene. Dieses System (Energy and Communication Field Installation System) setzt neue Maßstäbe in der Ausrüstung von Maschinen und Anlagen mit Automatisierungs-, Schalt- und Antriebstechnik. Der Wunsch, der zur Entwicklung dieser Systeme geführt hat, ist die weitgehende Dezentralisierung und Modularisierung der Installation sowie die umfassende Diagnose auf der Komponentenebene. Die Anschlusstechnik entspricht der internationalen Norm ISO 23540.

TIPP:

Ecofast verbindet alle Komponenten eines Automatisierungssystems mit durchgehender Anschlusstechnik für Daten und Energie in der hohen Schutzart IP65.

Ecofast ist somit integraler Bestandteil von "Totally Integrated Automation" und offen für Hersteller und Anwender.

Das dezentral aufgebaute System erfüllt die Anforderungen an innovative Automatisierungs- und Antriebssysteme. Dazu gehören kurze Phasen für Angebot, Planung und Projektierung von Maschinen und Anlagen. Das gleiche gilt für Aufbau, Montage und Inbetriebnahme. Durch den servicefreundlichen Charakter von Ecofast wird auch die Anlagenverfügbarkeit erhöht.

Angebot, Planung und Projektierung

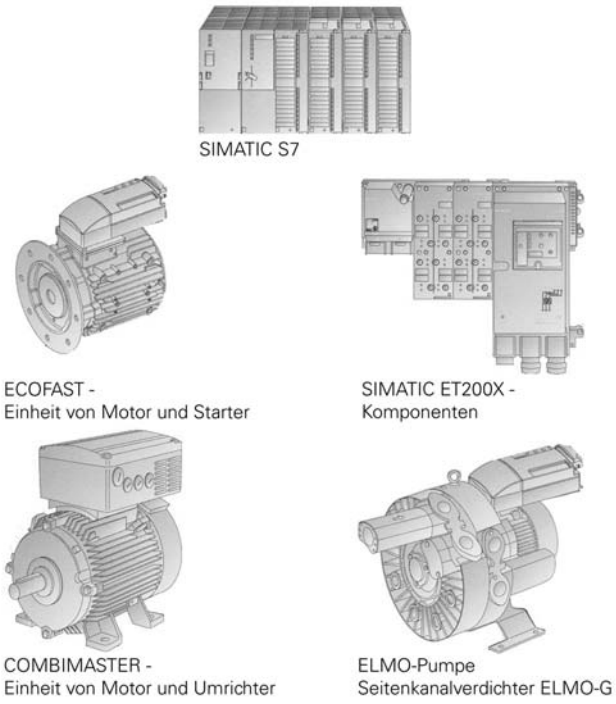
Über das Zusammenstellen bereits vorhandener Module und durch die Nutzung von CAD/CAE-Makros lassen sich Planungszeiträume erheblich verkürzen. Über das Planungstool Ecofast ES lassen sich Pläne, Mengen- und Stücklisten erzeugen, was erheblich Zeit spart.
Durch den schaltschranklosen Aufbau wird zusätzlich viel Planungs- und Investitionsaufwand gespart.
Die Verwendung von vorgefertigten und geprüften Funktionseinheiten sowie die geringe Stellfläche der Anlage ermöglicht die schnelle Montage vor Ort. Zusätzliche Zeitersparnis ergibt sich aufgrund der einheitlichen Anschlusstechnik für Energie- und Datenleitungen.

Inbetriebnahme

Aufgrund der standardisierten Steckverbinder ergeben sich kaum Fehlerquellen. Über das angeschlossene Bussystem bzw. direkt am Gerät selbst ergeben sich eine Vielzahl von Diagnosemöglichkeiten, die während der Inbetriebnahme, aber auch im Betrieb, Servicezeiten verkürzen. Die direkte Kopplung von Schalteinheit und Antrieb verbessert zudem das EMV-Verhalten.

Verfügbarkeit

Die Ecofast-Geräte lassen sich schnell tauschen und erhöhen so die Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen. Während dessen kommt es nicht zu einer Unterbrechung von Energie- und Feldbus. Nach erfolgtem Tausch werden die Geräte automatisch wieder parametriert.
Aufgrund der umfangreichen Status- und Diagnoseinformationen ist der Umgang mit Ecofast entsprechend komfortabel. Die Geräte ermöglichen natürlich auch die Übertragung von Betriebsparametern wie Stromwerte, Zustandmeldungen, etc.



ECOFAST verbindet alle Komponenten eines Automatisierungssystems in hoher Schutzart IP65.

Aufbau und Vorteile von Ecofast

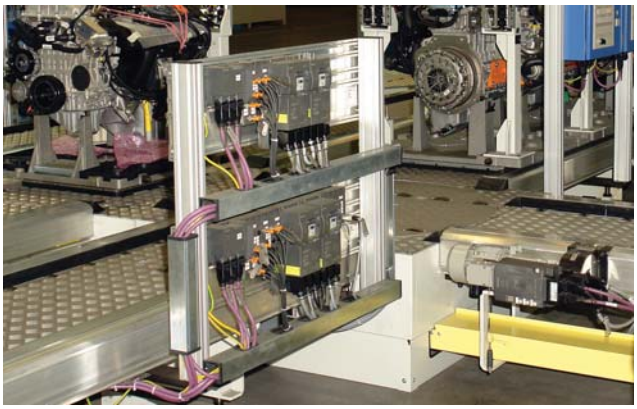
Die Ecofast-Geräte unterstützen weltweite Standards wie ISO 23570, AS-Interface und Profibus. Der Anschluss erfolgt über Han-Brid-Steckverbinder (Profibus-DP), Durchdringungstechnik (AS-Interface) sowie Q4/2-Steckverbinder (Energie).
Das Zertifikat "Ecofast certified", das ein akkreditiertes Prüflabor vergibt, garantiert Planungssicherheit: Es belegt die Konformität von Geräten unterschiedlicher Hersteller mit der Ecofast-Spezifikation.
Für die komplette Anlagendokumentation sorgt die Software Ecofast ES. Mithilfe einer Exportfunktion können Daten einer weiteren CAD-Bearbeitung zugeführt werden. Für Anwender ist die Option doppelt interessant, dass auch Geräte anderer Hersteller in dieses Projektierungstool integriert werden können. Diese Integrationsmöglichkeit und die entsprechende Konformität belegt das Zertifikat "Ecofast integrated".

Topologie

Aus dem Energiebus werden die Verbraucher über Energie-T-Klemmverbinder versorgt. Dies geschieht mit bis zu 690 V. Außerdem liefert der Einspeisebaustein Power & Control Modul (PCM) auch 24 V (geschaltet oder nicht geschaltet) für die Schnittstellen zum Feldbus und den Sensoren bzw. Aktoren. Dabei handelt es sich um eine sicher getrennte Versorgung nach PELV.
Es gibt die Geräte in Schutzart IP65 und für den Schaltschrankeinbau. Entsprechend der Geräteausführung beinhaltet das PCM einen DP-Master, einen DP-Slave oder einen AS-i-Master sowie die Sicherheitskombination 3TK28 oder einen AS-i-Monitor. Der DP-Master speist das Protokoll DP in die Hybrid-Leitung (LWL oder Cu). Die Teilnehmer am Profibus DP werden bei Ecofast Motorstartern unterbrechungsfrei mit dem Daten-T-Steckverbinder angeschlossen.
Der AS-i-Master speist das Protokoll AS-Interface in die AS-i-Leitung. Die Teilnehmer am AS-Interface werden mit Durchdringungstechnik angeschlossen.

Hinweis:

Bei der Projektierung ist folgendes zu beachten:
Variante 1: Die Stromversorung SIDAC enthält einen Sicherheitstransformator, besitzt hohe EMV-Festigkeit und ist entsprechend robust.
Variante 2: Die Stromversorgung SITOP weist eine sehr hohe Regelgenauigkeit der Ausgangsspannung auf, besitzt ein einstellbares Spannungsniveau und ein geringes Gewicht.



Aus dem Energiebus werden die Verbraucher über Energie-T-Klemmverbinder versorgt. PCM-Einspeisebausteine liefern sogar die 24 V-Hilfsenergie.

Für Anwendungen, in denen die 24 V-Hilfsenergie auf anderem Weg erzeugt wird oder in denen eine andere Automatisierungsstruktur benötigt wird, ist der Einsatz der PCM-Komplettlösung mit Einspeisung, Hilfsenergieerzeugung und Automatisierungskomponente nicht notwendig.
Für diese Fälle werden für den Energiebus ein Leistungsschalter (Sirius 3RV), zwei Schütze (Sirius 3RT) und zwei Kabeldurchführungen als "Simple Energy Unit" (SEU) empfohlen, die in vorhandene Schaltschränke eingebaut werden können, um den Energiebus sicher zu schalten.
Der Einsatz der SEU erfolgt in einem IP65-Gehäuse. Die 24 V-Hilfsenergie und die Verdrahtung inklusive Not-Aus müssen anlagenseitig zur Verfügung gestellt werden.

Motorstarter ET 200S

Für Anwendungen, in denen die 24 V-Hilfsenergie auf anderem Weg erzeugt wird oder in denen eine andere Automatisierungsstruktur benötigt wird, ist der Einsatz der PCM-Komplettlösung mit Einspeisung, Hilfsenergieerzeugung und Automatisierungskomponente nicht immer notwendig.
Für diese Fälle kann alternativ zur SEU ein ET 200S Motorstarter verwendet werden, mit dem sich ein kompletter Strang schützen und schalten lässt. Zusammen mit dem Terminal- und Powermodul bilden sie eine komplett verdrahtete Einheit. Bis zu fünf Erweiterungen (je 16 A) können durch Anreihen von Terminalblöcken realisiert werden.
Alle in ET 200S möglichen Parametrierungen, Meldungen und Schaltbefehle lassen sich über Profibus zur Automatisierung übertragen.

Energieverbindungen und Busanbindungen
Energie-T-Klemmverbinder verbinden Ecofast Komponenten mit dem Energiebus. Der Energiebus wird bei abgesteckten Ecofast Komponenten nicht unterbrochen. Es gibt zwei unterschiedliche Ausführungen:

- Energie-T-Klemmverbinder mit Q4/2-Buchse. Diese Ausführung verbindet den Energiebus mit dem Verbraucher.
- Energie-TT-Klemmverbinder mit Han-Buchse. Diese Ausführung verbindet den Energiebus mit zwei Verbrauchern. Alternativ kann über die zweite Q4/2-Buchse ein weiteres Energiebus-Segment gespeist werden.

Die Klemmverbinder können an beliebiger Stelle im Leitungsstrang eingefügt werden. Die Rundleitung wird mittels Schneid/Schraubklemmen kontaktiert, ohne die Adern zu unterbrechen. Geeignet sind Kabel mit Einzeladern, nach DIN VDE 0281/0295 mit Leitungsquerschnitten von 2,5 bis 6 mm^2.

Beachte:

Für die Energie-T-Klemmverbinder werden entsprechende Dichtungssätze benötigt, um die Schutzart IP65/67 zu erreichen.

Als Ergänzung gibt es im Ecofast-System einen Selektivbaustein sowie einen Wartungsschalter.
Der Selektivbaustein besteht aus einem Leistungsschalter, einem Hauptschalter sowie einem Meldeschalter. Er besitzt folgende Anschlüsse:

- Q4/2-Stift zur Einspeisung der Energie
- Q4/2-Buchse zur Weiterleitung der Energie
- M12-Stecker für Rückmeldekontakte

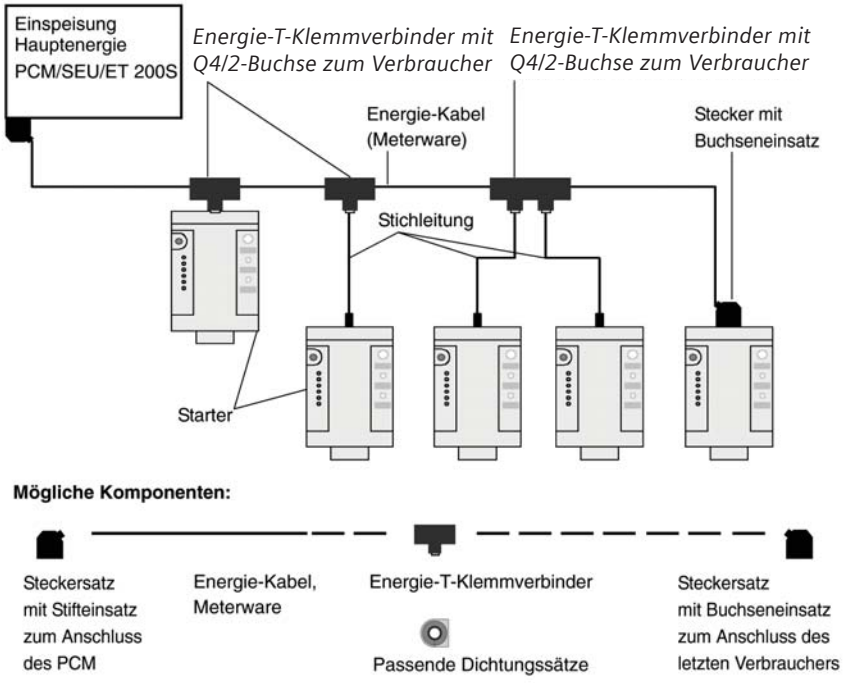
Die Aufgaben des Selektivbausteins sind unterschiedlich. Er schützt beispielsweise die Leitung bei einer Querschnittsverringerung. Mit ihm lässt sich ein Teil der Anlage bei Überlast und Kurzschluss selektiv abschalten. Außerdem können damit

Anlagenteile auch spannungsfrei geschaltet werden. Ein großer Vorteil dabei ist auch, dass dieser Betriebszustand mit einem Vorhängeschloss gesichert werden kann. Mit dem Selektivbaustein lässt sich deshalb die Ausdehnung einer Anlage trotz gleichem bzw. kleinerem Leitungsquerschnitt vergrößern.

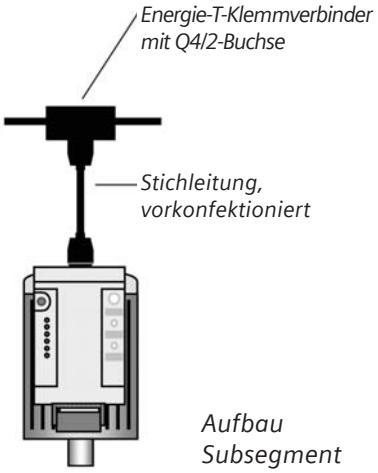
Der Wartungsschalter mit Meldekontakt basiert auf dem Standard-Hauptschalter. Der Bemessungsstrom beträgt 25 A. Für die Energieeinspeisung wird er mit einer Q4/2 Anbaueinheit (Stifteinsatz) versehen, die Energieweiterleitung erfolgt über Q4/2 Buchse. Der Schaltzustand kann über den eingebauten M12-Stecker abgefragt werden (DESINA Spec 11).

Aufbauvarianten des Energiebus

Die Verbraucher werden über Energie-T-Klemmverbinder am Energiebus angeschlossen. Das Energiekabel wird an einem Stück durch die Anlage verlegt. Dabei kann prinzipiell jede Leitung mit einem Durchmesser zwischen 10 mm und 22 mm entsprechend den Anforderungen eingesetzt werden. Ein weiterer Vorteil ist, dass der Anschluss der Energie-T-Klemmverbinder an beliebiger Stelle sein kann.



Bei diesem Aufbau muss lediglich am Anfang und am Ende des Energiekabels ein Q4/2-Steckersatz selbst konfektioniert werden.



Aufbau Subsegment

Des Weiteren gibt es die Möglichkeit, Verbraucher über sogenannte Stichleitungen und einen Energie-T-Klemmverbinder am Energiebus anzuschließen.

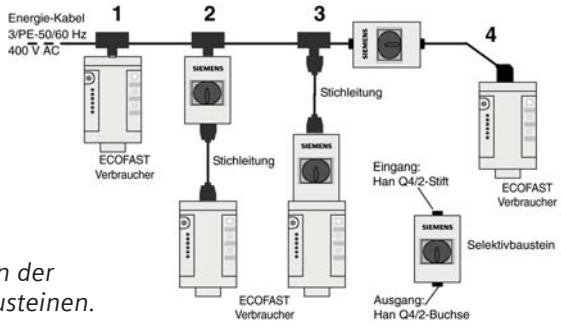
Bei den ET 200pro-Segmenten mit Motorstarter ET 200pro wird eine ET 200pro über eine Energieleitung und einen Energie-T-Klemmverbinder oder Energie-T-Steckverbinder am Energiebus angeschlossen. ET 200pro Motorstarter in einer Station können mit Energiebrückenstecker verbunden werden.

ET 200pro mit E/A-Einheiten, Motorstarter und Frequenzumrichter.

In das System Ecofast lassen sich auch dezentrale Peripheriegeräte ET 200pro einbinden. Dazu müssen allerdings einige wichtige Regeln beachtet werden:

- In einer ET 200pro Station können maximal acht Motorstarter oder Frequenzumrichter eingesetzt werden.
- Die Motorstarter ET 200pro können mit dem Motor mit einer vorkonfektionierten Leitung verbunden werden.
- Die Frequenzumrichter ET 200pro können mit dem Motor über eine vorkonfektionierten Leitung "Leitungstyp ET 200pro FU Motor" verbunden werden.

Weiterhin besteht die Möglichkeit, die Energieverteilung bei Ecofast mit zusätzlichen Selektivbausteinen zu erweitern. Der Aufbau des entsprechenden Energiebus kann somit sehr unterschiedlich sein. Beispielsweise lassen sich Ecofast-Verbraucher ohne Selektivbaustein direkt im Hauptstrang des Energiebus-Segments platzieren (1). Des Weiteren gibt es die Möglichkeit, einen Selektivbaustein direkt im Hauptstrang des Energiebus-Segments vorzusehen (2). Die Verbindung zum Ecofast-Verbraucher erfolgt dabei durch eine Stichleitung mit Q4/2-Stift/Buchse. Darüber hinaus haben Anwender auch die Freiheit, Verbraucher und Selektivbaustein durch einen angesteckten Aufbau als Einheit zu installieren (3). Auch bei dieser Variante erfolgt die Verbindung zum Hauptstrang des Energiebus-Segments durch eine Stichleitung mit Q4/2-Stift/Buchse. Natürlich können Verbraucher auch über einen Selektivbaustein im Hauptstrang des Energiebus-Segments entkoppelt werden (4).



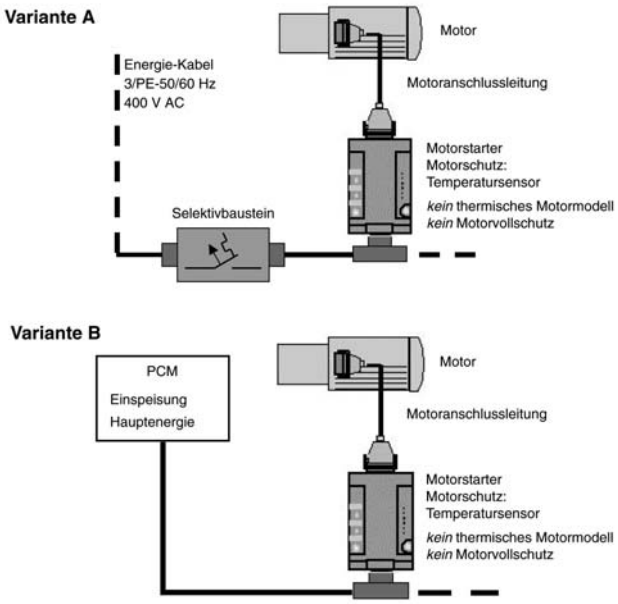
Es gibt vier unterschiedliche Arten der Energieverteilung mit Selektivbausteinen.

Beachte:

Ein angestecker Aufbau mit dem Selektivbaustein (als eine Einheit) ist bei Ecofast-Motorstartern mit Profibus-DP nicht möglich.

Für den Leitungsschutz im Energiebus-Segment bei Motorstartern ohne thermischem Motormodell gibt es grundsätzlich zwei unterschiedliche Wege. Sind nämlich in dem zu schützenden Energiebus-Segment Motorabzweige mit Motorstartern vorhanden, die über einen Motorschutz mit Temperatursensoren verfügen, sowie Motoren mit Motoranschlussleitungen (motornaher Aufbau), dann kommt eine der beiden Schaltungsvarianten zum tragen. Denn die Motoranschlussleitung wird nicht durch den Motorstarter geschützt.

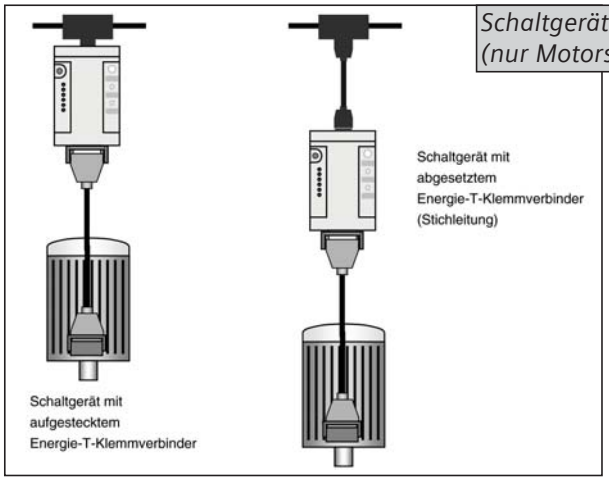
Variante A basiert auf einem Selektivbaustein und einem Leistungsschalter.
Variante B besteht aus einer PCM und einem Leistungsschalter F1

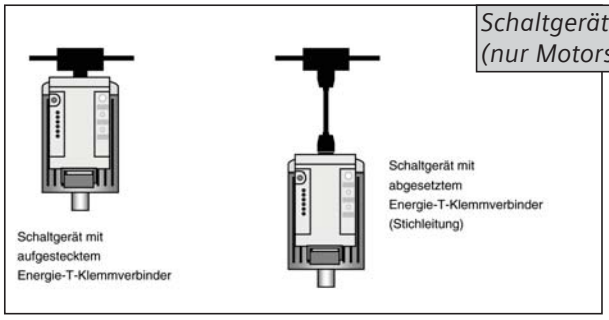


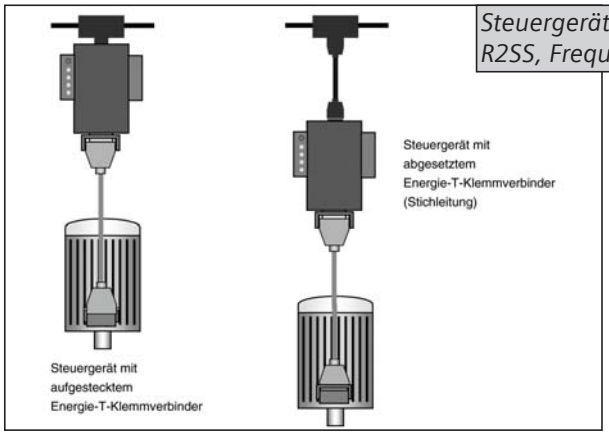
Für den Leitungsschutz bei Motorstartern ohne thermischem Motormodell gibt es zwei unterschiedliche Varianten.

TIPP:

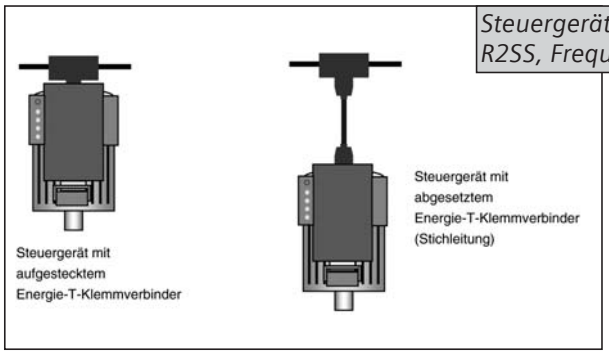
Für den Aufbau von Schalt- und Steuergeräten innerhalb des Ecofast-Systems gibt es unterschiedliche Varianten, die dessen Flexibilität dokumentieren.







Steuergerät motornah (Drehzahlsteller R2SS, Frequenzumrichter MMI 411



Steuergerät aufgesteckt (Drehzahlsteller R2SS, Frequenzumrichter MMI 411

ET 200pro Station IM151-4 PN HF mit Motorstarter und Frequenzumrichter

Hybridfeldbusanbindungen

Hybridfeldbusanbindungen stellen im System Ecofast die Schnittstelle zwischen Schaltschrank/Klemmkasten (IP20) und der Feldbusebene (IP65) dar. Sie haben dort folgende Aufgaben:

- Einspeisung von
  - Daten über RS 485, Kupferleitung (Cu) geschirmt oder Lichtwellenleiter
  - 2x 24 V DC, geschaltet (S) und nicht geschaltet (NS)
- Weiterleitung von
  - Daten über RS 485, Kupferleitung (Cu) geschirmt oder Lichtwellenleiter
  - 2x 24 V DC, geschaltet (S) und nicht geschaltet (NS)
- Repeater-Funktion
- Medienkonverter

Hybridfeldbusanbindungen sind immer 2-kanalig aufgebaut (2 Han-Brid auf der IP65-Seite).
Die Hybridfeldbusanbindung beinhaltet, je nach Geräteausführung, folgende Komponenten:

- IP65-Seite (Feldbusebene)
  - Han-Brid-Stift/Buchse (St/Bu) zur Weiterleitung
  - Han-Brid-Buchse/Buchse (Bu/Bu) zur Einspeisung von IP20 nach IP65
- IP20-Seite (im Schaltschrank)
  - Klemmenblock für 2 x 24 V DC (geschaltet und nicht geschaltet)
  - Profibus DP: Schirmklemmen und Klemmen A/B oder SUB-D-Buchse (9-polig) oder Fast-Connect.

Beachte:

Die Aufbaurichtlinien für Profibus DP sind zu beachten.

Bei den Hybridfeldbusanbindungen gibt es unterschiedliche Ausführungen, nämlich mit aktiver und passiver Funktion.
Passiv bedeutet, dass die Signale nicht regeneriert werden. IP20- und IP65-Seite sind galvanisch verbunden.
Aktiv bedeutet, dass die Signale aufgefrischt werden (Repeater-Funktion). Zusätzlich sind bei den Ausführungen mit LWL IP20- und IP65-Seite galvanisch getrennt.

Für die Durch- und Weiterleitung wird die Spannung 24 V DC benötigt. Bei den aktiven Ausführungen wird die Elektronik durch die nicht geschaltete (NS) Spannungsversorgung versorgt.
Grundsätzlich gilt, dass die nicht geschaltete Spannungsversorgung sowohl die Elektronik der angeschlossenen Ecofast-Geräte versorgt, als auch für die Abfrage deren Hilfskontakte notwendig ist. Die geschaltete 24 V DC wird zur Ansteuerung der Schaltelemente der angeschlossenen Ecofast-Geräte wie zum Beispiel eines Schützes benötigt.

Daten-T-Steckverbinder verbinden die Komponenten eines Automatisierungssystems mit dem Profibus DP. Für das Ecofast-System gibt es zwei unterschiedliche:

- Daten-T-Steckverbinder mit Kupferleitung (Profibus DP Cu)
- Daten-T-Steckverbinder mit Lichtwellenleiter (Profibus DP LWL)

Darüber hinaus führen die Daten-T-Steckverbinder die Versorgungsspannung 24 V DC entweder geschaltet (S) oder nicht geschaltet (NS)

Für das ECOFAST-System gibt es zwei unterschiedliche Daten-T-Steckverbinder, nämlich in Kupferausführung und als Lichtwellenleiter.

Aufbaurichtlinien am Profibus DP

Der Aufbau eines Ecofast-Netzes über Hybridfeldbuskabel kann über eine RS485-Schnittstelle bzw. über eine optische Schnittstelle, ober aber mithilfe eines Profibus DP Standardkabels erfolgen.

Ecofast Hybridfeldbuskabel sind schleppfähige Leitungen mit zwei für Profibus DP geschirmten Kupferadern sowie vier Kupferadern mit 1,5 mm^2 für 24 V DC geschaltet und 24 V DC ungeschaltet.

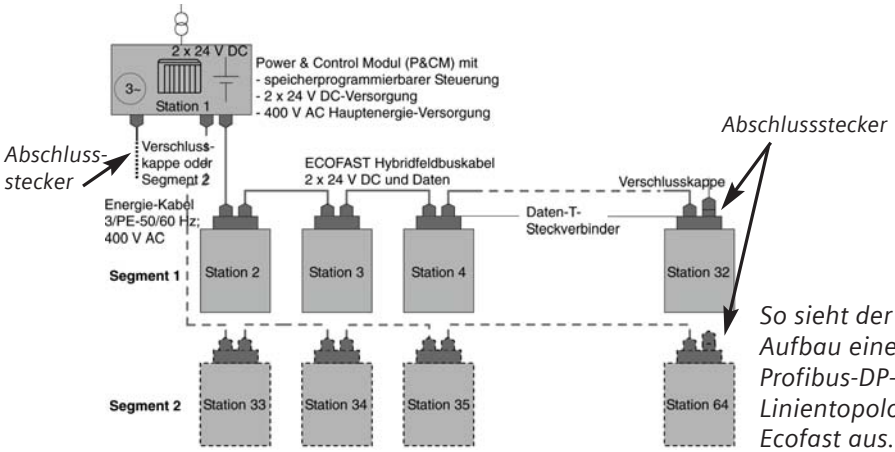
Der Profibus DP besteht aus mindestens einem Bussegment. Die minimale Anzahl von Stationen in einem Bussegment beträgt zwei, der Maximalausbau eines Bussegments beträgt 32 Stationen. Sie alle sind über ein Ecofast Hybridfeldbuskabel physikalisch verbunden.

Am Anfang und am Ende des Busses muss ein Busabschluss erfolgen z. B. durch einen Busabschlussstecker.

Beim Systemaufbau über Hybridfeldbuskabel mit Lichtwellenleiter (LWL) verlaufen zwei Kunststoff-LWL und vier Kupferadern mit 1,5 mm^2 für 24 V DC geschaltet und ungeschaltet in einer schleppfähigen Leitung.

TIPP:

Die LWL-Variante bietet sich immer dann an, wenn größere Entfernungen unabhängig von der Baudrate überbrückt werden sollen oder der Datenverkehr durch äußere Störfelder beeinträchtigt wird.



So sieht der prinzipielle Aufbau eines optischen Profibus-DP-Netzes in Linientopologie mit Ecofast aus.

Gegenüber elektrischen Leitern besitzen Lichtwellenleiter eine Reihe von Vorteilen:

- galvanische Trennung der Profibus-DP-Komponenten
- Unempfindlichkeit gegenüber elektromagnetischen Störungen (EMV)
- keine elektromagnetische Abstrahlung an die Umgebung
- Verzicht auf zusätzliche Erdungs- und Schirmungsmaßnahmen
- keine Einhaltung von Mindestabständen zu anderen Leitungen in Verbindung mit EMV
- Wegfall von Potentialausgleichsleitungen
- Wegfall von Blitzschutzelementen
- keine Abhängigkeit der maximal zulässigen Leitungslängen von der Baudrate

Das optische Profibus-DP-Netz wird in Linientopologie aufgebaut. Die Teilnehmer sind paarweise durch Ecofast Hybridfeldbuskabel miteinander verbunden. Fällt ein Teilnehmer aus, sind durch die Linientopologie alle nachfolgenden DP-Slaves für den DP-Master nicht mehr erreichbar. Dadurch ist eine leichte Fehlerortung möglich.

Hinweis:

Für den Betrieb des Profibus-DP-Netzes in Linientopologie sind folgende Baudraten möglich: 9,6, 19,2, 45,45, 93,75, 187,5, 500 kBaud, 1,5, 3 und 12 MBaud. Die Länge der Übertragungsstrecke ist bei Lichtwellenleitern von der Baudrate unabhängig.

Jeder Profibus-DP-Teilnehmer am optischen Profibus-DP-Netz hat eine Repeater-Funktionalität.

Beachte:

Die maximale Leitungslänge zwischen zwei Teilnehmern hängt vom Typ des eingesetzten Lichtwellenleiters ab.

Beim Aufbau eines Profibus-DP-Netzes mit Standardkabeln gibt es weitere Punkte zu beachten. So können zum Beispiel Potentialunterschiede auftreten, die aus unterschiedlichen Netzeinspeisungen resultieren.
Potentialunterschiede zwischen getrennten Anlagenteilen sind für das System schädlich, wenn Automatisierungsgeräte und Peripherie über potentialgebundene Kopplungen verbunden sind, oder Leitungsschirme beidseitig aufgelegt werden und an unterschiedlichen Anlagenteilen geerdet werden.

Damit jedoch die ordnungsgemäße Funktion von elektronischen Komponenten gewährleistet ist, müssen Potentialunterschiede durch das Verlegen von Potentialausgleichsleitungen reduziert werden. Es ist sogar möglich, dass Geräte mit erdgebundener Schnittstelle durch Potentialunterschiede zerstört werden. Selbst für Blitzschutz ist der Potentialausgleich die Voraussetzung.

Beachte:

Grundsätzlich gilt, dass der Schirm der Profibus-Leitung nicht als Potentialausgleich dienen darf.

Für die Umsetzung eines Potentialausgleichs gibt es gewisse Regeln, die unbedingt einzuhalten sind:

- Die Wirksamkeit eines Potentialausgleichs ist umso größer, je kleiner die Impedanz der Potentialausgleichsleitung ist.
- Sollten zwischen den betreffenden Anlagenteilen geschirmte Signalleitungen verlegt sein, die beidseitig mit dem Erder/Schutzleiter verbunden sind, so darf die Impedanz der zusätzlich verlegten Potentialausgleichsleitung höchstens 10 Prozent der Schirmimpedanz betragen.
- Den Potentialausgleichsleiter großflächig mit dem Erder/Schutzleiter verbinden.
- Den Potentialausgleichsleiter vor Korrosion schützen.
- Den Potentialausgleichsleiter so verlegen, dass möglichst kleine Flächen zwischen Potentialausgleichsleiter und Signalleitungen eingeschlossen werden.
- Potentialausgleichsleiter aus Kupfer oder verzinktem Stahl verwenden.

TIPP:

Potentialausgleichsleitungen sind nicht erforderlich, wenn Anlagenteile ausschließlich über Lichtwellenleiter (LWL) miteinander verbunden sind.

Gleichermaßen wichtig ist die systematische Schirmung von Leitungen. Dabei werden die magnetischen, elektrischen oder elektromagnetischen Störfelder geschwächt (Dämpfung). Störströme auf Kabelschirmen werden über die mit dem Gehäuse leitend verbundene Schirmschiene zur Erde abgeleitet. Damit diese Störströme nicht selbst zu einer Störquelle werden, ist eine impedanzarme Verbindung zum Schutzleiter besonders wichtig.
Auch bei der Schirmung von Leitungen gibt es einiges zu beachten:

- Verwenden Sie möglichst nur Leitungen mit Schirmgeflecht. Die Deckungsdichte des Schirms sollte mehr als 80 Prozent betragen. Vermeiden Sie Leitungen mit Folienschirm, da die Folie durch Zug- und Druckbelastung bei der Befestigung sehr leicht beschädigt werden kann; die Folge ist eine Verminderung der Schirmwirkung.
- Legen Sie die Schirme von Leitungen immer beidseitig auf. Nur durch den beidseitigen Anschluss der Schirme erreichen Sie eine gute Störunterdrückung im höheren Frequenzbereich.

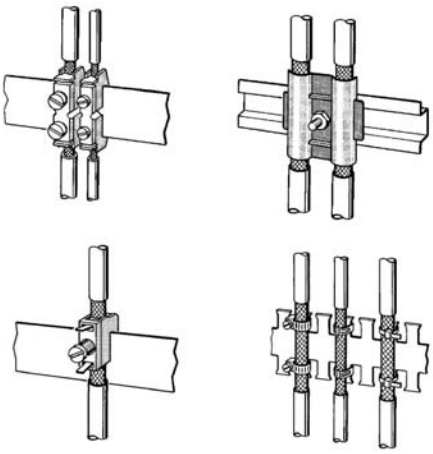
  Ausnahmen: Ein einseitiges Auflegen des Schirms kann günstiger sein, wenn
  - die Verlegung von Potentialausgleichsleitungen nicht durchgeführt werden kann,
  - Analogsignale (einige mV bzw. µA) übertragen werden oder
  - Folienschirme (statische Schirme) verwendet werden.

  Allerdings werden bei einseitiger Schirmanbindung nur niedrige Frequenzen gedämpft.

- Befestigen Sie den Schirm der Datenleitung am Steckergehäuse.
- Bei stationärem Betrieb ist es empfehlenswert, das geschirmte Kabel unterbrechungsfrei abzuisolieren und auf die Schirm-/Schutzleiterschiene aufzulegen.

TIPP:

Bei Potentialdifferenzen zwischen den Erdungspunkten kann über den beidseitig angeschlossenen Schirm ein Ausgleichsstrom fließen. Verlegen Sie in diesem Fall eine zusätzliche Potentialausgleichsleitung.



Es gibt unterschiedliche Maßnahmen zum Befestigen von geschirmten Leitungen, nämlich über Kabelschellen und Schlauchbinder.

Zur Schirmbehandlung gibt es einige wichtige Punkte, die beachtet werden sollten:

- Befestigen Sie die Schirmgeflechte mit Kabelschellen aus Metall.
- Die Schellen müssen den Schirm großflächig umschließen und guten Kontakt ausüben.
- Legen Sie den Schirm direkt nach Eintritt der Leitung in den Schrank auf eine Schirmschiene auf.

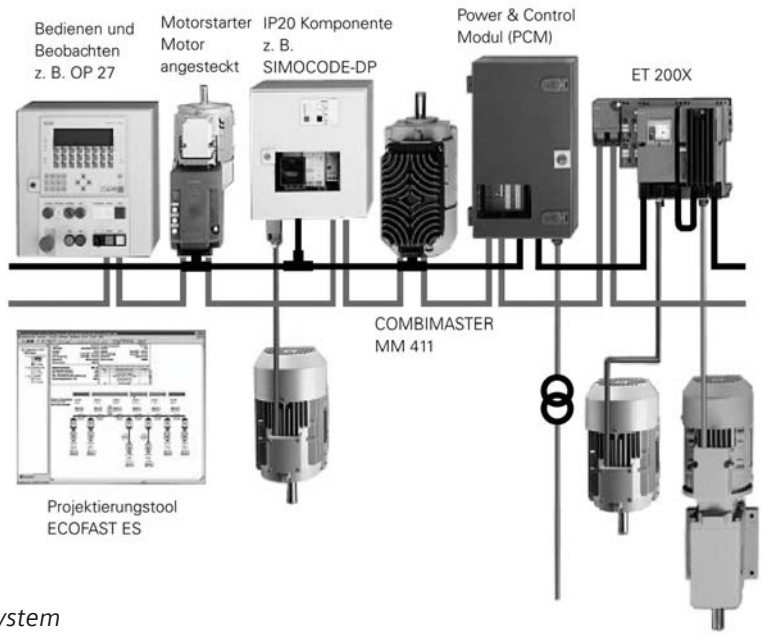
Hinweis:

Beachten Sie bei elektrischen Profibus-Netzen bitte auch die Aufbaurichtlinien Profibus-DP/FMS der Profibus-Nutzerorganistation. Sie enthalten wichtige Maßnahmen zur Leitungsführung und Inbetriebnahme von Profibus-Netzen. www.profibus.com

Software Ecofast ES

Das Projektierungstool Ecofast ES unterstützt die energietechnische Auslegung einer Anlage mit folgendem Funktionsumfang:

- Grafische Projektierung der Verbraucher, Leitungen, Schalt- und Schutzfunktionen
- Dimensionierung des Energiebusses durch automatische Querschnittsbestimmung der Leitungen und automatische Dimensionierung der Schalt- und Schutzelemente
- Energietechnische Auslegung und Prüfung nach einschlägigen Normen und nach dem Stand der Technik
- Erstellung der Dokumentation: Schaltplan des Energiebusses, Stück- und Mengenlisten



Ecofast Grundsystem

Selektivität und Backup-Schutz in Niederspannungsnetzen

Definition der Selektivität:
Zusammenarbeit in Reihe liegender Schaltgeräte (Leistungsschalter, Sicherungen) zum gestaffelten Abschalten. Es muss das der Kurzschlussstelle am nächsten liegende, vorgeordnete Schaltgerät abschalten. Die anderen im Leitungszug liegenden Schaltgeräte bleiben eingeschaltet. Selektivität begrenzt die Auswirkungen eines Fehlers räumlich und zeitlich auf ein Mindestmaß.

Der Nachweis der Selektivität ist in den Normen IEC 60364-7-710 bzw. DIN VDE 100-710 und -718 gefordert. Bei zwei in Reihe geschalteten Schutzgeräten besteht volle Selektivität, wenn im Fehlerfall nur das unmittelbar vor dem Fehlerfall befindliche Schutzgerät abschaltet.
Zwei Arten von Selektivität werden unterschieden:

- Teilselektivität lt. IEC 60947-2, VDE 660-101: Überstromselektivität von zwei Überstromschutzeinrichtungen in Reihe, wobei bis zu einem gegebenen Überstromwert die Schutzeinrichtung auf der Lastseite den Schutz übernimmt, ohne dass die andere Schutzeinrichtung wirksam wird.
- Volle Selektivität lt. IEC 60947-2, VDE 660-101: Überstromselektivität von zwei Überstromschutzeinrichtungen in Reihe, wobei die Schutzeinrichtung auf der Lastseite den Schutz übernimmt, ohne dass die andere Schutzeinrichtung wirksam wird.

Selektivitätsarten

- Stromselektivität
  Selektives Abschalten durch Staffelung der unverzögerten Kurzschlussschnellauslöser I_i-Leistungsschalter mit I_i-Charakteristik.
- Zeitselektivität
  Staffelung der einstellbaren Auslösezeiten (t_{sd} im S-Teil) der Kurzschlussauslöser. Dies gilt für Standard- als auch für optionale Kennlinien.
  Leistungsschalter mit LSI-Charakteristik: Einsatz häufig in Hauptverteilungen und Übergängen mit Geräten unterschiedlicher Hersteller notwendig.

- Dynamische / Energie-Selektivität:
  Selektivität basierend auf der Betrachtung der Durchlassenergie des nachgeordneten Geräts und der Auslöseenergie des vorgeordneten Schutzorgans.

Selektivitätsbestimmung

Nach IEC 60947-2, Anhang A und VDE 660-101 ist die Bestimmung bzw. der Nachweis der gewünschten Selektivitätsart in zwei Zeitbereiche aufgeteilt.

Zeitbereich ≥ 100 ms:
Der Zeitbereich ≥ 100 ms kann durch Kennlinienvergleich im L- bzw- S-Bereich erfolgen. Unter Beachtung der Toleranzen, erforderlichen Schutzeinstellungen, Darstellung im gleichen Maßstab etc.
Zeitbereich < 100 ms:
In der Norm ist die Selektivität in diesem Bereich durch Prüfung nachzuweisen. Da der Zeit- und Kostenaufwand sehr hoch ist, wenn unterschiedliche Geräte in Energieverteilungen eingesetzt werden, sind die Selektivitätsgrenzwerte meist nur von namhaften Geräteherstellern verfügbar. Daher werden in der Praxis häufig die jeweiligen Durchlassströme mit den Ansprechströmen bzw. die Durchlassenergien der Schutzgeräte verglichen. Dies setzt natürlich voraus, dass die Werte der Gerätehersteller vorliegen und entsprechend exakt betrachtet werden.

Kennlinienvergleich
Für den Kennlinienvergleich stehen drei Diagrammarten zur Verfügung:
- Zeit-Strom-Diagramm
- Durchlasstrom-Diagramm
- Durchlassenergie-Diagramm

Traditionell werden wegen der Betrachtung über mehrere Größenordnungen hinweg die Kennlinien und deren Vergleich üblicherweise auf doppelt logarithmischem Papier durchgeführt. Alle Kennlinien – wenn nicht bereits vom Hersteller vorgegeben – müssen für eine sichere Selektivitätsbestimmung mit einem Toleranzband versehen werden.
Bei Schaltgeräten sind nach IEC 60947-2 / VDE 0660-101 für den unverzögerten Überstromauslöser ± 20 % Toleranz zu berücksichtigen.
Für den elektromechanischen Überlastauslöser sind die teilweise erheblich reduzierten Ansprechzeiten bei betriebswarmem Zustand in Rechnung zu stellen.

Selektivitätsgrenzwertbestimmung
Grundsätzlich können alle Selektivitätsgrenzwerte zwischen zwei Schutzgeräten durch Messungen bzw. Tests ermittelt werden. Insbesondere bei der Beurteilung im Kurzschlussfall sind solche Messungen aufgrund der schnellen Schaltvorgänge bei der Verwendung strombegrenzender Schutzgeräte nahezu unumgänglich. Diese Messungen können jedoch einen beträchtlichen Aufwand verursachen, weshalb viele Hersteller entsprechende Selektivitätstabellen ihrer Schaltgeräte veröffentlichen.

TIPP:

Bei Benutzung der Software Simaris design werden alle Kriterien für Siemens-Produkte automatisch berücksichtigt.

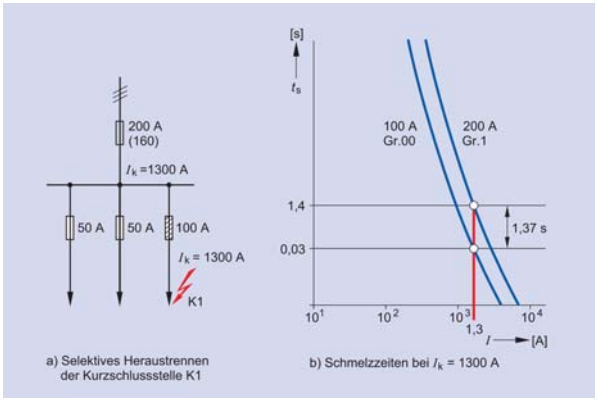
Selektivität in Strahlennetzen

Selektivität in Reihe liegender Sicherungen

Die Einspeiseleitung und die von der Sammelschiene eines Verteilers abgehenden Abzweige führen unterschiedliche Betriebsströme und haben daher auch verschiedene Querschnitte. Sie werden somit üblicherweise mit Sicherungen unterschiedlicher Bemessungsströme geschützt, welche aufgrund ihres unterschiedlichen Ansprechverhaltens eine Selektivität ermöglichen.

Selektivität in Reihe liegender Sicherungen gleicher Betriebsklasse

Die Selektivität bei Verwendung von Sicherungen gleicher Betriebsklasse – z. B. gL bzw. gG – ist grundsätzlich über den gesamten Überstrombereich bis zum Bemessungsschaltvermögen gewährleistet (volle Selektivität), wenn sich die Bemessungsströme um den Faktor 1,6 oder mehr unterscheiden. Bei hohen Kurzschlussströmen sollten die Stromwärmewerte (I^2t-Werte) verglichen werden. Im dargestellten Beispiel wäre auch eine 160-A-NH-Sicherung zu einer 100-A-NH-Sicherung voll selektiv.



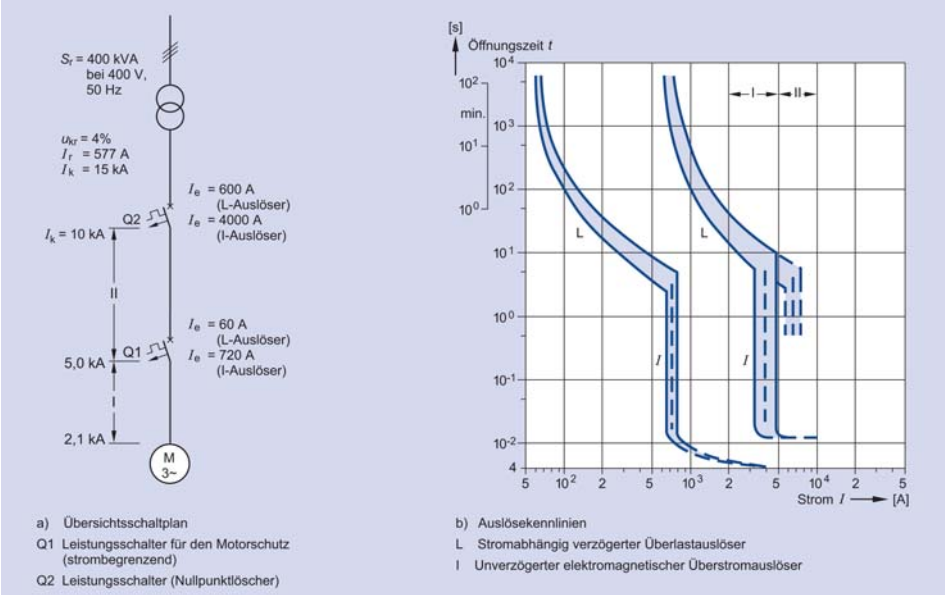
Beispiel: Selektivität in Reihe liegender NH-Sicherungen gleicher Betriebsklasse.

Selektivität in Reihe liegender Leistungsschalter

Eine Selektivität kann durch Staffelung der Ansprechströme der unverzögerten Überstromauslöser (I-Auslöser) erreicht werden. Voraussetzung hierfür ist:

- Stromstaffelung bei verschieden hohen Kurzschlussströmen
  Die Kurzschlussströme sind bei einem Kurzschluss an den jeweiligen Einbaustellen der Leistungsschalter ausreichend unterschiedlich.
- Stromstaffelung bei unterschiedlich eingestellten I-Auslösern
  Die Bemessungsströme und damit die I-Auslöser-Werte des vor- und nachgeordneten Leistungsschalters unterscheiden sich entsprechend.

- 5-Sekunden-Abschalt- und -Leitungsschutzbedingungen
  Unter Berücksichtigung der 5-Sekunden-Abschaltbedingung nach IEC 60364-4-41/DIN VDE 0100-410 oder der 5-Sekunden-Leitungsschutzbedingung nach IEC 60364-4-43/DIN VDE 0100-430 (wenn der Leitungsschutz nicht anders sichergestellt werden kann) ist es im Allgemeinen erforderlich, die I-Auslöser-Einstellung kleiner $I_{k\,min}$ -20 % zu wählen, um beim kleinsten Kurzschluss an den Eingangsklemmen des nachgeordneten Leistungsschalters Q1 eine Abschaltung innerhalb der geforderten Zeit sicherzustellen.



Beispiel: Stromselektivität von zwei in Reihe liegenden Leistungsschaltern bei verschieden hohen Kurzschlussströmen.

Über den Kennlinienvergleich bei der Stromstaffelung lässt sich nur eine Teilselektivität nachweisen, da die zu Recht oft gestrichelte Kennliniendarstellung im Bereich < 100 ms aufgrund der komplizierten dynamischen Schalt- und Auslösevorgänge eine Selektivitätsaussage nicht zulässt.

Selektivität durch Leistungsschalterkoordination (dynamische Selektivität)

Bei schnellen Vorgängen, z. B. im Kurzschlussfall, haben beim Zusammenwirken von in Reihe geschalteten Schutzgeräten, insbesondere bei Verwendung vom Strombegrenzern, die dynamischen Vorgänge im Stromkreis und in den elektromechanischen Auslösern einen wesentlichen Einfluss auf das Selektivitätsverhalten. Schaltet das nachgeordnete strombegrenzende Schutzgerät so schnell ab, dass der Durchlassstrom zwar den Ansprechwert des vorgeordneten Schutzgerätes kurzzeitig

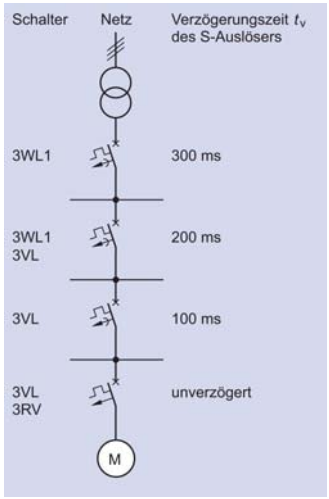
überschreitet, diese Zeit aber nicht ausreicht, um den "mechanisch trägen" Auslöser zu entklinken, so besteht ebenfalls Selektivität.

Hinweis:

Der Durchlassstrom ist abhängig vom Stoßkurzschlussstrom und den Strombegrenzungseigenschaften.

Selektivitätsgrenzen von zwei in Reihe liegenden Leistungsschaltern

Für jede Schalterkombination lässt sich ein maximaler Kurzschlusswert – die Selektivitätsgrenze – ermitteln, bis zu dem der nachgeordnete Leistungsschalter schneller und alleine – selektiv – abschaltet.
Die Selektivitätsgrenze kann weit über dem Ansprechwert des unverzögerten Überstromauslösers im vorgeordneten Leistungsschalter liegen.



Einzustellende Verzögerungszeit des elektromagnetischen kurzverzögerten S-Auslösers für selektiven Kurzschlussschutz.

Unabhängig davon sind die Selektivität im Überlastfall durch den Kennlinienvergleich und die Auslösezeiten nach den einschlägigen Vorschriften zu überprüfen.
Mit der dynamischen Selektivität im Kurzschluss ist im Allgemeinen nur eine Teilselektivität erreichbar. Diese kann ausreichend sein (volle Selektivität), wenn der maximale Kurzschlussstrom an der Stelle des nachgeordneten Schutzgeräts kleiner ist als die ermittelte Selektivitätsgrenze.
Die Berücksichtigung der dynamischen Selektivität ist eine gute Möglichkeit, bei Teilselektivität, wie sie bei der Stromstaffelung aufgrund der Abschaltbedingung meist entsteht, volle Selektivität nachzuweisen, ohne Schaltgeräte mit kurzverzögerten Überstromauslösern einsetzen zu müssen.

Selektivität durch kurzverzögerte Überstromauslöser (Zeitstaffelung)
Ist eine Stromstaffelung nicht möglich und lässt sich diese auch durch eine Schaltgeräteauswahl nach Selektivitätstabellen (dynamische Selektivität) nicht erreichen, kann Selektivität durch Zeitstaffelung von kurzverzögerten Überstromauslösern ermöglicht werden. Hierzu werden sowohl die Auslöseverzögerungen als auch die entsprechenden Ansprechströme gestaffelt.

Zeitstaffelung bei annähernd gleich hohen Kurzschlussströmen
Der vorgeordnete Leistungsschalter erhält kurzverzögerte Überstromauslöser (S), damit im Fehlerfall nur der nachgeordnete Leistungsschalter den vom Fehler betroffenen Anlagenteil vom Netz trennt. Zur Sicherstellung der Selektivität bei annähernd gleich hohen Kurzschlussströmen an den Einbaustellen kann die Zeitstaffelung eingesetzt werden. Hierzu werden sowohl die Auslöseverzögerungen als auch die Ansprechströme der Überstromauslöser gestaffelt.

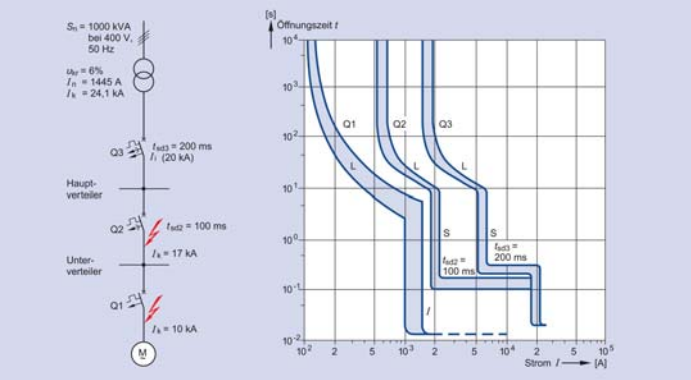
Hinweis:

Im dargestellten Beispiel ist neben dem Übersichtsplan mit vier in Reihe liegenden Leistungsschaltern das dazugehörige Staffeldiagramm dargestellt. Die notwendige Staffelzeit, bei der alle Toleranzen berücksichtigt werden, hängt vom Arbeitsprinzip des Auslösers und von der Bauart des Leistungsschalters ab.

Elektronische S-Auslöser
Bei elektronischen kurzverzögerten Überstromauslösern (S-Auslösern) ist eine Staffelzeit von etwa 70 bis 100 ms von Leistungsschalter zu Leistungsschalter ausreichend, um auch alle Toleranzen zu berücksichtigen.

Ansprechstrom
Der Ansprechstrom des kurzverzögerten Überstromauslösers sollte mindestens auf das 1,45-Fache (zweimal je 20 % Toleranz, wenn vom Hersteller nicht anders angegeben) des Werts des nachgeordneten Leistungsschalters eingestellt werden.

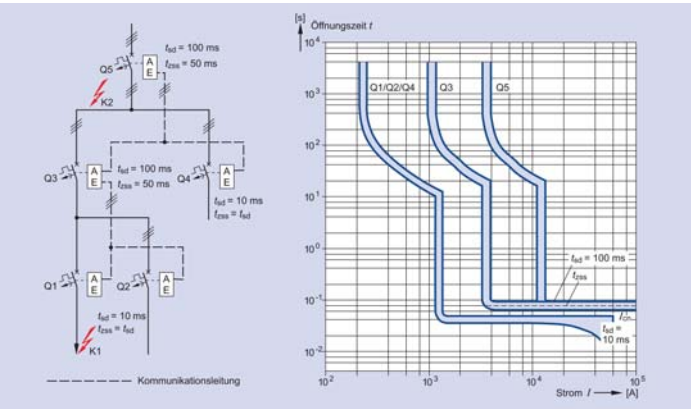
I-Auslöser zusätzlich
Um die Kurzschlussbeanspruchung bei sattem Kurzschluss am Leistungsschalter herabzusetzen, kann man die vorgeordneten Leistungsschalter neben den kurzverzögerten zusätzlich mit unverzögerten elektromagnetischen Überstromauslösern versehen. Deren Ansprechstrom muss so hoch gewählt werden, dass die Auslöser nur bei unmittelbarem, sattem Kurzschluss ansprechen und im Normalfall nicht die selektive Staffelung stören.



Selektivität von drei in Reihe liegenden Leistungsschaltern mit Begrenzung der Kurzschlussbeanspruchung durch einen zusätzlichen I-Auslöser im Leistungsschalter Q3.

Zeitverkürzte Selektivitäts-Steuerung

Um bei der Reihenschaltung mehrerer Leistungsschalter unerwünscht lange Auslösezeiten zu vermeiden, ist für Leistungsschalter eine mikroprozessorgeführte "zeitverkürzte Selektivitäts-Steuerung" (ZSS) entwickelt worden. Diese Steuerung ermöglicht eine Reduzierung der Auslöseverzögerung auf max. 50 ms für die der Kurzschlussstelle vorgeordneten Leistungsschalter.



Prinzipdarstellung der "zeitverkürzten Selektivitäts-Steuerung" (ZSS) von in Reihe oder parallel liegenden Leistungsschaltern.

In der Grafik ist das Prinzip und die Funktionsweise der "ZSS" dargestellt. Ein Kurzschluss am Punkt K1 wird von Q1, Q3 und Q5 erfasst. Bei aktivierter ZSS werden durch entsprechende Kommunikationsleitungen Q3 durch Q1 und Q5 durch Q3 vorübergehend gesperrt. Da Q1 kein Sperrsignal erhält, löst er bereits nach 10 ms aus.
Ein Kurzschluss am Punkt K2 wird nur von Q5 erfasst; da er kein Sperrsignal erhält, löst er bereits nach 50 ms aus. Ohne ZSS würde die Auslösung erst nach 100 ms erfolgen.

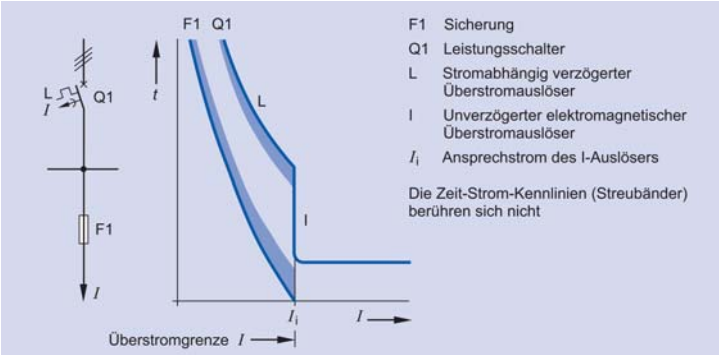
Selektivität zwischen Leistungsschalter und Sicherung

Bei Selektivitätsbetrachtungen mit Sicherungen ist in den Zeit-Strom-Kennlinien eine zulässige Toleranz von ± 10 % in Stromrichtung zu berücksichtigen.

Leistungsschalter mit nachgeordneter Sicherung

Selektivitätsverhältnisse bei LI-Auslösern und Sicherungen mit sehr niedrigem Bemessungsstrom

Im Überlastbereich bis zum Ansprechstrom I_i des unverzögerten Überstromauslösers ist Teilselektivität gegeben, wenn die Sicherungskennlinie mit ihrem oberen Toleranzband die Auslösekennlinie des voll vorbelasteten, thermisch verzögerten Überlastauslösers (L) nicht berührt. Dabei ist – wenn vom Hersteller nicht anders angegeben – für den betriebswarmen Zustand eine Verringerung der Auslösezeit bis auf 25 % zu berücksichtigen.

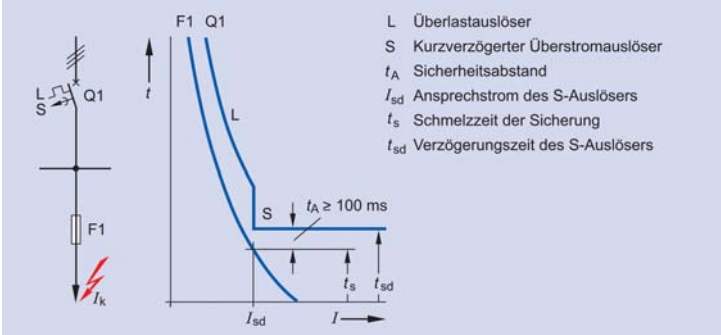


Selektivität zwischen Leistungsschalter und nachgeordneter Sicherung im Überlastbereich.

Volle Selektivität bei Verwendung von Leistungsschaltern ohne kurzverzögerte Überstromauslöser ist gegeben, wenn der Durchlassstrom der Sicherung I_D nicht den Ansprechstrom des unverzögerten Überstromauslösers erreicht. (Siehe Strombegrenzungsdiagramm für NH-Sicherungen in Seip, Günther G. (Hrsg.): Elektrische Installationstechnik, 4. Aufl., Erlangen, 2000, Kap. 4, Abschnitt 4.1.1.) Dies ist allerdings nur bei einer Sicherung zu erwarten, deren Bemessungsstrom im Vergleich zum Bemessungsdauerstrom des Leistungsschalters sehr niedrig ist.

Selektivitätsverhältnisse bei LSAuslösern und Sicherungen größerer Bemessungsströme

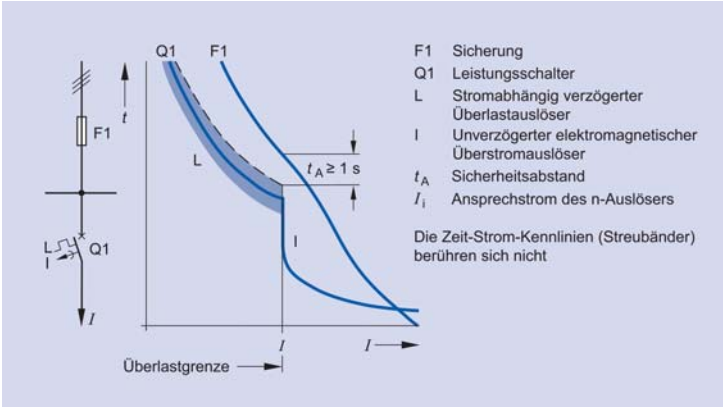
Aufgrund der dynamischen Vorgänge in elektromagnetischen Auslösern ist auch absolute Selektivität mit Sicherungen erreichbar, deren I_D kurzzeitig den Ansprechstrom übersteigen. Eine sichere Selektivitätsaussage ist hier jedoch wiederum nur durch Messungen bei I möglich. Absolute Selektivität erreicht man beim Einsatz von Leistungsschaltern mit kurzverzögerten Überstromauslösern (S-Auslöser), wenn sich die Kennlinien einschließlich ihrer Toleranzen nicht berühren. Im Allgemeinen reicht in der Praxis ein Sicherheitsabstand von 100 ms der Soll-Kennlinien.



Selektivität zwischen Leistungsschalter mit LS-Auslöser und nachgeordneter Sicherung; Kurzschlussstrombereich.

Selektivität zwischen Sicherung und nachgeordnetem Leistungsschalter

Selektivitätsverhältnisse im Überlastbereich:
Für Selektivität im Überlastbereich ist zwischen dem unteren Toleranzband der Sicherung und der Kennlinie des stromabhängig verzögerten Überlastauslösers ein Sicherheitsabstand von $t_A \geq 1$ s erforderlich.

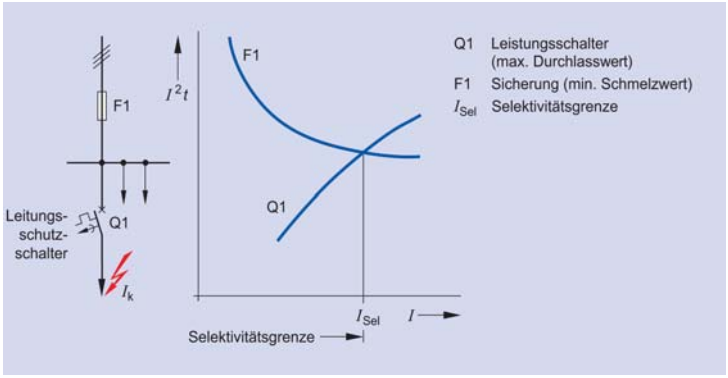


Selektivität zwischen Sicherung und nachgeordnetem Leistungsschalter; Überlastbereich.

Für den Kurzschlussfall muss berücksichtigt werden, dass nach dem Ansprechen der Auslöser im Leistungsschalter auch noch während der Lichtbogenzeit beim Ausschalten die Sicherung weiter aufgeheizt wird. Näherungsweise liegt die Selektivitätsgrenze dort, wo ein Sicherheitsabstand zwischen dem unteren Toleranzband der Sicherung und der Ansprechzeit des unverzögerten Überstromauslösers bzw. der Verzögerungszeit des kurzverzögerten Überstromauslösers von 70 ms unterschritten wird.

Selektivitätsverhältnisse im Kurzschlussbereich

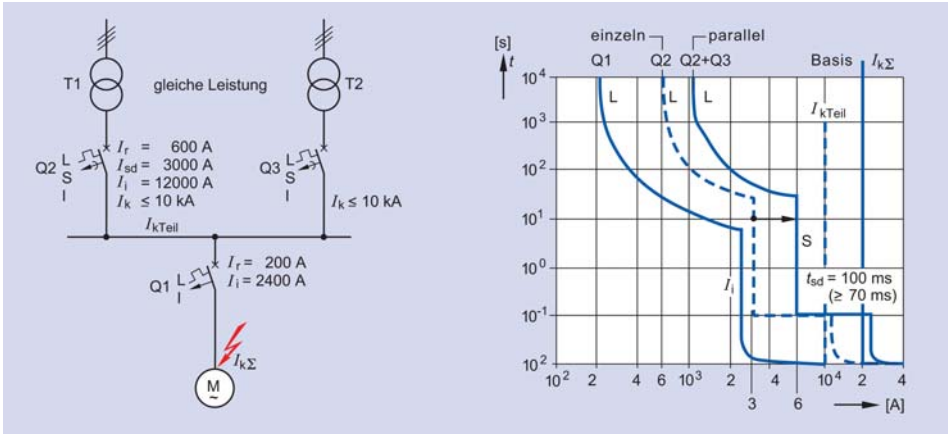
Eine sichere und meist auch höhere Selektivitätsgrenze für den Kurzschlussbereich lässt sich im I^2t-Diagramm ermitteln. Verglichen wird in diesem der Maximalwert des Durchlass-I^2t-Werts des Leistungsschalters mit dem Minimalwert des Schmelz-I^2t-Werts der Sicherung. Da es sich um Maximal- und Minimalwerte handelt, entfallen die Toleranzen.



Selektivität zwischen Sicherung und nachgeordnetem Leistungsschalter; Kurzschlussfall.

Selektivität bei parallelen Einspeisungen

Verbesserung der Selektivität bei parallelen Einspeisungen:
Bei parallelen Einspeisungen auf eine Sammelschiene ergibt sich im fehlerbehafteten Abzweig der Summenkurzschlussstrom $I_{k\Sigma}$, der sich aus den Teilkurzschlussströmen $I_{k\ Teil}$ in den einzelnen Einspeisungen zusammensetzt und die Strombasis im Staffeldiagramm bildet. Dies gilt bei allen Fehlerarten.



Beispiel mit Abzweig in Sammelschienenmitte: Selektivität bei zwei gleichzeitig einspeisenden Transformatoren gleicher Leistung.

Zwei gleiche Einspeisungen

Tritt im Abzweig nach dem Leistungsschalter Q1 ein Kurzschluss auf, fließt darüber der Summenkurzschlussstrom $I_{k\Sigma}$ von beispielsweise ≤ 20 kA,- während die Einspeiseschalter Q2 und Q3 bei mittig an der Sammelschiene angeordnetem Abzweig und gleich langen Einspeiseleitungen jeweils nur die Hälfte davon, nämlich ≤ 10 kA, führen.

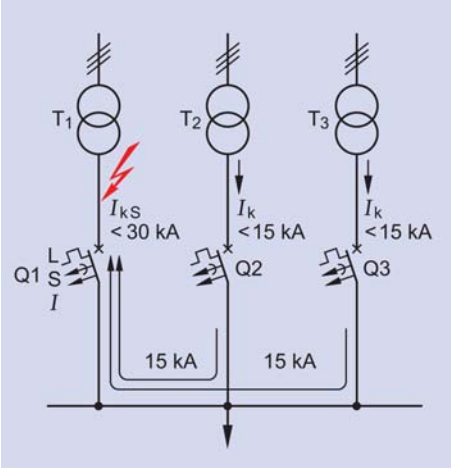
Zusätzliche Stromselektivität bei Transformator-Parallelbetrieb
Im Staffeldiagramm ist daher die Auslösekennlinie der Leistungsschalter Q2 und Q3 auf die Strombasis des Leistungsschalters Q1 zu beziehen. Da sich der Summenkurzschlussstrom im Idealfall (ohne Berücksichtigung der Lastströme in den anderen Abzweigen) bei Anordnung des Abzweigs in der Sammelschienenmitte gleichmäßig auf jede Einspeisung aufteilt, kann die Auslösekennlinie der Leistungsschalter Q2 bzw. Q3 optimal um den Kennlinien-Verschiebungsfaktor 2 im Strommaßstab nach rechts bis zur Linie $I_{k\Sigma}$, der Basis für diesen Fehlerfall, verlegt werden. Dadurch ergibt sich neben der Zeitselektivität zusätzlich auch Stromselektivität.

Wird nicht mit der verschobenen Kennlinie, sondern mit der des einzelnenSchalters gearbeitet, muss der exakte Kurzschlussstrom (Aufteilung) berücksichtigt werden, der über den Schalter fließt. Bei nichtsymmetrischer Ausführung und Anordnung der Einspeisungen und Abzweige an den Sammelschienen ist die Kurzschlussstromaufteilung je nach Impedanzverhältnis der Einspeiseleitungen unterschiedlich. Dies ist für Sicherungsabzweige besonders mit hoher Absicherung, z. B. von 630 A bis 1.000 A, von besonderer Bedeutung.
Es ist dabei darauf zu achten, dass der Sicherheitsabstand von ≥ 100 ms zwischen der Auslösekennlinie des S-Auslösers und der Schmelzzeit-Strom-Kennlinie der NH-Sicherung nicht nur bei Parallelbetrieb, sondern auch bei Einzelbetrieb der Transformatoren gegeben ist. Soll auch bei Betrieb mit einem Transformator und bei allen Kurzschlussströmen (1- bis 3-polig) Selektivität erreicht werden, ist die Einstellung der Auslöser von Leistungsschalter Q1, Q2 und Q3 zu beachten.

TIPP:

Aus Kostengründen sollte auch bei kleineren und mittleren Sicherungs-Bemessungsströmen nicht auf S-Auslöser bei den Einspeise-Leistungsschaltern verzichtet werden.

Drei gleiche Einspeisungen
Die Selektivitätsverhältnisse werden bei Parallelbetrieb von drei Transformatoren grundsätzlich durch die zusätzlich gewonnene Stromselektivität günstiger als bei zwei Einheiten, denn der Kennlinien-Verschiebungsfaktor liegt zwischen 2 und 3. Auch hierbei werden zur Erzielung eindeutiger Selektivitätsverhältnisse für den Leistungsschalter in den Einspeisungen LS-Auslöser benötigt. Darüber hinaus sind zusätzlich noch I-Auslöser zur Erfassung eines Fehlers zwischen Transformator und Einspeiseschalter gemäß der nachfolgenden Grafik erforderlich. Hierfür müssen die S-Auslöser der Leistungsschalter Q1 bis Q3 auf einen Wert $<I_k$ und die I-Auslöser $>I_k$, aber $<I_{k\Sigma}$ eingestellt werden. Hierbei sind die größten und kleinsten auftretenden Fehlerströme zu beachten.



Selektivität bei drei gleichzeitig einspeisenden Transformatoren.

Durch die I-Auslöser wird dann nur der fehlerbehaftete Transformatorabzweig hoch- und niederspannungsseitig abgeschaltet. Die Leistungsschalter in den "gesunden" Einspeisungen bleiben in Betrieb.

Über Kuppelschalter parallel geschaltete Einspeisungen

Kuppelschalter sollen folgende Schutzaufgaben im Fehlerfall lösen:

- Unverzögerte Auslösung bei Fehlern im Bereich der Sammelschiene und
- Entlastung der Abzweige von den Wirkungen hoher Summen-Kurzschlussströme

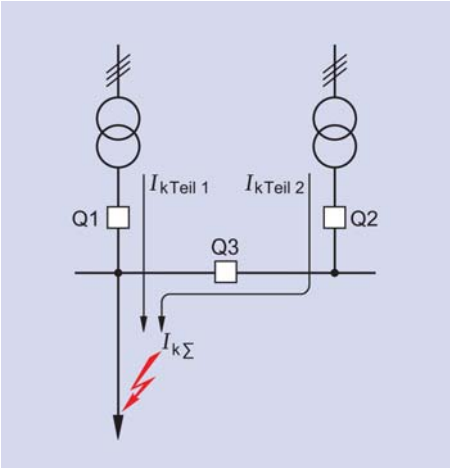
Auswahl der Leistungsschalter

Die Auswahl der Schaltgeräte der Abzweige sowie die Selektivitätsverhältnisse werden wesentlich davon bestimmt, ob als Kuppelschalter Leistungsschalter mit Nullpunktlöschung, also ohne Strombegrenzung, oder mit Strombegrenzung eingesetzt werden. Strombegrenzende, schnell abschaltende Kuppelschalter entlasten die abgehenden Stromkreise von den Wirkungen hoher unbegrenzter Summen-Stoßkurzschlussströme I_p und lassen damit die Verwendung leichter gebauter und kostengünstigerer Leistungsschalter zu.

Einstellung der Überstromauslöser in Kuppelschaltern

Um eindeutige Selektivitätsaussagen bei relativ kleinen Kurzschlussströmen, z. B. in den Abzweigen der Unterverteiler, zu erhalten, sollten die Überstromauslöser in Kuppelschaltern möglichst hoch eingestellt werden.

Bei zwei Einspeisungen:
Bei zwei Einspeisungen fließt über den Kuppelschalter Q3 je nach Fehlerort (linker oder rechter Sammelschienenabschnitt oder -abzweig) jeweils nur der zugehörige Teilkurzschlussstrom (z. B. $I_{k\ Teil\ 2}$).

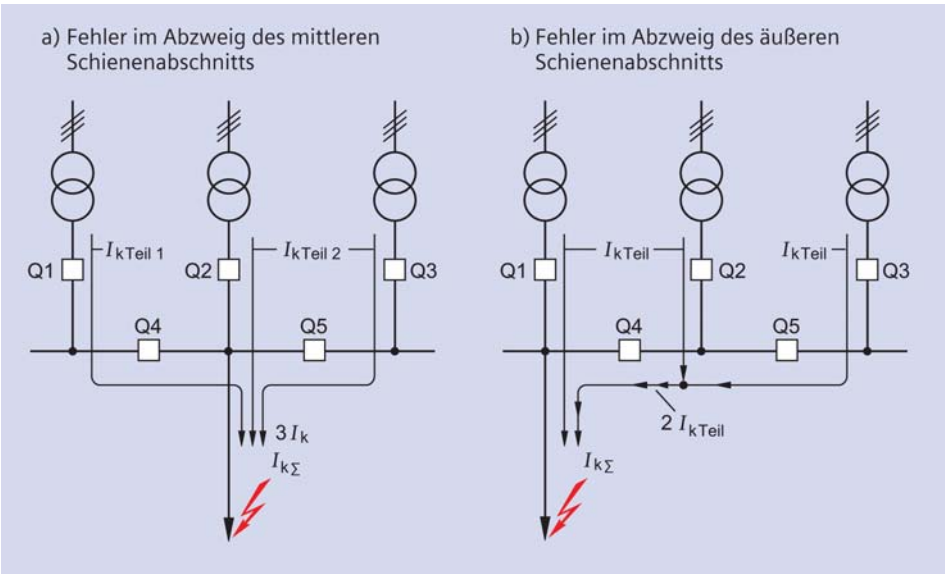


Kurzschlussaufteilung über den Kuppelschalter Q3 bei zwei Einspeisungen Q1 und Q2.

Bei drei Einspeisungen mit Fehler:
Bei drei Einspeisungen sind die Verhältnisse unterschiedlich, je nachdem, welcher der beiden in der Grafik a und b dargestellten Abzweige fehlerbehaftet ist.

Im mittleren Schienenabschnitt:
Bei einem Fehler im Abzweig des mittleren Schienenabschnitts (a) fließen über die Kuppelschalter Q4 und Q5 etwa gleich große Teilkurzschlussströme.

Im äußeren Schienenabschnitt:
Bei einem Fehler im Abzweig des äußeren Schienenabschnittes (b) fließen über den Kuppelschalter Q4 zwei Teilkurzschlussströme.



Aufteilung der Kurzschlussströme für die Einstellung des Überstromauslösers – in den Kuppelschaltern Q4 und Q5 bei drei Einspeisungen und Fehlern a und b – in den Abzweigen verschiedener Schienenabschnitte

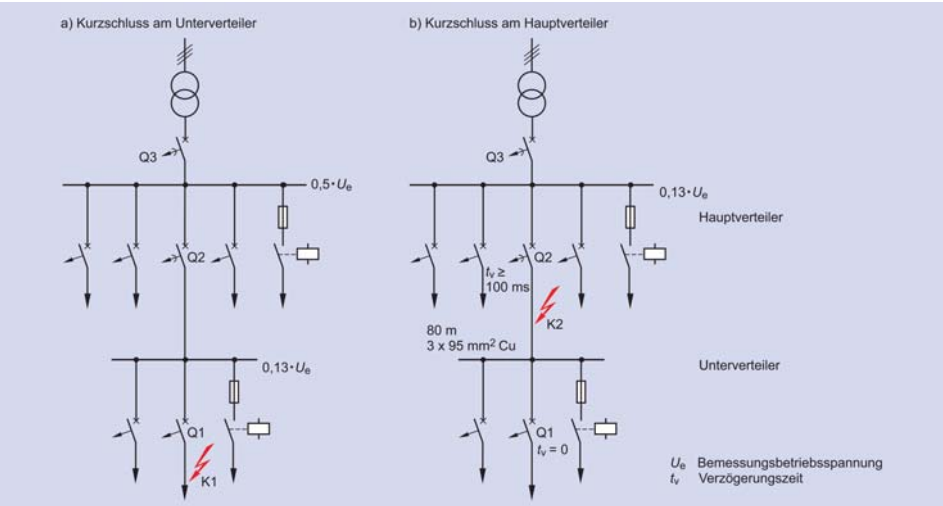
Rechnergestützte Selektivitätsuntersuchung

Genaue Werte der Kurzschlussströme, die über die Kuppelschalter fließen, sind eine Voraussetzung für die optimale Einstellung der Überstromauslöser. Sie geben Aufschluss über das selektive Verhalten bei einer Vielzahl unterschiedlich hoher Fehlerströme und werden über ein Rechnerprogramm ermittelt und entsprechend ausgewertet.

Selektivität und Unterspannungsschutz

Tritt ein Kurzschluss auf, bricht an der Kurzschlussstelle die Netzspannung auf eine Restspannung zusammen, die vom Fehlerwiderstand abhängt. Bei sattem Kurzschluss wird der Fehlerwiderstand und damit auch die Spannung an der Kurzschlussstelle praktisch zu null. Im Allgemeinen treten aber bei Kurzschlüssen Lichtbögen auf, die erfahrungsgemäß Bogenspannungen von etwa 30 V bis 70 V besitzen. Diese Spannung, ausgehend vom Fehlerort, steigt in Richtung Energiequelle im Verhältnis der dazwischen liegenden Impedanzen an.

Die nachfolgende Grafik zeigt die Spannungsverhältnisse in einer kurzschlussbehafteten Niederspannungs-Schaltanlage bei sattem Kurzschluss. Bei einem Kurzschluss an der Stelle K1 (a) sinkt die Bemessungsbetriebsspannung U_e an der Sammelschiene des Unterverteilers auf 0,13 x U_e, an der Sammelschiene des Hauptverteilers auf 0,5 x U_e. Den Fehler schaltet der unmittelbar davor liegende Leistungsschalter Q1 aus. Seine Gesamtausschaltzeit beansprucht je nach Schaltergröße und -typ bis 30 ms bei Nullpunktlöschern, bei strombegrenzenden Leistungsschaltern höchstens 10 ms.



Spannungsverhältnisse einer kurzschlussbehafteten Niederspannungs-Schaltanlage mit Haupt- und Unterverteiler.

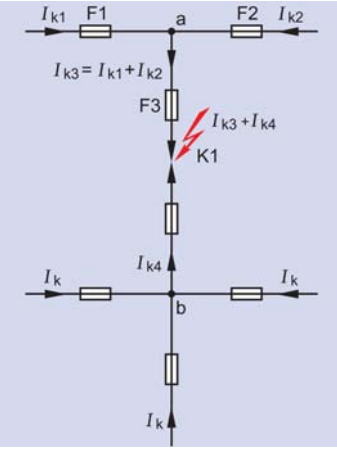
Bei einem Kurzschluss an der Stelle K2 (b) schaltet der Leistungsschalter Q2 aus. Er ist mit einem kurzverzögerten Überstromauslöser (S) versehen. Die Verzögerungszeit beträgt mindestens 100 ms. Während dieser Zeit ist die Bemessungsbetriebsspannung an der Sammelschiene des Hauptverteilers auf 0,13 x U_e abgesunken. Sinkt die Bemessungsbetriebsspannung auf den 0,7- bis 0,35-fachen Wert und dauert die Spannungsverminderung länger als etwa 20 ms, schalten alle Leistungsschalter ab, die mit einem Unterspannungsauslöser versehen sind. Ebenso fallen alle Schütze ab, wenn die Bemessungs-Steuerspeisespannung länger als 5 ms bis 30 ms unter 75 % ihres Bemessungswerts zusammenbricht.

Ausschaltverzögerung für Schütze und Unterspannungsauslöser
Damit der selektive Überstromschutz nicht vorzeitig unterbrochen wird, sind Unterspannungsauslöser und Schütze mit Ausschaltverzögerung erforderlich. Bei Leistungsschaltern mit Strombegrenzung, deren Gesamtausschaltzeit höchstens 10 ms beträgt, kann darauf verzichtet werden.

Selektivität in Maschennetzen

In einem Maschennetz bestehen zwei Selektivitätsaufgaben:
- Es darf nur das kurzschlussbehaftete Kabel aus dem Netz getrennt werden.
- Bei einem Kurzschluss an den Klemmen eines Einspeisetransformators darf nur die Fehlerstelle aus dem Netz herausgetrennt werden.

Knotenpunktsicherungen
In einem Niederspannungs-Maschennetz werden normalerweise Kabel gleichen Querschnitts und damit NH-Sicherungen der Betriebsklasse gL gleichen Typs und Bemessungsstroms in den Knotenpunkten des Netzes verwendet.
Bei einem Kurzschluss (K1) auf dem Maschennetzkabel fließen die Kurzschlussströme I_{k3} und I_{k4} zur Fehlerstelle. Der Kurzschlussstrom I_{k3} aus dem Knotenpunkt a setzt sich aus den Teilströmen I_{k1} und I_{k2} zusammen, die je nach den Impedanzverhältnissen sehr unterschiedlich sein können.



Kurzschlussbehaftetes Kabel mit seinen zwei Einspeiseknotenpunkten a und b.

Zulässiges Stromwerteverhältnis

Selektivität der Sicherungen im Knotenpunkt a ist gegeben, wenn die vom Summenstrom I_{k3} durchflossene Sicherung F3 durchschmilzt und die vom Teilkurzschlussstrom I_{k1} oder I_{k2} durchflossene Sicherung F1 oder F2 betriebsbereit bleibt.

Hinweis:

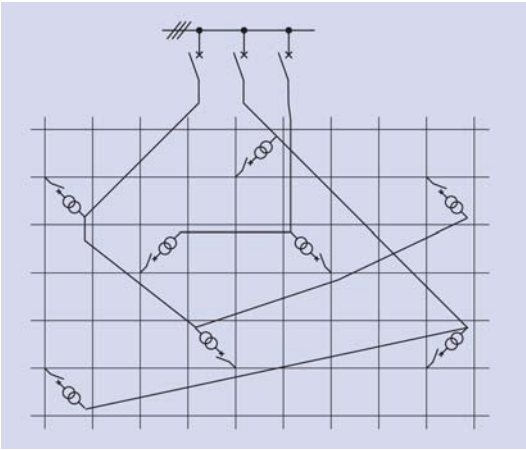
Bei Siemens-NHSicherungen (400 V, bis 400 A) liegt das für hohe Kurzschlussströme zulässige Stromverhältnis I_{k1} /(I_{k1}+I_{k2}) bei 0,8.

Leistungstransformatoren im Maschennetz

Einspeiseschalter

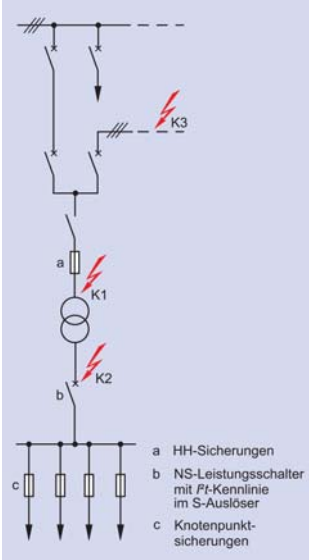
In einem vermaschten Netz im Mehrstrangbetrieb, d. h. mit Speisung über mehrere Mittelspannungsleitungen und Transformatoren, soll bei einem Fehler in einer Umspannstation oder in einer Mittelspannungsleitung die Rückspeisung vom Niederspannungsnetz zur Störstelle verhindert werden. Dazu wurde früher ein Maschennetzrelais (Rückleistungsrelais) auf der Niederspannungsseite der Transformatoren eingesetzt.

Heutzutage verwendet man für diese Aufgabe Niederspannungs-Leistungsschalter mit elektronischen Auslösern, die z. B. einen S-Auslöser mit einer I^2t-Kennlinie besitzen.



Beispiel für ein vermaschtes Netz mit Mehrstrangeinspeisung.

Tritt an der Oberspannungsseite des Transformators (Stelle K1) oder zwischen Transformator und Maschennetzschalter (Stelle K2) oder auf dem Kabel (Stelle K3) ein Kurzschluss auf, spricht auf der Oberspannungsseite die HH-Sicherung an; auf der Unterspannungsseite fließt zur Fehlerstelle – über den Niederspannungs-Leistungsschalter mit I^2t-Kennlinie im S-Auslöser – eine Rückleistung.



Prinzipschaltbild der Einspeisung einer Maschennetz-Station.

Da über diesen Leistungsschalter die Summe der Kurzschlussstromanteile aller anderen Transformatoren fließt, löst dieser Schalter aufgrund der I^2t-Kennlinie ausreichend schnell und somit selektiv aus.

Schutz von Kondensatoren

Kondensatoreinheiten müssen nach IEC 60358/VDE 00560-4 dauernd für den Betrieb mit einem Strom geeignet sein, dessen Effektivwert das 1,3-fache des Stroms nicht übersteigt, der bei sinusförmiger Bemessungsspannung und Bemessungsfrequenz fließt. Aufgrund dieser Dimensionierung wird bei Kondensatoreinheiten in den überwiegenden Anwendungsfällen auf einen Überlastschutz verzichtet.

Kondensatoren in oberschwingungsbehafteten Netzen
Nur in Netzen mit großen Oberwellenerzeugern (z. B. Generatoren und stromrichtergespeiste Antriebe) können die Kondensatoren überlastet werden. Die Kondensatoren bilden mit der Reihenschaltung aus Transformator-und Kurzschlussreaktanz des übergeordneten Netzes einen Parallelschwingkreis. Es kommt zu Resonanzerscheinungen, wenn die Eigenfrequenz dieses Schwingkreises mit der Frequenz eines vom Stromrichter erzeugten Oberschwingstroms übereinstimmt oder in dessen Nähe liegt.

Verdrosselte Kondensatoren
Zum Vermeiden von Resonanzen müssen die Kondensatoren “verdrosselt” werden. (siehe: Seip, Günther G. (Hrsg.): Elektrische Installationstechnik, 4. Aufl., Erlangen, 2000, Kap. 1, Abschnitt 1.6). An die Stelle des reinen

Kondensators tritt ein LC-Schwingkreis, dessen Resonanzfrequenz unterhalb der im Laststrom vorhandenen Oberschwingung mit der niedrigsten Ordnungszahl (250 Hz) liegt. Hierdurch wird die Kondensatoreinheit für alle im Laststrom auftretenden Oberschwingungsströme induktiv und kann so mit der Netzreaktanz keinen Resonanzkreis mehr bilden.

Einstellwerte des Überlastrelais
Werden zum Schutz gegen Überströme thermisch verzögerte Überlastrelais eingesetzt, kann der Auslösewert auf das 1,3- bis 1,43-fache des Kondensator-Bemessungsstroms eingestellt werden, da unter Berücksichtigung der zulässigen Kapazitätsabweichung der Kondensatorstrom das 1,1 • 1,3 = 1,43-fache des Kondensator-Bemessungsstroms betragen kann.
Bei wandlerbeheizten Überlastrelais oder -auslösern wird wegen des veränderten Übersetzungsverhältnisses der Wandler durch die Oberschwingungen ein höherer Sekundärstrom fließen. Dadurch können Frühauslösungen auftreten.

Absaugen der Oberschwingungen durch Filterkreise
Eine andere Möglichkeit besteht darin, das übergeordnete Netz weitgehend durch Filterkreise von Oberschwingungen zu befreien. (siehe: Seip, Günther G. (Hrsg.): Elektrische Installationstechnik, 4. Aufl., Erlangen, 2000, Kap. 1, Abschnitt 1.6.3, 1.6.4). Die Filterkreise sind ebenfalls Reihenresonanzkreise, die jedoch im Gegensatz zu den verdrosselten Kondensatoren genau auf die Frequenzen der abzusaugenden Oberschwingungsströme abgestimmt sind. Die Impedanz wird dadurch annähernd null.

Kurzschlussschutz
Zum Kurzschlussschutz werden in Kondensatoreinheiten am häufigsten NH-Sicherungen der Betriebsklasse gL eingesetzt. Um ein Ansprechen der Sicherungen im Überlastbereich und beim Schalten der Kondensatoren zu verhindern, wählt man einen Sicherungs-Bemessungsstrom vom 1,6- bis 1,7-fachen Wert des Bemessungsstroms der gleichzeitig geschalteten Kondensatorstufen.

TIPP:

Sicherungen, Sicherungslasttrennschalter, Kondensatoren und Schütze sind bei der Planung aufeinander abzustimmen. Empfehlenswert dabei ist, geprüfte Komplettbausätze zu verwenden.

Backup-Schutz

Definition des Backup-Schutzes:
Zusammenwirken von zwei aufeinander abgestimmter, in Reihe geschalteter Überstromschutzeinrichtungen an Stellen, an denen ein Gerät (z. B. Leitungsschutzschalter) im Schadensfall den prospektiven Kurzschlussstrom allein nicht zu schalten vermag. Tritt ein entsprechend hoher Kurzschlussstrom auf, entlastet die vorgeordnete Überstromschutzeinrichtung die nächstliegende nachgeordnete und verhindert so deren übermäßige Beanspruchung. Die vorgeordnete Schutzeinrichtung muss ein entsprechendes Schaltvermögen besitzen. Die Schutzwirkung lässt sich durch Versuche ermitteln. Nach der Abschaltung sind beide Überstromschutzeinrichtungen voll funktionsfähig.

DIN EN 60947-2 A1 erlaubt auch den vorgeordneten Schutz (Backup-Schutz) eines Schaltgeräts durch eines der vorgeordneten Schutzgeräte mit dem entsprechenden Bemessungsaussschaltvermögen I_{cn}, wenn dadurch sowohl der Abzweig als auch das nachgeordnete Schutzgerät geschützt wird. Das heißt, durch den Backup-Schutz darf das Bemessungsausschaltvermögen I_{cn} des nachgeordneten Leistungsschalters kleiner sein als der Kurzschlussstrom an der Einbaustelle. Ein Freiheitsgrad bei der Anlagenprojektierung, der vor allem dem wirtschaftlichen Aufbaut zugute kommt und darüber hinaus den Komponentenschutz optimiert.

Praktisch bedeutet das, dass an einer Netzstelle mit einem möglichen Kurzschlussstrom von z. B. 50 kA auch ein kostengünstiges Schutzgerät mit nur 20 kA Kurzschluss-Ausschaltvermögen eingesetzt werden kann, wenn es durch ein vorgeordnetes Schutzgerät “Backup-geschützt” wird und die Kombination ein Ausschaltvermögen von 50 kA hat.

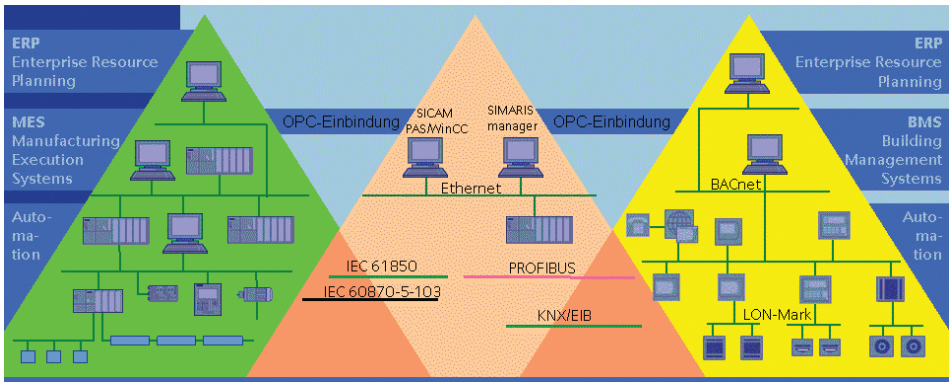
Die Bewertung des Backup-Schutzes für die Leistungsschalter und für die Leitungsschutzschalter erfolgt teilweise in Anlehnung an die Schaltleistungsprüfung zur Bestimmung von I_{cn} nach DIN VDE 0660 Teil 101 bzw. nach IEC 947-2.

Hinweis:

Die Grenzwerte für die Selektivität und den Backup-Schutz können aus den entsprechenden Tabellen der Hersteller abgelesen werden.

Kommunikation in Industrie und Zweckbau

Gebäudemanagementsysteme dienen zur Steuerung und Regelung, Überwachung und Optimierung sowie für Bedienung und Management zum energieeffizienten, wirtschaftlichen und sicheren Betrieb von Gebäuden. Das Gebäudemanagement gliedert sich in zwei Themengebiete, nämlich das Gefahrenmanagement und die Betriebsführung.



Das Gebäudemanagement ist unterteilt in Gefahrenmanagement und Betriebsführung.

Gefahrenmanagement

Gefahrenmanagement bedeutet limitieren und eindämmen verschiedenster Risiken und umfasst die konsequente Behandlung unterschiedlichster bedrohlicher Ereignisse, die auftreten können. Dies garantiert den Schutz von Personen, die Sicherheit der Werte und die Aufrechterhaltung des Betriebs innerhalb eines Gebäudes. Gefahrenmanagement wird typischerweise mit den spezifischen Aufgaben von Sicherheitssystemen in Verbindung gebracht, muss jedoch auch auf die potenziellen Gefahren ausgedehnt werden, die von einer anderen beliebigen technischen Anlage ausgehen.

Betriebsführung

Die Betriebsführung eines Gebäudes umfasst:

- Die Raum-Automation mit einer situationsgerechten Beleuchtungssteuerung über Licht und Jalousien.
- Die Klima-Automation, in dem Heizung, Lüftung und Kühlung optimal an die Nutzung des Gebäudes angepasst werden.

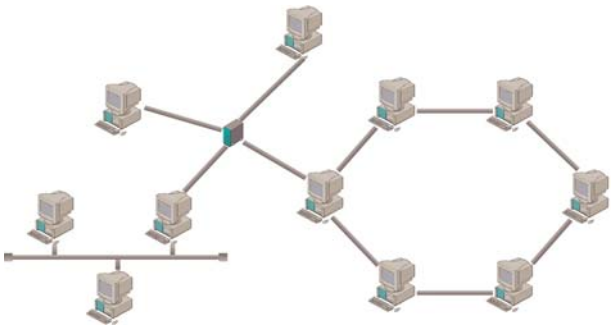
Industrie und Zweckbau erfordern natürlich eine sichere und zuverlässige Energieversorgung und eine ebenso sichere und zuverlässige Kommunikation.
Die Energieverteilung muss einerseits in die Kommunikationsstruktur der Anwendungen eingebunden werden und andererseits benötigt Energieverteilung ein eigenes Kommunikationsnetzwerk.

Merkmale der technischen Kommunikation

Unterschiedliche Anwendungen stellen differenzierte Anforderungen an die Kommunikation. Die wichtigsten Unterscheidungskriterien sind die Art des Übertragungsmediums und die Ausdehnung sowie der Aufbau von Netzen, Hierarchieebenen, Zugriffsverfahren und die Performance. Grundsätzlich kann zwischen kabelgebundener und kabelloser Datenübertragung unterschieden werden. Bei der kabelgebundenen Variante werden spezielle Kabel (z.B. Twisted-Pair, Koaxialkabel oder Lichtwellenleiter) angeboten, deren unmittelbare Aufgabe die Übermittlung der Informationssignale ist. Des Weiteren wurde eine Möglichkeit entwickelt, die Kommunikationsdaten auf eine bereits bestehende Leitung zur Energieübertragung (Powerline) aufzumodulieren, um die Verlegung von reinen Kommunikationsleitungen zu sparen. Als Beispiel sei hierfür Internet über die Stromleitung im Home-Office-Bereich genannt. Bei der kabellosen Übertragungstechnik bestimmt vorrangig die Frequenz (Wellenlänge) die Systemeigenschaften. Zu nennen sind hier Infrarot (Irda) und hochfrequente Signalübertragungen im Bereich von 1,8GHz bis 5GHz (z.B. WLAN, DECT, Bluetooth, Zigbee).

Topologie

Die räumliche Struktur der Vernetzung mehrerer Teilnehmer untereinander wird als Topologie bezeichnet. Sie ist entscheidend u.a. für die Ausfallsicherheit, Kosten und Performance des Netzes. Auf den drei Grundtopologien Stern, Bus und Ring basieren alle Netzwerkentwürfe.



Alle Netzwerkentwürfe basieren auf den drei Grundtopologien Stern, Bus und Ring.

Bei der **Sterntopologie** sind alle Teilnehmer mit einem zentralen Knoten einzeln verbunden, der nicht zwangsweise über Intelligenz verfügen muss. Dieser Aufbautyp hat den Nachteil, dass der Ausfall der zentralen Komponente (z.B. Hub, Switch) einen Ausfall des gesamten Sterns zur Folge hat, darum werden diese Teilnehmer teilweise redundant ausgeführt. Als Vorteile dagegen sind die leichte Fehlersuche und Erweiterbarkeit, die Verwendung von unterschiedlichen Übertragungsmedien sowie die hohen Übertragungsraten durch Filterfunktionen zu nennen. Ein typischer Vertreter dieser Topologie ist Fast Ethernet.

Vor allem bei Feldbussystemen in der Automatisierung (z.B. Profibus-DP) hat sich die **Linien- oder Busstruktur** durchgesetzt. Dabei sind die Teilnehmer an einer Hauptlinie (Bus) angeschlossen, Abschlusswiderstände an den Enden der Linie verhindern Reflexionen. Da alle Teilnehmer über dasselbe Kabel kommunizieren, kann immer nur ein Teilnehmer aktiv sein. Diese Art der Verkabelung reduziert zwar die Installationskosten, birgt aber den Nachteil, daß eine einzige Störung des Übertragungsmediums den gesamten Strang an dieser Stelle unterbricht.

Dieses Problem umgeht die **Ringtopologie** in dem sie die letzten Teilnehmer einer Linien- oder Busstruktur miteinander verbindet. Physikalisch handelt es sich hier um einen Ring, logisch ist es aber nur eine Linie. Kommt es nun zur Unterbrechung der Verbindung an einer Stelle, so wird die logische Linie einfach über den anderen Weg des Rings neu geschlossen und die Kommunikation findet weiterhin ungestört statt. Diese Technik findet u.a. bei Feldbussystemen mit Lichtwellenleitern ihren Einsatz.

Linien-, Ring- und Sterntopologien treten gelegentlich auch gemeinsam auf.

ISO/OSI Schichtenmodell

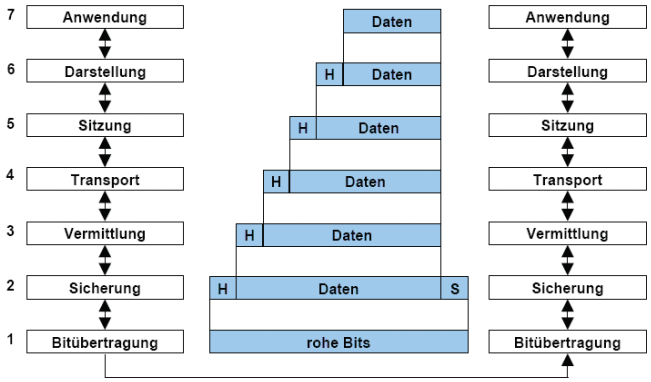
Früher waren Systeme oft in sich geschlossen und konnten nur über sehr komplexe und unübersichtliche Mechanismen Daten mit anderen Systemen austauschen. Mit dem Ziel der Vereinheitlichung der Kommunikation legte 1978 die "International Organization for Standardization" (ISO) gemeinsame Begriffsdefinitionen und ein Kommunikationsmodell fest. Mit Hilfe dieses Modells lassen sich Netzwerkfunktionen gut abbilden und realisieren.

Dieses so genannte ISO/OSI Schichtenmodell (Reference Model for Open Systems Inteconnection) ist in sieben Schichten aufgeteilt. Dabei arbeitet jede Schicht nach definierten Regeln, die auch als Protokolle bezeichnet werden. Über diese Protokolle (Dienste) können übergeordnete Schichten auf Operationen der unterlagerten Schicht zugreifen und diese nutzen. Zwischen benachbarten Schichten sind diese Dienste genau festgelegt, ein Aufruf besteht aus einer Dienstanforderung und den Daten. Dabei bearbeitet und verpackt jede Schicht die Daten der übergelagerten Schicht und fügt ihr einen eigenen Header hinzu. Eine Kommunikation findet erst dann statt, wenn ein Protokoll einer bestimmten Schicht eines Systems direkt mir der entsprechenden Schicht auf einem anderen System kommuniziert.

Die sieben Schichten des ISO/OSI Modells

Jede Schicht verpackt die Daten neu und fügt einen Header hinzu (H). Die Sicherungsschicht enthält zusätzlich eine Sicherungsinformation (Prüfsumme (S) o.ä.). Die Schichten 1 und 2 sind meist in Hardware ausgeführt, während von der Anwendungsschicht bis zur Vermittlungsschicht zumeist Softwarelösungen eingesetzt werden.

Es besteht auch keine Notwendigkeit, dass alle Schichten ausgeprägt sein müssen, denn bearbeiten und neu verpacken kostet Zeit. Vor allem bei Feldbussen ist es üblich, aus Performancegründen und aus der vereinfachten Adressierung auf einige Schichten zu verzichten. Beim Profibus-DP z.B. sind nur Schicht 1 und 2 vorhanden.



Die sieben Schichten des ISO/OSI Modells. Jede Schicht verpackt die Daten neu und fügt einen Header hinzu (H). Die Sicherungsschicht enthält zusätzlich eine Sicherungsinformation (Prüfsumme (S) o.ä.)

- Schicht 1 (Bitübertragungsschicht):
  Hier sind die Regeln definiert, nach denen die Daten über das Kommunikationsmedium gesendet werden. Festgelegt werden hier u.a. Medium, Signalpegel, Geschwindigkeit, Codierung und Modulation, Vollduplex oder Halbduplex.

- Schicht 2 (Sicherungsschicht):
  Die Sicherungsschicht bietet Mechanismen, um die übertragenen Daten auf Fehlerfreiheit zu überprüfen (z.B. CRC Check) und ggfs. darauf zu reagieren, also Daten neu anzufordern.

- Schicht 3 (Vermittlungsschicht):
  In der Vermittlungsschicht sind die Funktionen der Wegefindung (Routing) im Wesentlichen verankert. Protokolle dieser Schicht routen die Daten von der Quelle zum Ziel. Das bekannteste Beispiel hierfür ist das Internet Protokoll IP.

- Schicht 4 (Transportschicht):
  Die Transportschicht arbeitet die Daten der Vermittlungsschicht auf und stellt eine transparente Datenübertragung zwischen Endsystemen zur Verfügung. Größere Datenpakete teilt die Transportschicht in kleinere Pakete auf, die auf der gegenüber liegenden Seite wieder zusammengefügt werden. Typische Vertreter sind hier TCP (Transmission Control Protocol, verbindungsorientiert) und UDP (User Defined Protocol, verbindungslos).

- Schicht 5 (Sitzungsschicht):
  Verbindungen auf- und abzubauen, Einbau von Synchronisations- und Wiederanlaufpunkten sind gehobenere Dienste, die die Sitzungsschicht bereithält.

- Schicht 6 (Darstellungsschicht):
  Aufgabenschwerpunkte dieser Schicht sind z.B. Konvertierungen, Datenkompression, Kryptographie für Vertraulichkeit und Authentizität.

- Schicht 7 (Anwendungsschicht):
  Die Anwendungsschicht führt alle systemunabhängigen Aufgaben aus. Beispiele hierfür sind z.B. Web-Browser, FTP-Clients, E-Mail und auch die Datenübertragung mit einem anderen Computer, der irgendwo an dieses Kommunikationssystem angeschlossen ist.

Zugriffsverfahren

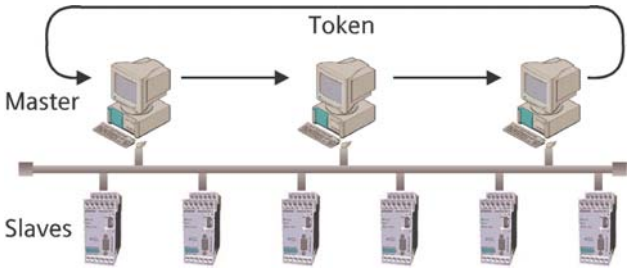
Durch die Vernetzung befinden sich topologieabhängig unterschiedlich viele Teilnehmer an einem Medium. Zur Sicherstellung einer effektiven Kommunikation auf diesem Medium ist es notwendig über Methoden Rederechte zu vergeben. Grundsätzlich lassen sich die Zugriffsverfahren in zwei Kategorien unterteilen, in eine Master-/Slave Kommunikation und in die Steuerung durch CSMA (Carrier Sense with Multiple Access).

Master-Slave-Zugriffsverfahren

Das Master-Slave-Zugriffsverfahren lässt sich vergleichen mit einer Diskussion, gesteuert durch einen Diskussionsleiter, der das Mikrofon (und damit das Sprachrecht) vergibt. Der Diskussionsleiter ist dabei technisch gesehen der Master dieses Bussystems. Slaves können nur nach Aufforderung sprechen (senden), hören (empfangen) können sie aber jederzeit. Somit ist gewährleistet, dass immer nur ein Teilnehmer auf

dem Bus aktiv ist. Dieses Verfahren wird meist in Feldbussystemen eingesetzt, denn dort sind die Netze bezüglich ihrer Adressierung abgeschlossen und der Vorteil des Determinismus (Vorhersagbarkeit der Kommunikation mit einem Partner) wird hier ausdrücklich gewünscht.

Als Erweiterung kann das Multi-Master-System verstanden werden. Gegenüber dem Master-/Slave Verfahren ändert sich hier, dass mehrere Master das Sprachrecht vergeben können, allerdings immer nur einer zur gleichen Zeit. Unter den Mastern wird das Vergaberecht des Sprechens (der Token) wie ein Staffelstab von einem Master zum nächsten geregelt. Jedem Master steht hierfür eine festgelegte Zeit zur Verfügung, danach muss er den Token an den nächsten Master weitergeben, bis der erste Master es vom letzten wieder zurück erhält. Innerhalb dieser festgelegten Zeit kann der Master das Sprachrecht dann an die Slaves weitergeben und so mit ihnen kommunizieren. Mit diesem Mechanismus wird verhindert, dass es zu Kommunikationskollisionen kommt, allerdings steht die Kommunikation, sollte der Master ausfallen.



Beim Multi-Master-System gibt der Master den Token nach einer festen Zeit weiter. Beim Single-Master Betrieb gibt sich der Master den Token immer wieder selbst.

CSMA/CD Protokoll

Das Zugriffsverfahren CSMA/CD wurde von der Universität von Hawaii unter dem Namen "Aloah" entwickelt. Ziel war es, eine Kommunikation zwischen gleichberechtigten Teilnehmern in einem Netz zu organisieren. Alle Teilnehmer greifen unabhängig voneinander auf das gemeinsame Übertragungsmedium zu, wie es bei einer offenen Diskussion der Fall wäre. Vor dem Senden einer Nachricht lauscht der jeweilige Teilnehmer und wartet ggf. bis das Medium frei ist (Carrier Sense Multiple Access) und beginnt danach zu senden. Gleichzeitig überwacht er, ob zur selben Zeit ein anderer Teilnehmer zu senden begonnen (Collision Detection) hat. Ist dies der Fall, erkennen sie dies, senden ein Jam-Signal und unterbrechen das Senden, was nach einer zufälligen Zeit erneut gestartet wird. Durch diese Kollisionen ist das zeitliche Verhalten des Systems unvorhersehbar und deshalb für Aufgaben in der Automatisierungstechnik ohne weitere Eingriffe nicht nutzbar, es ist nicht deterministisch. Der typischste Vertreter, der dieses Zugriffsverfahren verwendet ist Ethernet.

Zur Steigerung der Effektivität wurde das System als CSMA/CA verfeinert. Anstelle des Jam-Signals und der Unterbrechung der Nachrichtenübertragung sendet der Teilnehmer weiter, der eine höhere Priorität hat, die aufgrund der Adressvergabe definiert wurde. Der Teilnehmer mit der niedrigeren Priorität zieht sich zurück und die Kollision wird vermieden (Collision Avoidance). Dieses Verfahren wird z.B. beim KNX/EiB verwendet.

Kommunikationspyramide

Durch die unterschiedlichen Eigenschaften, die mit den Topologien einhergehen, ist jeder existierende Kommunikationsbus ein Kompromiss und für einen Aufgabenschwerpunkt optimiert. Unter anderem resultiert hieraus die Vielfalt an Bussystemen, die sich in den letzten Jahren jedoch auf einige Wichtige konsolidiert hat; spezialisierte Busse haben sich in Nischen ihre Existenz gesichert.
In einem Unternehmen finden so mehrere Bussysteme ihren Einsatz, denn die Kommunikation in der Feldebene (z.B. SPS mit Aktoren und Sensoren), die Kommunikation in der Zellebene (z.B. zwischen SPSen oder zu Bedien- und Beobachtsystemen) unterscheidet sich deutlich bezüglich ihren Ansprüchen von der Kommunikation in der Unternehmensleitebene (z.B. PC zu PC). Dieser hierarchische Aufbau wird Kommunikationspyramide genannt.

Bussysteme

Die Anforderungen an Kommunikationsbusse zur Datenübertragung sind je nach Einsatzebene in der Kommunikationspyramide deutlich unterschiedlich. So haben sich für die Aufgabenschwerpunkte der Feldebene, der Zellenebene und der Unternehmensleitebene einige Bussysteme als Quasi-Standard durchgesetzt. Diese sind zumeist offen, d.h. herstellerunabhängig und werden meist durch eine Nutzerorganisation gepflegt und weiterentwickelt.

AS-Interface

Auf der untersten Feldebene, die zum einfachen und schnellen Datenaustausch mit Sensoren und Aktoren dient, ist AS-Interface seit 1994 der Marktführer bei den bitorientierten Bussystemen. Als Alternative zum Kabelbaum verknüpft das AS-i die Komponenten der Feldebene durch eine Zweidrahtleitung. Die Installation läuft problemlos ab, weil Daten und Energie gemeinsam über ein Kabel transportiert werden. Dank der speziell entwickelten gelben Flachleitung und dem Anschluss in Durchdringungstechnik können die AS-i-Slaves an beliebigen Stellen in Schutzart IP65 angeschlossen werden. Um die Elektronik der

Busteilnehmer mit Energie zu versorgen, muss auf die Zweidrahtleitung mittels eines speziellen Netzteils Energie eingespeist werden.
Bei AS-Interface handelt es sich um ein Single-Master-System, an das in der V2.1 bzw. V3.0 bis zu 62 Slaves angeschlossen werden können. Grundsätzlich wurde das System zur Übertragung von Bits konzipiert; in einem Zyklus können 4 Bit zum Slave gesendet werden, der dann mit 4 Bit antwortet. Durch Weiterentwicklungen ist auch der Zugriff auf Analogwerte durch das "Fast-Analog-Profil" möglich, ebenso, als wären es Digitalwerte.

Die physikalische Ausdehnung ist zunächst auf 100 m begrenzt, kann aber durch den Einsatz von Repeatern um jeweils 100 m verlängert werden. In Reihe dürfen aber nur maximal zwei Repeater eingesetzt werden, da es sonst zu Problemen mit den Signallaufzeiten kommen könnte; die Parallelschaltung von Repeatern ist dagegen zulässig (Sternkonfiguration). Ein Extender ermöglicht es, einen Master vom restlichen Strang bis zu 100 m entfernt zu platzieren, die Slaves dürfen dabei nur auf der vom Master abgewandten Seite eingesetzt werden. Durch den Einsatz des AS-Interface Extension Plugs verdoppelt sich die nutzbare Leitungslänge eines Segments auf 200 m. Der Extension Plug wird an den am weitesten vom AS-Interface Netzteils entferntesten Anschlusspunkt angeschlossen.

AS-Interface Master sind sowohl in speicherprogrammierbaren Steuerungen zu finden als auch als Links/Gateways, die das AS-Interface direkt in ein übergelagertes Netzwerk (z.B. Profibus oder Profinet) integrieren.

Das AS-Interface hat sich als robustes, einfaches und flexibles Bussystem auf der untersten Aktor-Sensor-Ebene erwiesen.

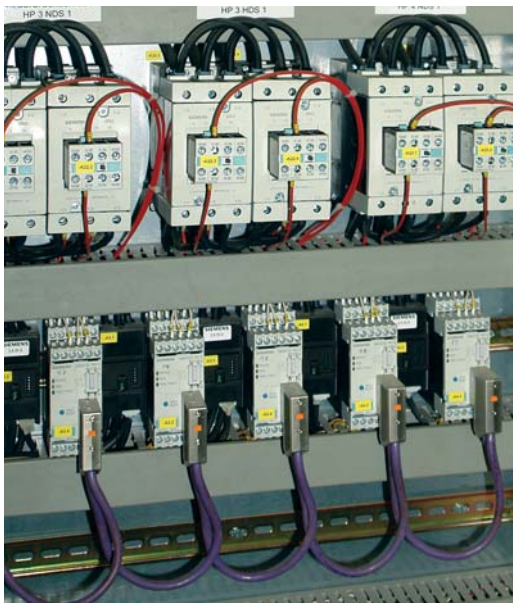
Profibus

Beim Profibus handelt es sich um ein herstellerunabhängiges System, bei dem sich eine von den Herstellern der Produkte gegründete Nutzerorganisation (PNO, Profibus-Nutzerorganisation) um die technische Weiterentwicklung sowie um die internationale Durchsetzung der Technologie kümmert. Mit über 14 Millionen installierten Geräten (Stand Okt. 2006) weltweit ist er einer der signifikantesten Treiber der vernetzten Produktionsautomatisierung.
Für die schnelle Kommunikation auf der Feldebene aber auch der überlagerten Zellenebene wurde der Profibus entwickelt. Ursprünglicher Ausgangspunkt war der Profibus-FMS, der eine Kommunikation zwischen den Zellenrechnern ermöglichte, allerdings wird FMS heutzutage so gut wie nicht mehr eingesetzt.

Mitte der 90er Jahre wurde der Profibus-DP für den universellen Datenaustausch unterhalb der Steuerungsebene auf der Aktor-/Sensorebene definiert, über den auch modulare Slaves und intelligente, prozessvorverarbeitende Feldgeräte betrieben werden können. Dabei kann zwischen einem Single-Master-System und einem Multi-Master-System gewählt werden. Einem so genannten Projektiermaster sind die Slaves zugeordnet, die in einem vorher festgelegten Rahmen zyklisch, d.h. regelmäßig, Daten austauschen; dies führt zu einem deterministischen Verhalten. Dieser Rahmen (Anzahl der Ein-/Ausgangsbytes) und auch viele andere Einstellwerte werden in einer dem Slave zugeordneten GSD-Datei beschrieben. Bei der Inbetriebnahme muss der Bus konfiguriert werden, dem Master werden über die GSD-Dateien die Verhaltensweisen der Slaves mitgeteilt. Um einen Teilnehmer für den Profibus-DP zu entwickeln und zu vermarkten, muss dieser in einem Profibus

Baudrate (kBit/s)	*Gesamtlänge aller Segmente in m*
9,6 - 187,5	10,000
500	4,000
1.500	2,000
12.000	1,000

Die Tabelle zeigt die Abhängigkeit der Baudrate von der Gesamtausdehnung eines Profibus mit RS485 Busphysik.



Zertifizierungslabor untersucht werden; dazu gehört auch das Abnehmen und die Funktionsprüfung dieser GSD-Datei. Durch diesen Mechanismus wird die Interoperabilität der Profibus-DP-Geräte untereinander und auch unter den verschiedenen Herstellern sichergestellt, was sicherlich als einer der Eckpfeiler für die Erfolgsgeschichte des Profibus angesehen werden kann.

Im Laufe der Zeit wurden Funktionslücken durch Weiterentwicklungen geschlossen. So wurde durch die Einführung der Profibus-DPV1-Erweiterungen zusätzlich zum zyklischen ein azyklischer Kanal definiert, über den Datensätze mit bis zu 240 Byte ereignisgesteuert von einem Master abgerufen werden können. Eingesetzt werden diese Datensätze vor allem für die Parametrierung, Bedienung und Diagnose von intelligenten Feldgeräten parallel zum zyklischen Nutzdatenverkehr. Ergänzt werden die DPV1-Funktionen durch Failsafe (PROFIsafe) und Alarmbehandlung. Die wichtigsten Funktionen bei den optionalen DPV2-Erweiterungen sind Datenquerverkehr von Slave zu Slave, Äquidistanz durch einen isochronen Modus der vor allem für die Antriebstechnik besonders wichtig ist, Uhrzeitsynchronisation und Zeitstempelung sowie die Möglichkeit, Firmware up- und downzuloaden.

In den meisten Anwendungen kommt der Profibus-DP als Zweidrahtleitung in RS485-Technik zum Einsatz, welche über spezielle Stecker an die Teilnehmer angeschlossen werden. Die Stecker beinhalten einen Widerstand, der beim letzten Teilnehmer eingelegt wird um die Linie abzuschließen und Reflektionen am Leitungsende zu verhindern. Darüber hinaus ist der Stecker so konzipiert, dass beim Abziehen vom Teilnehmer die Linie dort nicht aufgetrennt und zum nächsten Teilnehmer weitergeführt wird. Die Zweidrahtleitung ist mit einem Schirm versehen und mit einer lila Ummantelung umgeben. Die Baudrate beeinflusst die Geschwindigkeit der Datenübertragung und kann von 9,6 kBit/s bis hin zu 12 MBit/s eingestellt werden; die typischsten Raten sind 500 kBit/s und 1,5 MBit/s. Geschwindigkeit ist aber nicht alles, denn bei höheren Übertragungsraten sind kleinere Segmente zu berücksichtigen.

Jeder am Bus angeschlossene Teilnehmer - egal ob Master oder Slave - stellt eine Stromlast dar. Das ist der Grund, weshalb an einem Profibus-Segment nicht mehr als 32 Teilnehmer angeschlossen werden sollten, obwohl datentechnisch bis zu 125 Teilnehmer in der gesamten Linie möglich sind. Ein Repeater verbindet die einzelnen Bussegmente untereinander und frischt die Signale auf dem Profibus-Kabel auf. Topologisch gesehen ist der Aufbau des Profibus-DP eine Linie, Stichleitungen sind nicht zulässig. Durch den Einsatz von Lichtwellenleiter lässt sich eine deutliche Erhöhung der Gesamtlänge erzielen.

Profibus-PA dagegen ist speziell für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen konzipiert worden, ein erweitertes Profibus-DP Protokoll für die Datenübertragung kommt zum Einsatz.
Der Profibus-DP wird über Masterschnittstellen in SPSen und über direkte Gateways/Links zu Ethernet und auch Profinet in übergelagerte Systeme integriert.

Ethernet

Ethernet wurde ab 1972 am Palo Alto Research Center entwickelt und war zunächst ein firmenspezifisches und nicht standardisiertes Produkt. Die Standardisierung erfolgte in mehreren Schritten in denen vor allem Medien, Zugriffsverfahren und die Übertragungsraten festgelegt und später wieder erweitert wurden.
Ethernet wie wir es heute kennen ist eine weit verbreitete, hersteller-neutrale Technologie, um vor allem PCs mit Geschwindigkeiten von 10 MBit/s, 100 MBit/s, 1 GBit/s und neuerdings auch 10 GBit/s miteinander zu vernetzen.

Grundsätzlich ist die Struktur von Ethernet ein Bus, auch wenn er physisch nicht als Bus implementiert ist. Als Zugriffsverfahren wird CSMA/CD verwendet, so dass Daten vom Sender zum Empfänger von allen mitgehört werden können und der Zugriff auf das Übertragungsmedium zufällig passiert. Dadurch kommt es immer wieder zu Kollisionen, deren Anzahl abhängig von der Anzahl der Stationen in einer Kollisionsdomäne, begrenzt durch die maximale Signallaufzeit eines Datenpakets (z.B. bei 100 MBit/s sind das 412 m) ist. Die Adressierung erfolgt mit Hilfe der MAC-Adresse, die für jeden Ethernet-Teilnehmer eindeutig ist und schon vom Hersteller bei der Produktion vergeben wurde.

Zum Aufbau eines größeren Netzwerkes werden zusätzliche Netzwerkmanagementgeräte benötigt. Repeater koppeln so separate Segmente zu einem Netzwerk zusammen und Hubs (Repeater mit

Für die Verwendung in industrieller Umgebung wurden die RJ45-Stecker speziell überarbeitet.

mehreren Anschlüssen, den so genannten Ports) ermöglichen auch eine sternförmige Topologie. Repeater/Hubs arbeiten dabei auf Schicht 1 und leiten deshalb Signale 1:1 weiter.
Ein Switch dagegen arbeitet auf Schicht 2, er lernt durch die Telegramme die an den einzelnen Ports angeschlossenen MAC-Adressen selbsttätig und speichert diese Informationen ab. Mit Hilfe dieser Information kann er Telegramme dann zielgerichtet an den richtigen Anschluss weiterleiten, ohne dass die unbeteiligten Netzwerksegmente davon etwas mitbekommen. So wird die Anzahl der Kollisionen deutlich reduziert.

Ein mit Switches aufgebautes Ethernet-Netzwerk wird auch als Switched LAN bezeichnet, während ein Netzwerk aus Repeatern und Hubs als Shared LAN klassifiziert wird.
Ergänzend seien hier noch Router erwähnt, die auf Schicht 4 arbeiten und große Netzwerke aus vielen zusammen geschalteten kleineren Teilnetzwerken miteinander verbinden.
Ihre Aufgabe ist es, die Daten auf dem günstigsten Weg vom Sender zum Empfänger zu leiten (routen).
Inkompatible Netze können nur dann miteinander verbunden werden, wenn die Daten der völlig unterschiedlichen Netzwerktypen auf der Anwendungsschicht übergeben werden, dazu müssen alle Schichten des ISO/OSI Modells durchlaufen werden. Solche Geräte werden als Gateways bezeichnet, siehe z.B. ein DP/AS-i Link.

Ethernet bezeichnet aber nur die ersten zwei Schichten im ISO/OSI Schichtenmodell und stellt lediglich die Basis für verschiedene Übertragungsprotokolle dar.
Eines der meistgenutzten ist TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) und bildet damit die Grundlage für das weltumspannende Internet mit Diensten wie www, E-Mail, FTP, Webserver etc.

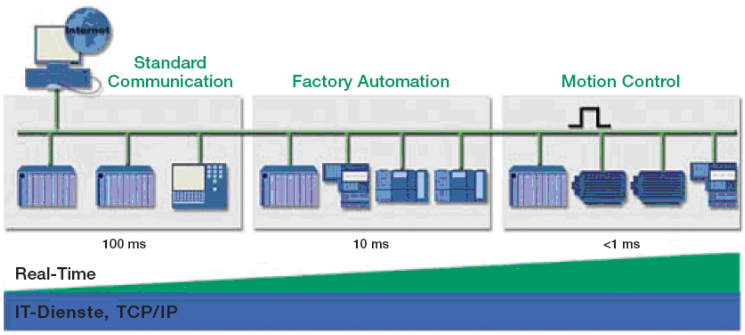
Physikalisch ist das gebräuchlichste Medium ein geschirmtes Twisted Pair mit RJ45 Steckern. Für die Verwendung in industrieller Umgebung wurden diese speziell überarbeitet, z.B. in Bezug auf EMV, Kabelführung, industriegerechte Steckverbinder und veränderte Umgebungsbedingungen.
Wie auch bei Profibus ist eine Übertragung mit Hilfe von LWL (Lichtwellenleiter) möglich. Zusätzlich hat sich die kabellose Übertragungstechnik WLAN etabliert.

Profinet

Profinet basiert auf Industrial Ethernet und verbindet die Standard-Bürokommunikation (LAN) mit der anspruchsvollen Fabrikautomation, die bisher mit speziellen Feldbussystemen abgedeckt wurde. Zwei Versionen von Profinet (CBA und IO) sind in der IEC 61158 und IEC 61784 genormt und werden durch Profibus International und den Interbus Club unterstützt.

Bei Profinet CBA (Component Based Automation) handelt es sich um eine Sichtweise auf eine Automatisierungsanlage, in der die mechanischen, elektrischen und datentechnischen Größen einer autonom arbeitenden Anlage zu einer Komponente mit Eingangs- und Ausgangsgrößen zusammengefasst werden. Diese Komponenten werden durch übliche Programmierwerkzeuge erstellt und durch Engineeringsysteme zu einem Gesamtsystem projektiert. Der Vorteil der Komponentisierung erschließt dich durch ein vereinfachtes Engineering, autonomes Testen und Inbetriebnehmen von Teilprozessen sowie der Wiederverwendung der erstellten Komponenten in gleicher oder leicht modifizierter Weise. Das generierte Kommunikationssystem unterstützt die zyklische und azyklische Profinet-Kommunikation und ist gut geeignet für die Datenübertragung zwischen Controllern. Profinet IO ist die konsequente Umsetzung des Profibus-Know-hows bezüglich der Integration von dezentralen Feldgeräten auf Basis von Ethernet. Zur Kommunikation sind folgende Geräte definiert worden:

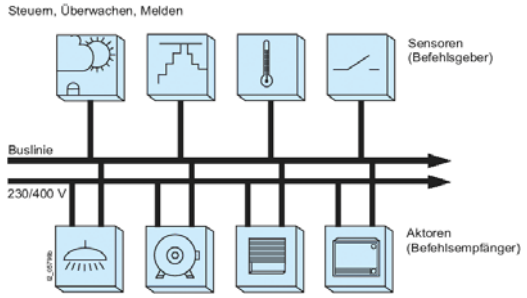
- Ein IO-Controller ist typischerweise eine SPS. Verglichen mit dem Profibus wäre dies ein Master Klasse 1 (Projektiermaster)
- IO-Supervisor ist eine Engineeringstation, z.B. ein PG, ein PC oder ein HMI-Gerät (beim Profibus wäre dies ein Master Klasse 2) für Inbetriebnahme, Diagnose, Bedienen und Beobachten
- IO-Devices sind Feldgeräte, die eine zyklische Kommunikation mit einem IO-Controller halten. Ein IO-Device wäre verglichen mit dem Profibus ein Slave und besteht datentechnisch aus Modulen mit Submodulen (Slotmodell)



Profinet ermöglicht sowohl Bürokommunikation über TCP/IP als auch die Echtzeitfähigkeit für Motion Control.

Für den Einsatz der Ethernet-Technologie in der Feldebene unterstützt Profinet IO einen effizienten Austausch kleinerer Datenmengen, kann durch spezielle ASICs mit integrierter Switch-Funktionalität wie ein Feldbus in einer Linientopologie aufgebaut werden, Prozesse können durch eine Uhrzeitsynchronisation zeitgleich angestoßen werden und bietet darüber hinaus zusätzlich eine echtzeitfähige Kommunikation.
Echtzeit bedeutet dabei, dass das System ein deterministisches Verhalten zeigt und eine Reaktionszeit kleinergleich 5 ms für Standardanwendungen aufweist.
Wichtig für die Akzeptanz von Profinet ist die Migrierbarkeit des bestehenden Ethernet-Standards in das Echtzeit-Ethernet. Dabei werden Standard-Daten über die normalen Ethernet-Mechanismen (hier UDP/IP) übertragen. Beispiele hierfür sind die Geräteparametrierung, Diagnosen und allgemein der azyklische Datenaustausch. Die Real Time (RT)-Daten können in drei Klassen eingeteilt werden.
In der Klasse 1 werden alle zyklischen Daten zwischen Controllern und Devices übertragen, spezielle Switches sind hier nicht notwendig.
Die Real Time- Klasse 2 ist für die zyklische Datenübertragung und für Alarme geeignet; dabei ist aber schon der Einsatz spezieller Switches unumgänglich. Für Anwendungen, die IRT (Isochrone Real Time, Klasse 3) voraussetzen, z.B. für die taktsynchrone Steuerung in der Motion Control, werden ebenfalls spezielle Switches benötigt.
Für die Real Time-Klassen 2 und 3 ist es notwendig, das Ethernet zu segmentieren und durch den Einsatz von speziellen Netzwerkkomponenten (Router, Switches) die störenden externen Transportpakete von dem Echtzeitnetzwerk fernzuhalten.

KNX (Konnex)
Höhere Anforderungen an Flexibilität und Komfort in der Elektroinstallation, verbunden mit dem Wunsch nach Minimierung des Energiebedarfs haben zur Entwicklung der Gebäudesystemtechnik geführt. Der darin verwendeten Bustechnik liegt eine herstellerneutrale, international genormte Technologie zugrunde.



Der Aufbau einer KNX Linie zeigt die Sensoren und Aktoren.

KNX ist das universelle Bussystem für die gesamte Haus- und Gebäudesystemtechnik, das durch die Konnex Association aus EIB (European Installation Bus), dem EHS (European Home Systems) und dem BatiBus auf Basis des EIB entwickelt wurde. Als das erfolgreichste und etablierteste System auf dem Markt bleibt EIB der zentrale und beständige Systemkern des KNX-Standards.

Der Wunsch nach größerem Komfort und mehr technischen Möglichkeiten erfordert immer mehr Aufwand an die Elektroinstallation. Die herkömmliche Elektroinstallation stößt hier an ihre Grenzen. KNX EIB ist ein dezentrales, ereignisgesteuertes Bussystem mit serieller Datenübertragung zum Steuern, Überwachen und Melden betriebstechnischer Funktionen. Über einen gemeinsamen Übertragungsweg, dem Bus, können alle angeschlossenen Busteilnehmern Informationen austauschen. Als Zugriffsverfahren wird hierfür CSMA/CA verwendet.
Außer dem Einsparen von Leitungen resultieren daraus weitere Vorteile: Die Installation in einem Gebäude lässt sich wesentlich einfacher realisieren, später problemlos erweitern und modifizieren. Bei Nutzungsänderungen oder Änderung der Raumaufteilung erfolgt eine schnelle und problemlose Anpassung durch einfache Neuzuordnung (Umparametrierung) der Busteilnehmer, ohne dass die Leitungen neu verlegt werden müssen.

Zu unterscheiden ist zwischen Sensoren und den Aktoren. An der kleinsten Einheit des KNX EIB-Systems, einer Linie, können bis zu 64 busfähige Geräte (Teilnehmer) angeschlossen und betrieben werden. Mit Linienkopplern, die an die so genannte Hauptlinie angeschlossen werden, können bis zu 15 Linien zu einem Bereich zusammengebunden werden. 15 Bereiche werden über Bereichskoppler zu einer Bereichslinie zusammengeschlossen, die dann über Links in überlagerte Systeme (z.B. Ethernet) integriert werden können. Neben dem Übertragungsmedium Twisted Pair sind auch Powerline, Wireless und Infrarot in KNX mit einbezogen.

Softwaretools

Moderne Niederspannungs-Schaltgeräte basieren zusehends auf Software und auch die Auslegung von antriebstechnischen Lösungen erhält vielfach Unterstützung durch geeignete Softwaretools. Entscheidend ist, damit Planungs- und Betriebssicherheit zu schaffen und gleichzeitig den Projektierungs-, Programmier- und Parametrieraufwand zu reduzieren.

Software für die Energieverteilung

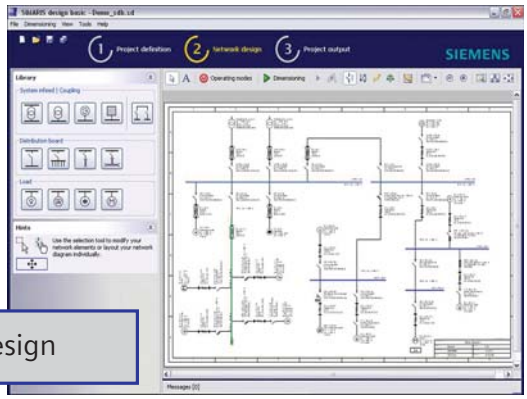
Simaris design

Die Dimensionierungssoftware Simaris design bietet ein umfassendes Spektrum an Funktionalitäten, die die Dimensionierung der elektrischen Energieverteilung in Zweck- und Industriebauten vereinfachen. Dies gilt von der Mittelspannung bis zur Steckdose.

Weitere INFOS

Mit der Dimensionierungssoftware Simaris design lassen sich elektrische Energieverteilungen komfortabel projektieren.

http://www.siemens.de/simarisdesign



Schon im Planungszeitraum kann der Gesamtstromkreis auf Basis realer Produkte dimensioniert werden. Dadurch werden Mehrkosten infolge nicht abgestimmter Systeme in der Realisierungsphase vermieden. Die Auswahl der jeweils passenden Komponenten und Verteilersysteme erfolgt automatisch anhand der in Simaris design hinterlegten Produktdaten.
Jede Projektierung der elektrischen Energieverteilung ist im Planungs-, aber auch im Realisierungszeitraum häufigen Veränderungen und Anpassungen unterworfen. Simaris design passt jede Veränderung in das Versorgungskonzept ein und überprüft automatisch ihre Zulässigkeit hinsichtlich derzeit geltender Vorschriften und Bestimmungen. Auch eine Selektivitätsbetrachtung, zum Beispiel für Anlagen der Sicherheitsstromversorgung, kann mit Simaris design einfach durchgeführt werden. All diese Schritte werden bei Simaris design präzise dokumentiert.

Für eine einfache Handhabung elektrischer Energieverteilungen bietet Simaris design leichte Übernahmemöglichkeiten der Daten für die Projektierung, Stücklisten der notwendigen Betriebsmittel, einpolige Übersichtspläne sowie Textbausteine für die Erstellung von Ausschreibungen. Die Software überprüft die Eingaben und zeigt deren Korrektheit an.

Hinweis:

In Simaris design erfolgt automatisch eine umfassende Dokumentation der gesamten Netzdimensionierung.
Aufgrund des hohen Qualitätsstandards wurde Simaris design vom TÜV Berlin zertifiziert.

Die Vorteile von Simaris design auf einen Blick:

- Reduzierung von Routinearbeiten
- Dimensionierung auf Basis realer Produkte nach anerkannten technischen Regeln und Normen
- hinterlegte Produktdatenbank
- Detailkenntnisse über Produkte und Systeme nicht notwendig
- leichte Durchführung von Änderungen im Planungs- und Realisierungsprozess
- klare Darstellung von Änderungen mit Angabe der Änderungsdaten
- detaillierte Stücklisten mit genauer Produktbeschreibung
- leichte Anpassung an Nutzungsänderungen oder Erweiterung
- umfassende Dokumentation mit einfacher Datenübernahme (Office, CAD etc.)

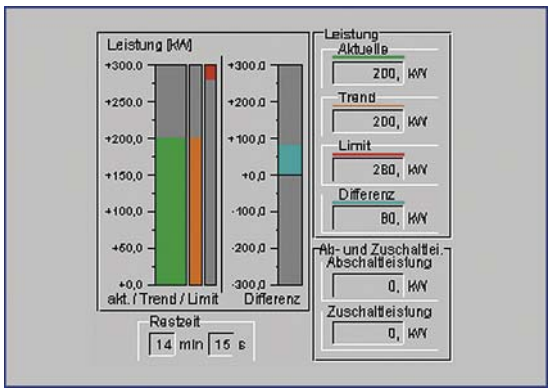
Simatic PCS 7 powerrate

Simatic PCS 7 powerrate sorgt als Add-On zu PCS 7 für Transparenz im Energieverbrauch von der Einspeisung bis zum Verbraucher. Energiedaten werden kontinuierlich erfasst, archiviert und weiterverarbeitet. Die genaue Kenntnis des Verbrauchsprofils ermöglicht das Aufspüren von Einsparpotentialen, einen effizienten Energiebezug und damit eine Senkung der Energiekosten. Die Überwachung des vertraglich vereinbarten Leistungslimits hilft zum einen unnötig hohe Leistungspreise bzw. Strafen zu vermeiden und zum anderen auch, das festgelegte Leistungslimit auszunutzen.
Durch die volle Integration in PCS 7 können Standard-Schnittstellen, z.B. zu Simatic IT oder Standardfunktionalitäten von PCS 7 problemlos genutzt werden. Vordefinierte Bausteine und Symbole geben die Sicherheit, auf getestete und zertifizierte Produktkomponenten aufzusetzen, Schnittstellen ermöglichen hierbei eine kundenspezifische Erweiterbarkeit.

Durch die volle Integration von Simatic PCS 7 powerrate in PCS 7 wird keine gesonderte Systemumgebung benötigt.

Simatic PCS 7 powerrate besteht aus folgenden Komponenten:

- Bausteine zur Energiedatenerfassung und Aufbereitung
- Faceplates zur Darstellung und Bearbeitung der Energiedaten
- Excel-Makro zur Zuordnung der Energiedaten auf Kostenstellen
- Bausteine zur Realisierung des Lastmanagements (Berechnung des Trends, Überwachung des Limits, Freigabe/Sperrung von Verbrauchern)
- Faceplates zur Darstellung der Ergebnisse und zur Projektierung des Lastmanagements
- Excel-Makro zur Ermittlung der Dauerlinie als Entscheidungsgrundlage für das Lastmanagement.



Die Software ermöglicht auch die übersichtliche Darstellung des Lastmanagements.

Die Vorteile von PCS 7 powerrate auf einen Blick:

- Identifizierung energieintensiver Verbrauchsgeräte und Prozesse um Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz abzuleiten
- Vergleich von Verbrauchsprofilen mit dem Ziel der effizienten Prozessgestaltung
- Optimieren des Unternehmens nach energietechnischen Parametern auf Basis einer Bewertung von Verbrauch und Kosten
- Einhaltung des vertraglich vereinbarten Leistungslimits und damit Vermeidung von höheren Energiebezugskosten bzw. Strafzahlungen.

Simatic WinCC powerrate

Simatic WinCC powerrate sorgt als Add-On zu WinCC für Transparenz im Energieverbrauch von der Einspeisung bis zum Verbraucher. Energiedaten werden kontinuierlich erfasst, archiviert und weiterverarbeitet. Die genaue Kenntnis des Verbrauchsprofils ermöglicht das Aufspüren von Einsparpotentialen, einen effizienten Energiebezug und damit eine Senkung der Energiekosten. Die Überwachung des vertraglich vereinbarten Leistungslimits hilft zum einen unnötig hohe Leistungspreise bzw. Strafen zu vermeiden und zum anderen auch, das festgelegte Leistungslimit auszunutzen.
Durch die volle Integration in WinCC können Standard-Schnittstellen bzw. Standardfunktionalitäten von WinCC problemlos genutzt werden.
Simatic WinCC powerrate besteht aus folgenden Komponenten:

- Bausteine zur Energiedatenerfassung und Aufbereitung
- Faceplates zur Darstellung und Bearbeitung der Energiedaten
- Excel-Makro zur Zuordnung der Energiedaten auf Kostenstellen
- Bausteine zur Realisierung des Lastmanagements (Berechnung des Trends, Überwachung des Limits, Freigabe/Sperrung von Verbrauchern)
- Faceplates zur Darstellung der Ergebnisse und zur Projektierung des Lastmanagements
- Excel-Makro zur Ermittlung der Dauerlinie als Entscheidungsgrundlage für das Lastmanagement.

Durch die volle Integration in WinCC können Standard-Schnittstellen bzw. Standardfunktionalitäten von WinCC problemlos genutzt werden.

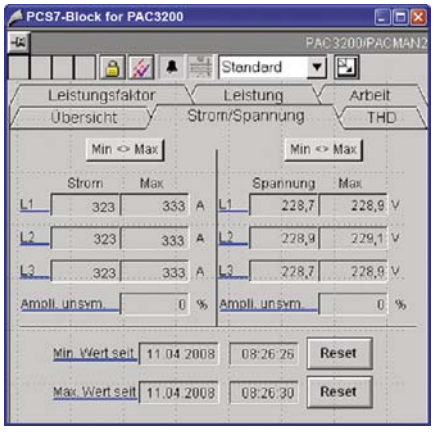
Die Vorteile von Simatic WinCC powerrate

- Identifizierung energieintensiver Verbrauchsgeräte und Prozesse um Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz abzuleiten
- Vergleich von Verbrauchsprofilen mit dem Ziel der effizienten Prozessgestaltung
- Optimieren des Unternehmens nach energietechnischen Parametern auf Basis einer Bewertung von Verbrauch und Kosten
- Einhaltung des vertraglich vereinbarten Leistungslimits und damit Vermeidung von höheren Energiebezugskosten bzw. Strafzahlungen.

Simatic PCS 7 Library PAC3200

Die PCS 7 Bausteinbibliothek Simatic PCS 7 Library PAC3200 für das Multifunktionsmessgerät Sentron PAC3200 ermöglicht eine nahtlose Integration des Multifunktionsmessgerätes in die PCS 7 Prozesswelt. Sie besteht aus einem Treiberbaustein, einem Diagnosebaustein und den Faceplates. Die Bausteine in der Simatic S7 versorgen die Faceplates in der Bedienoberfläche des Prozessleitsystems mit Energiedaten, generieren Meldungen und gewährleisten die Anbindung an das Maintenance-System von PCS 7.

Faceplates:
Faceplates dienen als Anwenderschnittstelle für Bedienen & Beobachten und ermöglichen das Anzeigen und Bedienen technologisch wichtiger Werte und Funktionen des Sentron PAC3200 als PCS 7 Objekt. Sowohl zwischen den Faceplates und den Bausteinen als auch zwischen den Bausteinen und dem Sentron PAC3200 bestehen systemseitig bidirektionale Kommunikationsverbindungen, die die Anzeige von Werten in den Faceplates und die Weitergabe von Eingaben an das Gerät unterstützen. Dadurch wird das Power Monitoring Device Sentron PAC3200 ein integraler Bestandteil von PCS 7.



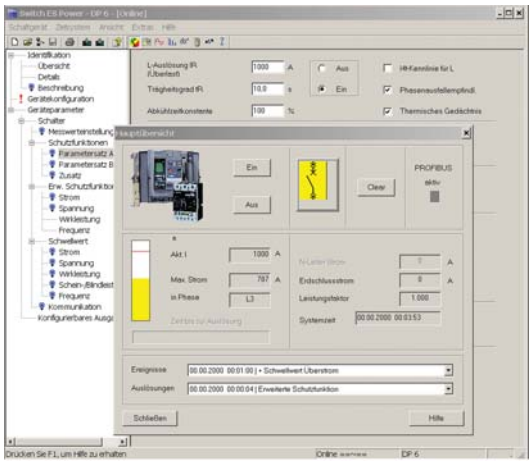
Für das Multifunktionsmessgerät Sentron PAC3200 gibt es eine Bausteinbibliothek, die die Integration in Simatic PCS 7 vereinfacht.

Die Vorteile von Simatic PCS 7 Library PAC3200:

- Vollintegration des Sentron PAC3200 in das PCS 7 Prozessleitsystem über PROFIBUS DPV1 mit zertifiziertem PCS 7 AddOn Modul
- Auslesen und Anzeigen von Gerätedaten
- Eingabe von Grenzwerten zur Überwachung durch den Treiberbaustein
- Rücksetzen von Werten am Gerät (Min/Max-Werte)

Switch ES Power

Switch ES Power ist die gemeinsame Softwareplattform für kommunikationsfähige Sentron Leistungsschalter. Dies hat den Vorteil, dass alle gerätespezifischen Einstellmöglichkeiten in Aussehen und Bedienung identisch sind. Mit Switch ES Power können die Leistungsschalter Sentron 3WL und Sentron 3VL über den Profibus DP parametriert, dokumentiert, bedient und beobachtet werden.



Mithilfe der Software Switch ES Power lassen sich Leistungsschalter Sentron 3WL und 3VL komfortabel parametrieren, bedienen und diagnostizieren.

Switch ES Power kann entweder als Stand-alone-Programm betrieben werden oder über einen Objektmanager in STEP7 ab V5.1 SP3 integriert werden. Durch Switch ES Power wird sowohl bei der Inbetriebnahme als auch im laufenden Betrieb eine Menge an Zeit eingespart. Alle Parameter werden im Klartext angezeigt und eingestellt. Zu jedem Parameter sind umfangreiche Beschreibungen in der Onlinehilfe verfügbar. Fehler werden somit schon im Vorfeld vermieden. Falscheingaben werden unterbunden.

Die Vorteile von Switch ES Power:

- Parametrieren, Dokumentieren, Bedienen und Beobachten in einer Software
- Dokumentieren von Messwerten und Einstellungen
- übersichtliche Darstellung aller verfügbaren Parameter
- Anzeige aller verfügbaren Statusinformationen und Messwerte in übersichtlichen Dialogfenstern
- eine Software für Sentron 3WL und Sentron 3VL
- einfacher Verbindungsaufbau durch azyklischen Profibus DP-V1 Datenverkehr
- identisches Speicherformat der Parameter mit dem Breaker Data Adapter (BDA)
- Windows-Oberfläche ist leicht zu bedienen
- zum Betrieb sind keine Programmierkenntnisse notwendig

Software für die Automatisierung: Sirius ES

Die Programme der Softwarefamilie Sirius ES ermöglichen:
- eine übersichtliche Einstellung der Gerätefunktionen und deren Parameter – on- und offline
- effiziente Diagnosefunktionen und Darstellung der wichtigsten Messwerte
- Zeitersparnis durch kürzere Inbetriebnahmezeiten.

Viele Funktionen sind einheitlich in den einzelnen Sirius ES-Programmen verfügbar.
- Normkonforme Ausdrucke:
  Die Programme der Softwarefamilie Sirius ES erleichtern die Maschinendokumentation deutlich. Sie ermöglichen den Ausdruck der Parametrierung gemäß DIN EN ISO 7200. Die zu druckenden Elemente lassen sich einfach auswählen und je nach Bedarf zusammenstellen.
- Einfache Erstellung von Vorlagen:
  Für Geräte bzw. Applikationen, deren Parameter sich nur minimal unterscheiden, können Vorlagen (Typicals) erstellt werden. Diese Vorlagen enthalten alle Parameter, die für die Parametrierung notwendig sind. Zusätzlich kann noch festgelegt werden, welche dieser Parameter fest vorbelegt sind und welche beispielsweise durch den Inbetriebsetzer noch angepasst werden können.
- Gruppenfunktion:
  Für die bequeme Parametrierung vieler Geräte oder Applikationen gleichen Typs bieten die Programme der Softwarefamilie Sirius ES eine Gruppenfunktion, die das Auslesen bzw. Schreiben der Parametrierung mehrerer Geräte über Profibus möglich macht. In Verbindung mit Vorlagen ist dabei sogar eine gezielte Anpassung derselben Parameter in beliebig vielen Parametrierungen möglich.
- Teleservice via MPI:
  Die Premium-Varianten der Sirius ES-Softwarefamilie unterstützen den Einsatz des MPI-Teleservice (bestehend aus der Software Teleservice und unterschiedlichen Teleservice-Adaptern) zur Ferndiagnose der Geräte. Das erleichtert Diagnose und Wartung und verkürzt die Reaktionszeit im Servicefall.

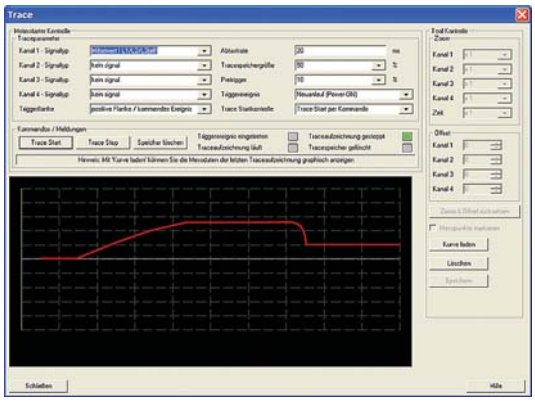
TIPP:

Die Sirius ES-Programme, wie z. B. Motor Starter ES, Soft Starter ES und Simocode ES sind in drei Varianten erhältlich, die sich in Bedienkomfort, Funktionalitätsumfang sowie im Preis unterscheiden. Sie sind kompatibel zu allen PCs und PGs unter Windows 2000/XP Professional sowie Vista Business32/Ultimate32.

Übersicht über den Funktionsumfang der Sirius ES Programmvarianten			
Sirius ES	Basic	Standard	Premium
Lokale Schnittstelle am Gerät (Systemschnittstelle)	●	●	●
Grundfunktionen für das Parametrieren der Geräte			
• Parametrieren	●	●	●
• Bedienen	●	●	●
• Diagnose	●	●	●
• Test	●	●	●
Standard-Funktionalität			
• Parametrieren über integrierten Grafikeditor (Abhängig vom Sirius ES-Programm)	–	●	●
• Erstellen von Vorlagen (Typicals)	–	●	●
• Export von Parametern	–	●	●
Profibus-Schnittstelle	–	–	●
Vollständige Funktionalität			
• Gruppenfunktion	–	–	●
• S7-Routing	–	–	●
• Teleservice via MPI	–	–	●
• STEP7-Objektmanager	–	–	●

Sirius Soft Starter ES

Mit der Software Soft Starter ES können Sirius Sanftstarter 3RW44 High Feature auf einfache Weise parametriert, überwacht und im Servicefall aussagekräftig diagnostiziert werden. Die Geräteparameter lassen sich direkt am PC einstellen und über ein serielles Kabel bzw. eine optionale Profibus-Anbindung in den Sanftstarter transferieren. Das Softwareprogramm Soft Starter ES ist in drei Varianten erhältlich, die sich in Bedienkomfort, Funktionalitätsumfang sowie im Preis unterscheiden.



Die Software Soft Starter ES eignet sich hervorragend zum parametrieren, überwachen und diagnostizieren von High-Feature-Sanftstartern.

TIPP:

Die Software Soft Starter ES ist kompatibel zu allen PCs und PGs unter Windows 2000/XP Professional sowie Vista Business32/Ultimate32.

Funktionsumfang Soft Starter ES			
	Basic	Standard	Premium
Zugriff über lokale Schnittstelle am Gerät	●	●	●
Parametrieren	●	●	●
Bedienen	●	●	●
Diagnose	●	●	●
Erstellen von Vorlagen (Typicals)	–	● 1)	●
Export von Parametern	–	●	●
Vergleichsfunktionen	–	●	●
Normkonformer Ausdruck nach DIN EN ISO 7200	–	●	●
Servicedaten (Schleppzeiger, Statistitkdaten)	–	●	●
Zugriff über Profibus	–	–	●
Gruppenfunktion	–	–	●
S7-Routing	–	–	●
Teleservice via MPI	–	–	●
STEP7-Objektmanager	–	–	●

1) Vorlagen ab Service Pack 1

Die Vorteile von Soft Starter ES auf einen Blick:

- Übersichtliche Einstellung der Gerätefunktionen und deren Parameter – on- und offline
- Effektive Diagnosefunktionen am Sanftstarter und Darstellung der wichtigsten Messwerte
- Tracefunktion (Oszilloskopfunktion), um Messwerte und Ereignisse aufzuzeichnen (in den Softwarevarianten Soft Starter ES Standard und Premium).
- Hohe Benutzerfreundlichkeit; komfortable Oberfläche, Deutsch und Englisch als mögliche Bediensprachen

Sirius Motor Starter ES

Motor Starter ES ist die zentrale Software für Inbetriebnahme, Betrieb und Diagnose der Sirius Motorstarter. Die Software unterstützt die High-Feature-Motorstarter der Gerätefamilien Simatic ET 200S, ET 200pro und Ecofast. Dabei werden drei Varianten angeboten:

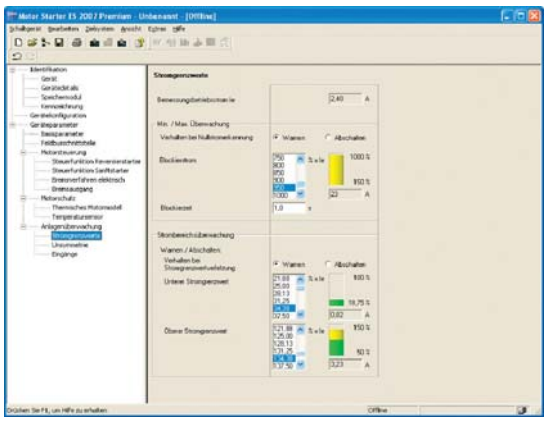
- Motor Starter ES 2007 Premium für die Verbindung zu einem oder mehreren Motorstartern über den Profibus DP oder Profinet oder direkt am Gerät über die Systemschnittstelle.

- Motor Starter ES 2007 Standard für die direkte Verbindung zu den Motorstartern über die Systemschnittstelle am Gerät, zum parametrieren und diagnostizieren.
- Motor Starter ES 2007 Basic für die direkte Verbindung zu den Motorstartern über die Systemschnittstelle am Gerät

Der Zugriff erfolgt entweder über die serielle Geräteschnittstelle (gilt für ET 200S/ET 200pro/ECOFAST) oder aber bei Profibus DP-V1-fähigen Motorstartern über eine beliebige Stelle im Profibus (ET 200pro/Ecofast).

TIPP:

Motor Starter ES kann entweder als Stand-alone-Programm betrieben oder aber über einen Objektmanager in STEP 7 ab V5.1 SP3 integriert werden.



Die Software Motorstarter ES gibt es in drei unterschiedlichen Varianten. Sie unterstützt die Motorstarter der Gerätefamilien Simatic ET 200S, ET 200pro und Ecofast.

Durch die Anzeige aller Betriebs-, Service- und Diagnosedaten liefert Motor Starter ES 2007 Premium aussagekräftige Informationen, hilft dadurch Störungen zu vermeiden oder diese im Fehlerfall schnell zu lokalisieren und zu beseitigen. Zur vorbeugenden Wartung können Statistikdaten ausgelesen werden. Die Möglichkeit der Online-Parametrierung auch während des Betriebs hilft, Anlagenstillstände zu vermeiden.

Unter anderem werden folgende Informationen in übersichtlichen Dialogen dargestellt:

- Warnungen, Störungen, Meldungen
- Betriebsstunden, Stillstandszeiten usw.
- Fehlerprotokoll / Fehlerspeicher

Funktionsumfang Motor Starter ES			
	Basic	Standard	Premium
Zugriff über lokale Schnittstelle am Gerät	●	●	●
Parametrieren	●	●	●
Bedienen	●	●	●
Diagnose	–	●	●
Erstellen von Vorlagen (Typicals)	–	● 1)	●
Vergleichsfunktionen	–	●	●
Normkonformer Ausdruck nach DIN EN ISO 7200	–	●	●
Servicedaten (Schleppzeiger, Statistitkdaten)	–	●	●
Zugriff über Profibus	–	–	●
S7-Routing	–	–	●
Teleservice via MPI	–	–	●
STEP7-Objektmanager	–	–	●

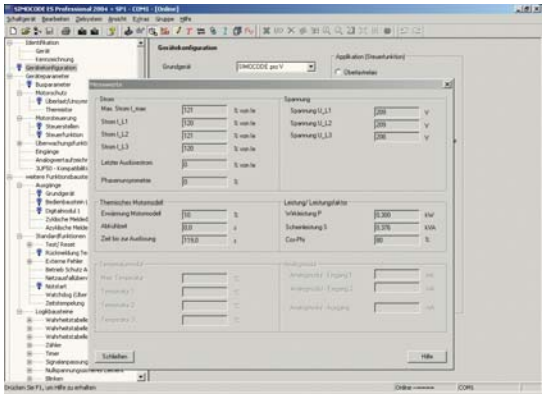
1) Vorlagen ab Service Pack 1

Die Vorteile von Motor Starter ES auf einen Blick:

- Schnelle und fehlerfreie Projektierung und Inbetriebnahme der Motorstarter - auch ohne großes Vorwissen
- Keine Zusatzkomponenten notwendig
- Umparametrieren der Starter im laufenden Betrieb möglich
- Zeitersparnis durch kurze Inbetriebnahmezeiten
- Vorbeugende Wartung
- Einfache und schnelle Diagnose
- Remote Access (Routingfähigkeit) von Industrial Ethernet über Simatic CPU auf Motorstarter am Profibus DP

Sirius Simocode ES

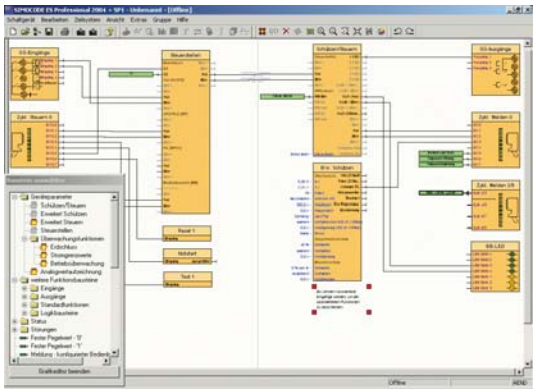
Simocode ES ist die zentrale Software für Inbetriebnahme, Betrieb und Diagnose der Motormanagementgeräte Simocode pro. Unnötige Anlagenstillstände können konsequent verhindert werden, beispielsweise durch Online-Parameteränderungen im laufenden Betrieb. Die Steuer- und Schutzfunktionen sowie die Verdrahtung des Steuerstromkreises sind in SIMOCODE pro durch vordefinierte Steuerfunktionen realisiert – und lassen sich mit Simocode ES unkompliziert einstellen.



Durch die Anzeige aller Betriebs-, Service- und Diagnosedaten liefert Simocode ES aussagekräftige Informationen.

Simocode ES in drei unterschiedlichen Varianten:
Der Anwender kann zwischen verschiedenen Varianten von Simocode ES wählen. Hierfür stehen Simocode ES Basic, Simocode ES Standard und Simocode ES Premium zur Verfügung. Während Simocode ES Basic ein leistungsfähiges Tool für Inbetriebsetzer oder das Wartungspersonal ist, sind Simocode ES Standard und Premium durch den größeren Funktionsumfang und den integrierten Grafikeditor die perfekten Tools für Engineerer oder Projektierer. Im Unterschied zur Standard-Variante ermöglicht Simocode ES Premium zusätzlich die Parametrierung und Diagnose über den Profibus. Die Anzeige aller Betriebs-, Service- und Diagnosedaten liefert dabei zu jeder Zeit aussagekräftige Informationen über den aktuellen Zustand des Motors und der Anlage – überall am Profibus.

Integrierter Grafikeditor – Parametrieren per Drag&Drop:
Der Grafikeditor ist Teil von Simocode ES Standard und Simocode ES Premium. Er erweitert die Parametrieroberfläche um ein leistungsfähiges Tool, das eine einfache Geräteparametrierung per Drag&Drop ermöglicht. Die äußerst kompakte Dokumentation aller eingestellten Parameter ist hiermit genauso möglich wie auch die grafische Online-Darstellung der parametrierten Gerätefunktionen inklusive aller Signalzustände im laufenden Betrieb.



Durch die Möglichkeit der grafischen Darstellung wird der Umgang mit der Software Simocode ES zusätzlich vereinfacht.

Objektmanager für Simatic S7:
Der Objektmanager ist ein Bestandteil von Simocode ES Premium. Dank dieses Software-Tools ist Simocode ES “totally integrated” in Simatic S7. Werden beide Software-Pakete auf einem PG/PC installiert, mit dem auch die Hardware-Projektierung der Simatic S7 durchgeführt wird, kann Simatic ES direkt aus STEP 7 heraus aufgerufen werden.

Trendanzeige von Messwerten:
Mit dieser Online-Funktion kann Simatic ES Standard oder Premium den Trend von bis zu fünf verschiedenen Messwerten darstellen. Damit kann z. B. das Anlaufverhalten eines Motors oder das Verhalten unter verschiedenen Lastsituationen erfasst und ausgewertet werden.

U. a. werden folgende Informationen in übersichtlichen Dialogen dargestellt:
- Warnungen, Störungen, Meldungen
- Betriebsstunden, Stillstandszeiten usw.
- Fehlerprotokoll / Fehlerspeicher
- Messkurven /Trendanzeigen

Funktionsumfang Simocode ES			
	Basic	Standard	Premium
Zugriff über lokale Schnittstelle am Gerät	●	●	●
Parametrieren	●	●	●
Bedienen	●	●	●
Diagnose	●	●	●
Test	●	●	●
Servicedaten	●	●	●
Parametrieren über integrierten Grafikeditor		●	●
Erstellen von Vorlagen (Typicals)	–	● 1)	●
Export von Parametern	–	●	●
Vergleichsfunktionen	–	●	●
Trendanzeige von Messwerten		●	●
Parametervergleich		●	●
Analogwertaufzeichnung 2)		●	●
Normkonformer Ausdruck nach DIN EN ISO 7200	–	●	●
Zugriff über Profibus	–	–	●
Gruppenfunktion	–	–	●
S7-Routing	–	–	●
Teleservice via MPI	–	–	●
STEP7-Objektmanager	–	–	●

1) Vorlagen ab Service Pack 1 *2) für Simocode pro V*

Die Vorteile von Simocode ES auf einen Blick:

- Einfache Parametrierung vermindert Engineering-Aufwand und verkürzt Inbetriebsetzungszeiten
- Übersichtliche Anlagendokumentation durch grafische Darstellung (Simocode ES Graphic)
- Detaillierte Informationen auch bei Störungen unterstützen Wartungspersonal und verkürzen Anlagenstillstandszeiten
- Universell einsetzbar durch Stand-alone-Version und Integration in Simatic STEP 7
- Parameteränderungen auch im laufenden Betrieb möglich
- Durchgängige Datenhaltung und einfache Projektierung dank Integration in TIA (Totally Integrated Automation)

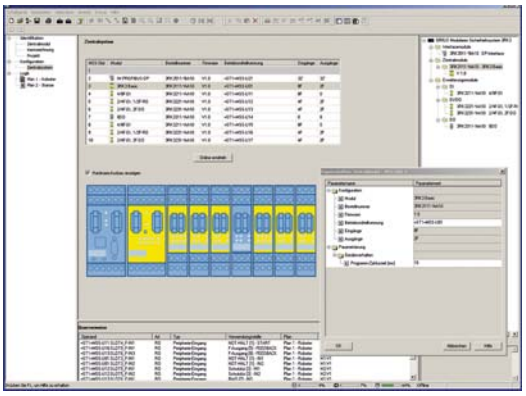
Sirius Modular Safety System ES

Modular Safety System ES ist die Engineering Software zur Projektierung, Inbetriebnahme und Diagnose des Modularen Sicherheitssystems 3RK3. Die Software vereint die Konfiguration der Hardware, die Programmierung der Sicherheitsfunktionen und Test und Diagnose des Sicherheitssystems.

Hardware-Konfiguration:
Die Konfiguration definiert den Hardware-Ausbau des Systems. Hier wird festgelegt, welche Baugruppen im System verwendet werden wie z. B.

- Zentralmodul als sichere Steuerung inklusive Onboard-Peripherie,
- Erweiterungsmodule mit Ein- und Ausgängen,
- Interfacemodul zur Anbindung an Profibus.

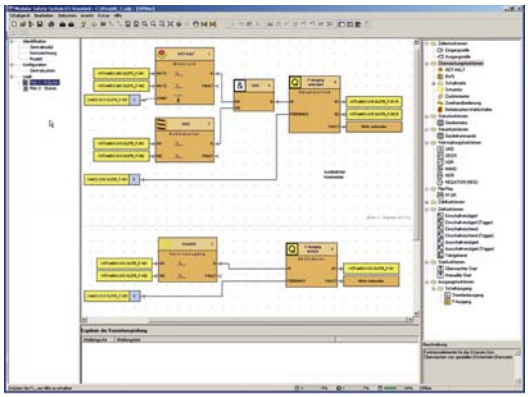
Zur besseren Übersicht wird der Ausbau als grafische Darstellung angezeigt. Für jedes Modul kann optional eine Betriebsmittelkennung frei vergeben werden, die auch im Logikplan zur Identifikation der Ein- und Ausgänge angezeigt wird.



Das Modulare Sicherheitssystem 3RK3 lässt sich mit der Software Modular Safety System ES einfach projektieren, inbetriebnehmen und diagnostizieren.

Grafische Parametrierung der Sicherheitslogik per Drag&Drop:
Die Funktionalität der Sicherheitslogik wird mit einem intuitiv bedienbaren Grafikeditor festgelegt. Per Drag & Drop werden sichere Überwachungsfunktionen (Not-Halt, berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen/Lichtgitter, Schutztüren, etc.), Ausgangsfunktionen und logische Funktionen (UND/ODER-Verknüpfung, Zählfunktionen, Zeitfunktionen, etc.), aber auch nichtsicherheitsgerichtete Ein-/Ausgangsfunktionen sowie Gerätestatus-und -steuerfunktionen aus dem umfangreichen Funktionenkatalog auf die Arbeitsfläche gezogen.
Je nach Ausführung besitzt jede Funktion mehrere Eingangs- und Ausgangs-Anschlusspunkte, über die die Funktionen durch einfache Mausklicks miteinander verbunden werden. Durch Doppelklick auf ein Funktionssymbol öffnet sich das zugehörige Eigenschaften-Dialogfenster, in dem alle Parameter angezeigt und eingestellt werden können wie zum Beispiel

- Umfang der Ein-/Ausgänge der Funktion,
- Einstellung von Kanal-Typ (ein-/zwei-/vierkanalig, Öffner/Schließer),
- Aktivierung der Querschlusserkennung,
- Festlegung von Start-Optionen,
- Zuweisung der Hardware-Ein-/Ausgänge, usw.



Grafische Parametrierung der Sicherheitslogik per Drag&Drop vereinfacht den Einsatz des Modularen Sicherheitssystems 3RK3.

Selbstverständlich kann jeder Funktion ein individueller Name zugewiesen werden, damit z. B. die Position eines Sicherheitsschalters in der Anlage dokumentiert werden kann. Die Sicherheitslogik lässt sich in mehrere Pläne aufteilen, damit die Gesamtanlage strukturiert bearbeitet werden kann. Der Anwender kann die Funktionen auf einem quasi unendlich großen Zeichenbrett frei positionieren, wobei die Verbindungslinien automatisch nachgezogen werden. Ist der Platz nicht ausreichend, erweitert sich der Plan automatisch um weitere Seiten in horizontaler oder vertikaler Richtung.
Verbindungslinien, die über mehrere Seiten verlaufen, erhalten beim Ausdrucken automatisch Querverweise. Falls für die Übersichtlichkeit gewünscht, kann der Anwender eine Verbindungslinie manuell in zwei

Segmente auftrennen, wobei der gegenseitige Verweis durch Referenzpfeile markiert wird. Zur weiteren Dokumentation können frei erstellbare Kommentartexte an beliebiger Stelle im Plan platziert werden. Durch Schieben und Zoomen der Arbeitsfläche kann jede Stelle im Logik-Plan bequem bearbeitet werden. Jedes Projekt kann als Datei gespeichert und durch ein Passwort vor unbefugtem Zugriff geschützt werden.

Benutzerführung bei Inbetriebnahme und Wartung:
Zur Inbetriebnahme des Modularen Sicherheitssystems 3RK3 wird die erstellte Projektdatei in das Gerät geladen. Hierfür muss die serielle Schnittstelle (COM) des PCs über ein spezielles Verbindungskabel mit dem Gerät verbunden werden.
Der Zugriff auf das Gerät kann durch ein Passwort geschützt werden.
Nach dem Laden des Projekts schaltet der Anwender das Gerät über die Software vom Projektierungsbetrieb in den Testbetrieb, in dem die Sicherheitsfunktionen geprüft werden.
Durch Aktivieren der Diagnose wird der Status der einzelnen Funktionen im grafischen Logik-Plan durch verschiedene Farben und Symbole angezeigt. Zusätzlich kann der Signalzustand jedes Ein- und Ausgangs manuell überschrieben werden (“Forcen”).
Nach erfolgreichem Test gibt der Anwender die Projektierung frei und schaltet das Gerät in den Schutzbetrieb, wobei das Forcen automatisch deaktiviert wird. Auch im Schutzbetrieb kann das Servicepersonal die grafische Diagnose aktivieren.
Die im Gerät gespeicherten I&M-Daten (Identification & Maintenance) erleichtern die Wartung.

Funktionsumfang Modular Safety System ES	Standard
Zugriff über lokale Schnittstelle am Gerät	●
Parametrieren	●
Bedienen	●
Diagnose	●
Test	●
Integrierter Grafikeditor	●
Export von Parametern	●
Vergleichsfunktionen	●
Normkonformer Ausdruck nach DIN EN ISO 7200	●

Die Vorteile von Modular Safety System ES auf einen Blick:

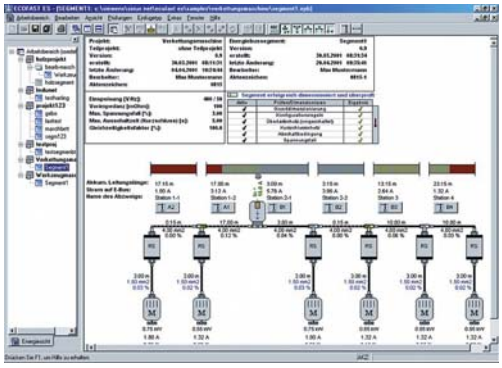
- Einfache Parametrierung vermindert Engineering-Aufwand und verkürzt Inbetriebsetzungszeiten
- Übersichtliche Anlagendokumentation durch grafische Darstellung (Simocode ES Graphic)
- Detaillierte Informationen auch bei Störungen unterstützen Wartungspersonal und verkürzen Anlagenstillstandszeiten

Ecofast ES

Ecofast ES ist das Projektierungstool für Energiebusapplikationen des zukunftsweisenden, dezentralen und voll kommunikationsfähigen Systems Ecofast.

Das Projektierungstool Ecofast ES unterstützt die energietechnische Auslegung der Anlage mit folgendem Funktionsumfang:

- Grafische Projektierung der Verbraucher, Leitungen, Schalt- und Schutzfunktionen
- Dimensionierung des Energiebusses durch automatische Querschnittsbestimmung der Leitungen und automatische Dimensionierung der Schalt- und Schutzelemente
- Energietechnische Auslegung und Prüfung nach einschlägigen Normen und nach dem Stand der Technik
- Erstellung der Dokumentation: Schaltplan des Energiebusses, Stück- und Mengenlisten



Die Software Ecofast ES eignet sich hervorragend für eine exakte Planung und Projektierung von Energiebusapplikationen.

TIPP:

Mit der innovativen Projektierungssoftware sparen Sie eine Menge Zeit, vermeiden kostspielige Überdimensionierungen und erhöhen Ihre Projektierungsqualität.

Die Vorteile von Ecofast ES auf einen Blick:

- Anwenderfreundlich durch starke Visualisierung und klare Menüstruktur
- Dokumentation der Projekte mit Schaltplan, Stück- und Mengenliste
- Bedienerführung bei der Auswahl der eingesetzten Produkte
- Grafische Energiebus-Projektierung für Verbraucher, Leitungen, Schalt- und Schutzfunktionen
- Energietechnische Auslegung und Prüfung nach einschlägigen Normen und Stand der Technik

Funktionale Sicherheit von Maschinen und Anlagen

Einleitung
Um beim Bau einer Maschine das Restrisiko unter einem tolerierbaren Maß zu halten, sind Risikobeurteilung und gegebenenfalls -minderung von entscheidender Bedeutung. Die Risikobeurteilung dient einerseits dazu, die Maschine "step by step" sicherheitstechnisch zu optimieren, andererseits als "Beweismittel" im Schadensfall.
Dieses Kapitel beschreibt den Weg der Beurteilung und die erreichten Ergebnisse zur Gefahrenminimierung. Es ist die Basis für einen sicheren Gebrauch der Maschine – wobei der Arbeitsschutz verlangt, dass der Betreiber seine Mitarbeiter dahingehend umfassend schult.

Beachte:

Führt der Betreiber bestehende Maschinen zu einer Anlage zusammen oder nimmt er bestimmte Änderungen oder Erweiterungen an der Maschine vor, wird er selbst zum Maschinenbauer.

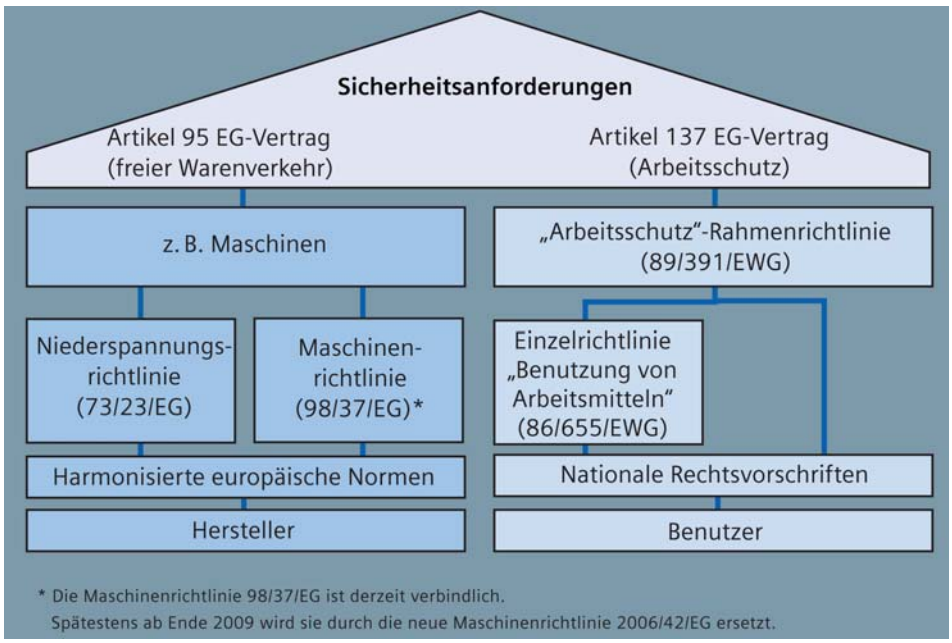
Die Einhaltung der Maschinenrichtlinie kann auf unterschiedliche Weise gewährleistet werden: in Form einer Maschinenabnahme durch eine Prüfstelle, durch Erfüllung der harmonisierten Normen – oder durch den alleinigen Sicherheitsnachweis mit erhöhtem Prüf- und Dokumentationsaufwand. In jedem Fall ist die CE-Kennzeichnung mit entsprechendem Sicherheitsnachweis der sichtbare Beweis für die Erfüllung der Maschinenrichtlinie. Laut EU-Rahmenrichtlinie für Arbeitsschutz ist sie verbindlich vorgeschrieben.

Verglichen mit den physischen oder psychischen Folgen, die ein Mensch durch Maschinen- oder Anlagenunfälle erleiden kann, sind Schäden an der Technik eher tolerierbar – auch wenn ein eventueller Maschinenausfall oder Produktionsstillstand finanziell enorm ins Gewicht fallen kann. Kommt es aber tatsächlich zum „Worst-Case-Szenario", muss die Schuldfrage in einer Untersuchung geklärt werden. Stellt sich heraus, dass nicht alle relevanten Richtlinien eingehalten wurden, kann das zu erheblichen Schadenersatzforderungen führen. Zudem kann auch das Unternehmensimage darunter leiden – mit weitreichenden Konsequenzen. Werden jedoch alle relevanten Normen erfüllt, kann davon ausgegangen werden, dass die Anforderungen der entsprechenden Richtlinien ebenfalls bedient werden (Vermutungswirkung). Im Folgenden zeigen wir Ihnen Schritt für Schritt, wie Sie mit Ihrer Maschine jederzeit auf der sicheren Seite sind.

Grundlegende Sicherheitsanforderungen in der Fertigungsindustrie
Mit der Einführung des einheitlichen europäischen Binnenmarkts wurden die nationalen Normen und Vorschriften, welche die technische Realisierung von Maschinen betreffen, durchgängig harmonisiert:

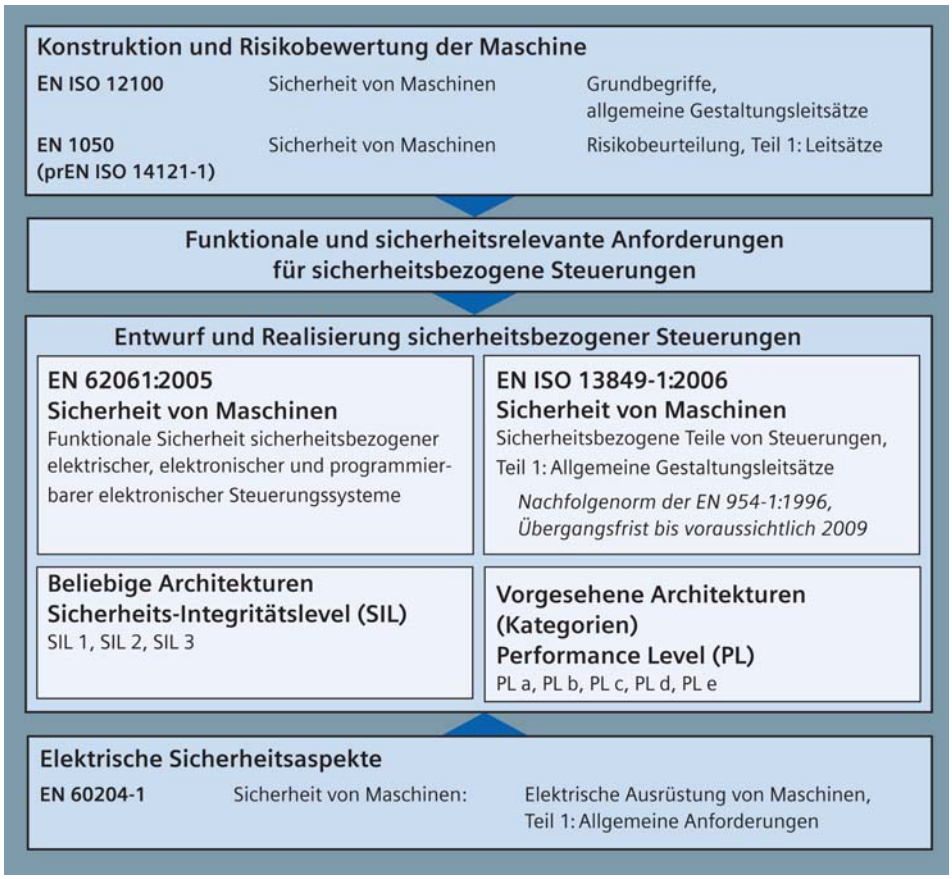
- Dabei wurden grundlegende Sicherheitsanforderungen festgelegt, die sich zum einen – für den freien Warenverkehr bestimmt (Artikel 95) – an den Hersteller richten und zum anderen
  – für den Arbeitsschutz (Artikel 137)
  – an den Benutzer (Betreiber).
- Dies hatte zur Folge, dass die Maschinenrichtlinie als eine Binnenmarktrichtlinie
  – auf Basis der EG-Verträge
  – von den einzelnen Mitgliedsstaaten inhaltlich in nationales Recht umgesetzt werden musste. In Deutschland wurde diese z. B. im Gerätesicherheitsgesetz GSG verankert.

Damit die Konformität mit einer Richtlinie sichergestellt ist, empfiehlt es sich, die entsprechend harmonisierten europäischen Normen anzuwenden. Dies löst die so genannte "Vermutungswirkung" aus und gibt Hersteller und Betreiber Rechtssicherheit bezüglich der Erfüllung nationaler Vorschriften wie auch der EG-Richtlinie. Mit der CE-Kennzeichnung dokumentiert der Hersteller einer Maschine die Einhaltung aller zutreffenden Richtlinien und Vorschriften im freien Warenverkehr. Da die europäischen Richtlinien weltweit anerkannt sind, hilft deren Anwendung auch beim Export in EWR-Länder. Alle nachfolgenden Erläuterungen richten sich an den Hersteller einer Maschine oder dessen Betreiber, sofern dieser sicherheitsrelevante Änderungen an der Maschine vornimmt oder vornehmen lässt.



Ziel: Schutz von Mensch, Maschine und Umwelt.
Ergebnis: CE-Kennzeichnung zum Nachweis einer "sicheren Maschine".

Grundlegende Normen beim Entwurf von Steuerungsfunktionen



Ziel:
Erfüllen aller zutreffenden Sicherheitsanforderungen durch ausreichende Risikominderung – mit dem Ziel, haftungssicher und „exportfähig" zu sein.

Ergebnis:
Realisierung von risikomindernden Schutzmaßnahmen durch Anwendung harmonisierter Normen – dadurch Konformität mit den Sicherheitsanforderungen der Maschinenrichtlinie auf Basis der „Vermutungswirkung".

Sicherheit erfordert Schutz vor vielfältigen Gefährdungen. Diese können wie folgt beherrscht werden:

- Konstruktion gemäß risikomindernder Gestaltungsleitsätze – und Risikobewertung der Maschine (EN ISO 12100-1, EN 1050)
- Technische Schutzmaßnahmen, ggf. durch Verwendung sicherheitsbezogener Steuerungen (funktionale Sicherheit nach EN 62061 oder EN ISO 13849-1)
- Elektrische Sicherheit (EN 60204-1)

Im Folgenden wird die funktionale Sicherheit behandelt. Dabei handelt es sich um den Teil der Sicherheit einer Maschine oder Anlage, der von der korrekten Funktion ihrer Steuerungsoder Schutzeinrichtungen abhängt. Dem Anwender stehen dabei zwei Normen zur Verfügung:

- EN 62061:2005 – als europäische Sektornorm der Basisnorm IEC 61508.
- EN ISO 13849- 2006 – als revidierte Nachfolgenorm der EN 954-1, da diese in Bezug auf die Kategorien nicht mehr ausreicht.

Schritt für Schritt: Entwurf und Realisierung von sicherheitsbezogenen Steuerungen

Die Norm EN 62061

Die Norm EN 62061 "Sicherheit von Maschinen – funktionale Sicherheit von elektrischen, elektronischen und programmierbaren Steuerungen von Maschinen" definiert umfangreiche Anforderungen. Außerdem gibt sie Empfehlungen für Entwurf, Integration und Validierung von sicherheitsbezogenen elektrischen, elektronischen sowie programmierbaren elektronischen Steuerungssystemen (SRECS) für Maschinen.
Die Norm betrachtet erstmalig die gesamte Sicherheitskette vom Sensor bis zum Aktor. Um einen Sicherheitsintegritäts-Level wie etwa SIL 3 zu erreichen, genügt es nicht mehr, dass die Einzelkomponenten entsprechend zertifiziert sind. Vielmehr muss die gesamte Sicherheitsfunktion den definierten Anforderungen gerecht werden.
Anforderungen an die Leistungsfähigkeit von nicht elektrischen – z. B. hydraulischen, pneumatischen oder elektromechanischen – sicherheitsbezogenen Steuerungselementen für Maschinen werden von der Norm nicht festgelegt.

Hinweis:

Werden nicht elektrische sicherheitsbezogene Steuerungselemente über eine passende elektrische Rückleseinformation überwacht, so können diese Elemente für die Sicherheitsbetrachtung bei Erfüllung der Anforderung vernachlässigt werden.

Die Norm EN ISO 13849-1

Die EN ISO 13849-1 "Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen, Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze" setzt auf den bekannten Kategorien der EN 954-1, Ausgabe 1996 auf. Sie betrachtet die kompletten Sicherheitsfunktionen mit allen Geräten, die an ihrer Ausführung beteiligt sind.

Mit der EN ISO 13849-1 erfolgt – über den qualitativen Ansatz der EN 954-1 hinaus – auch eine quantitative Betrachtung der Sicherheitsfunktionen. Aufbauend auf den Kategorien werden hierfür Performance Level (PL) verwendet. Die Norm beschreibt die Ermittlung des PL für sicherheitsrelevante Teile von Steuerungen auf Basis vorgesehener Architekturen (designated architectures) für die vorgesehene Gebrauchsdauer.
Bei Abweichungen hiervon verweist EN ISO 13849-1 auf IEC 61508. Bei Kombination mehrerer sicherheitsrelevanter Teile zu einem Gesamtsystem macht die Norm Angaben zur Ermittlung des resultierenden PL. Dabei darf sie auf sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen (SRP/CS) und alle Arten von Maschinen, ungeachtet der verwendeten Technologie und Energie, elektrisch, hydraulisch, pneumatisch, mechanisch usw. angewendet werden.

Beachte:

Die Übergangsfrist von EN 954-1 zu EN ISO 13849-1 endet 2009. In dieser Zeit dürfen beide Normen alternativ angewendet werden.

Die Normen EN 62061 sowie EN ISO 13849-1 sind für die Sicherheit von Maschinen und Anlagen von entscheidender Bedeutung.

Sicherheitsplan nach EN 62061 – Leitfaden bei der Realisierung einer sicheren Maschine

Durch ein systematisches Vorgehen über den gesamten Produkt-Lebenszyklus lassen sich alle sicherheitsrelevanten Aspekte und Regelungen für die Konstruktion und den Betrieb einer sicheren Maschine bestimmen und umsetzen. Der Sicherheitsplan (Safety Plan) begleitet Anwender in allen Phasen – bis hin zu Modernisierung und Upgrade. Aufbau und Umsetzungspflicht des Sicherheitsplans sind in EN 62061 definiert.

Die Norm fordert in diesem Rahmen eine systematische Vorgehensweise bei der Realisierung eines Sicherheitssystems (SRECS). Dazu gehört, dass alle Aktivitäten im Sicherheitsplan dokumentiert werden: von der Gefährdungsanalyse und Risikobeurteilung der Maschine über den Entwurf und die Realisierung des SRECS – bis hin zur Validierung. Dabei muss der Sicherheitsplan immer synchron mit der Realisierung des SRECS aktualisiert werden.

Folgende Themen und Aktivitäten werden im Sicherheitsplan dokumentiert:

- Planung und Vorgehensweise aller – für die Realisierung eines SRECS erforderlichen – Aktivitäten.
  Zum Beispiel:
  - Entwickeln der Spezifikation der sicherheitsbezogenen Steuerungsfunktion (SRCF)
  - Entwurf und Integration des SRECS
  - Validierung des SRECS
  - Erstellen der Benutzerdokumentation zum SRECS
  - Dokumentation aller relevanten Informationen zur Realisierung des SRECS (Projektdokumentation)
- Strategie zur Erreichung der funktionalen Sicherheit
- Verantwortlichkeiten in puncto Ausführung und Überprüfung aller Aktivitäten

Hinweis:

Die hier beschriebenen Tätigkeiten sind in ISO 13849-1:2006 nicht explizit beschrieben – jedoch für die korrekte Umsetzung der Maschinenrichtlinie notwendig.

Schritt 1: Strategie zur Risikominderung nach EN ISO 121001, Abschnitt 1

- Ziel: Risikominderung
- Ergebnis: Schutzmaßnahmen definieren und bestimmen

Für jede erkannte Gefährdung muss eine Sicherheitsfunktion spezifiziert werden.

Die primäre Aufgabe einer Risikominderung ist es, Gefährdungen zu erkennen, zu bewerten – und mit Hilfe von Schutzmaßnahmen zu beherrschen, so dass kein Schaden von ihnen ausgehen kann. Dazu wird in EN ISO 12100-1 folgender iterativer Prozess vorgeschlagen:

1. Festlegen der physikalischen und zeitlichen Grenzen der Maschine
2. Identifizierung der Gefährdungen, Risikoeinschätzung und -bewertung
3. Einschätzen des Risikos für jede identifizierte Gefährdung und Gefährdungssituation
4. Bewerten des Risikos und Festlegen von Entscheidungen zur Risikominderung
5. Beseitigen der Gefährdung oder Vermindern des mit der Gefährdung verbundenen Risikos durch die "3-Schritt-Methode" – inhärent sichere Konstruktion, technische Schutzmaßnahmen sowie Benutzerinformation

Hinweis:

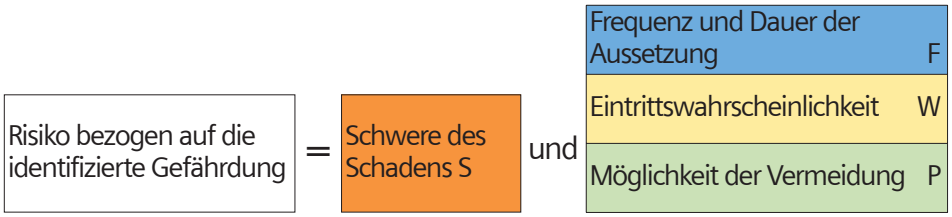
Die Norm EN 1050 (prEN ISO 14121-1) enthält detaillierte Informationen zu den Schritten 1 bis 4.

Aus den ermittelten Risiken ergeben sich die Sicherheitsanforderungen, die realisiert werden müssen. Dabei unterstützt EN 62061 mit dem Sicherheitsplan ein strukturiertes Vorgehen:
Für jede erkannte Gefährdung muss eine Sicherheitsfunktion spezifiziert werden. Hierzu gehört auch die Testspezifikation – siehe "Validierung".

Schritt 2: Risikobewertung

- Ziel: Risikoelemente für eine Sicherheitsfunktion bestimmen und bewerten
- Ergebnis: Geforderte Sicherheitsintegrität festlegen

Die Risikoelemente (S, F, W und P) dienen als Eingangsgröße für beide Normen. Die Bewertung dieser Risikoelemente erfolgt auf unterschiedliche Art und Weise. Nach EN 62061 wird ein geforderter Sicherheitsintegritäts-Level (SIL) bestimmt, nach EN ISO 13849-1 ein Performance Level (PL).



Bestimmung des erforderlichen SIL (durch SIL-Zuordnung)

Häufigkeit und/oder Aufenthaltsdauer F	
≤ 1 Std.	5
> 1 Std. bis ≤ 1 Tag	5
> 1 Tag bis ≤ 2 Wo.	4
> 2 Wo. bis ≤ 1 Jahr	3
> 1 Jahr	2

Eintrittswahrscheinlichkeit des Gefährdungsereignisses W	
häufig	5
wahrscheinlich	4
möglich	3
selten	2
vernachlässigbar	1

Möglichkeit der Vermeidung P	
unmöglich	5
möglich	3
wahrscheinlich	1

Auswirkungen	Schadensausmaß S	Klasse K = F + W + P				
		3–4	5–7	8–10	11–13	14–15
Tod, Verlust von Auge oder Arm	4	SIL 2	SIL 2	SIL 2	SIL 3	SIL 3
Permanent, Verlust von Fingern	3	andere Maßnahmen		SIL 1	SIL 2	SIL 3
Reversibel, medizinische Behandlung	2				SIL 1	SIL 2
Reversibel, Erste Hilfe	1					SIL 1

Beispiel

Gefährdung	S	F	W	P	=	K	Sicherheitsmaßnahmen	Sicher
Rotierende Spindel	3	5	4	3	=	12	Überwachung Schutzhaube mit einem geforderten **SIL 2**	Ja, mit SIL 2

Vorgehensweise	
1. Schadensausmaß S festlegen:	Permanent, Verlust von Fingern, S = 3
2. Punkte für Häufi gkeit F, Wahrscheinlichkeit W und Vermeidung P bestimmen:	– Aufenthalt im Gefahrenbereich: einmal pro Tag, F = 5 – Eintrittswahrscheinlichkeit: wahrscheinlich, W = 4 – Möglichkeit zur Vermeidung: möglich, P = 3
3. Summe der Punkte F + W + P = Klasse K	K = 5 + 4 + 3 = 12
4. Schnittpunkt Zeile Schadensausmaß S und Spalte K = geforderter SIL	SIL 2
Der geforderte SIL ist somit SIL 2	

Bestimmung des erforderlichen PL (durch Risikograf)

Die Einschätzung des Risikos erfolgt anhand der gleichen Risikoparameter:

Risikoparameter

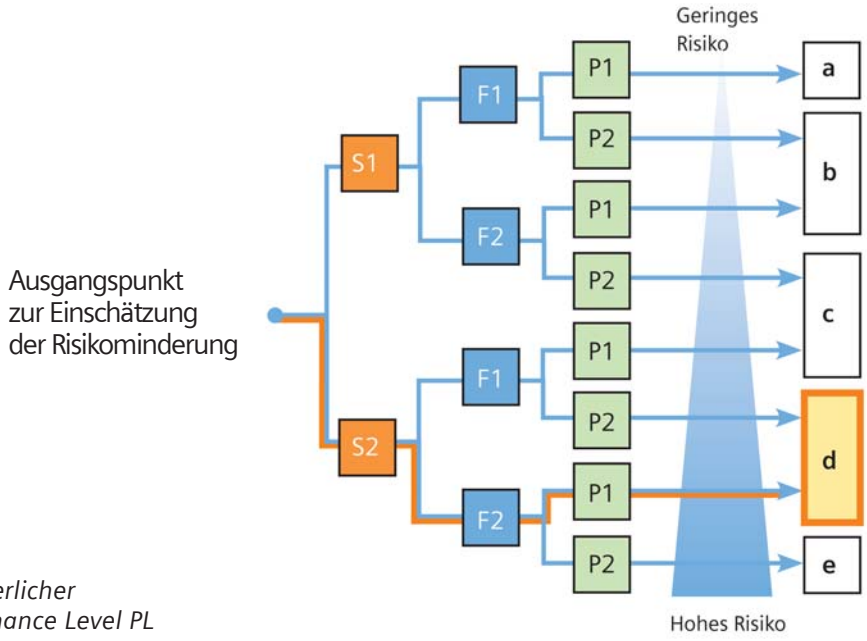
S = Schwere der Verletzung
S1 = leichte (üblicherweise reversible) Verletzung
S2 = schwere (üblicherweise irreversible) Verletzung, einschließlich Tod

F = Häufigkeit und/oder Aufenthaltsdauer der Gefährdungsaussetzung
F1 = selten bis öfter und/oder Zeit der Gefährdungsaussetzung ist kurz

F2 = häufig bis dauernd und/oder Zeit der Gefährdungsaussetzung ist lang

P = Möglichkeit zur Vermeidung der Gefährdung oder Begrenzung des Schadens
P1 = möglich unter bestimmten Bedingungen
P2 = kaum möglich

a, b, c, d, e = Ziele des sicherheitsgerichteten Performance Levels



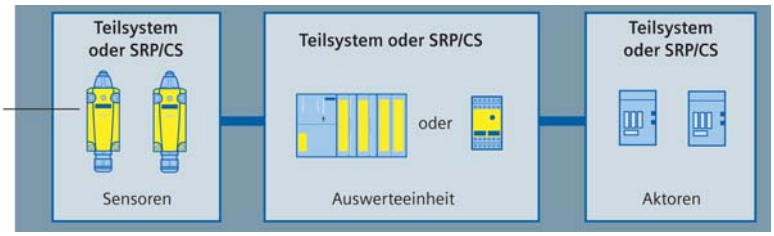
Erforderlicher Perfomance Level PL

Vorgehensweise	
1. Schadensausmaß S festlegen:	S2 = schwere (üblicherweise irreversible) Verletzung, einschließlich Tod
2. Häufigkeit und/oder Aufenthaltsdauer der Gefährdungsaussetzung F festlegen:	F2 = häufig bis dauernd und/oder Zeit der Gefährdungsaussetzung ist lang
3. Möglichkeit zur Vermeidung der Gefährdung oder Begrenzung des Schadens P festlegen:	P1 = möglich unter bestimmten Bedingungen
Der geforderte Performance Level ist somit PL d.	

Schritt 3: Aufbau der Sicherheitsfunktion und Bestimmung der Sicherheitsintegrität

- Ziel: Steuerungsfunktion und Bestimmung der Sicherheitsintegrität
- Ergebnis: Güte der ausgewählten Steuerungsfunktion

Innerhalb beider Normen wird zwar eine unterschiedliche Methodik zur Bewertung einer Sicherheitsfunktion angewendet, die Ergebnisse lassen sich dennoch ineinander überführen. Beide Normen verwenden ähnliche Begriffe und Definitionen. Die Betrachtung der gesamten Sicherheitskette beider Normen ist vergleichbar:
Eine Sicherheitsfunktion wird als System bezeichnet.



Aufbau einer Sicherheitsfunktion: System als SRECS oder SRP/CS
SRP/CS: sicherheitsbezogene Teile einer Steuerung nach EN ISO 13849-1
SRECS: sicherheitsbezogenes elektrisches Steuerungssystem nach EN 62061

Beispiel:

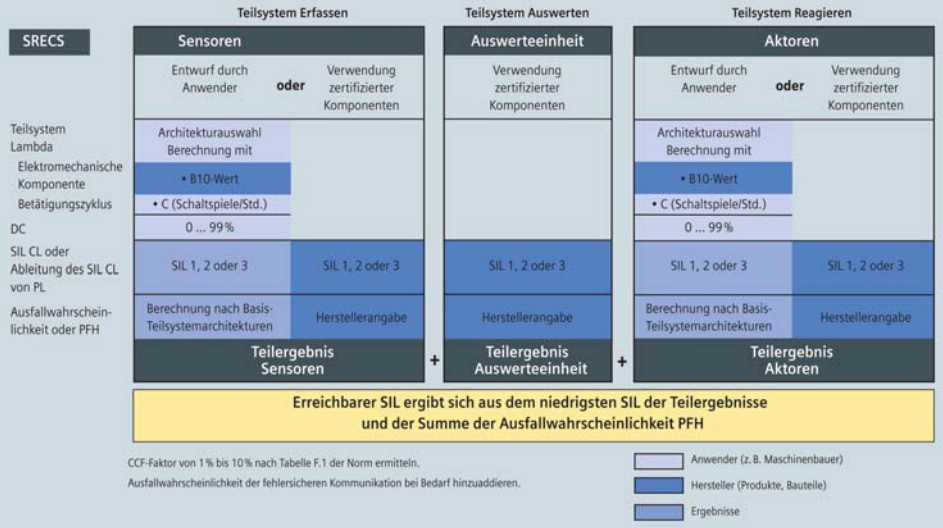
- *Anforderung: Eine rotierende Spindel muss beim Öffnen einer Schutzhaube sicher stillgesetzt werden.*
- *Lösung: Die Schutzhauben-Überwachung wird mit zwei Positionsschaltern (Sensoren) realisiert. Das Abschalten der rotierenden Spindel erfolgt mit zwei Lastschützen (Aktoren). Die Auswerteeinheit kann eine fehlersichere Steuerung (CPU, F-DI, F-DO) oder ein Sicherheitsschaltgerät sein.*

Die Verbindungstechnik zwischen den Teilsystemen ist in die Betrachtungen einzubeziehen.

<u>Gemeinsame und vereinfachte Vorgehensweise:</u>

1. Jedes Teilsystem bzw. SRP/CS bewerten und „Teilergebnisse" erhalten. Hierzu gibt es zwei Möglichkeiten:
   a. Verwendung zertifizierter Komponenten mit Herstellerangaben (z. B. SIL CL, PFH oder PL).
   b. Auf Basis der ausgewählten Architektur (ein- oder zweikanalig) erfolgt die Berechnung der Ausfallraten der Teilsystem-Elemente oder -Komponenten. Anschließend erfolgt die Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeit des Teilsystems oder der SRP/CS.
2. Die Teilergebnisse bzgl. der strukturellen Anforderungen (SIL CL bzw. PL) beurteilen und die Ausfallwahrscheinlichkeiten/PFH addieren.

Methodik nach EN 62061



Hinweis:

Eine genaue Vorgehensweise zur Bestimmung der Sicherheitsintegrität finden Sie im Funktionsbeispiel zur EN 62061. Siehe hierzu auch: http://support.automation.siemens.com/WW/view/de/2399647

Teilsystem „Erfassen" – Sensoren

Bei zertifizierten Komponenten liefert der Hersteller die notwendigen Werte (SIL CL und PFH). Bei Verwendung von elektromechanischen Komponenten im Anwenderentwurf können SIL CL und PFH-Wert wie folgt ermittelt werden.

Bestimmung des SIL CL

Für das Beispiel kann SIL CL 3 angenommen werden, da die verwendete Architektur der Kategorie 4 nach EN 954-1 entspricht und entsprechende Diagnose vorhanden ist.

Berechnung der Ausfallraten λ der Teilsystem-Elemente „Positionsschalter"

Mit dem B10-Wert und den Schaltspielen C kann mit einer Formel gemäß Abschnitt 6.7.8.2.1 der EN 62061 die gesamte Ausfallrate einer elektromechanischen Komponente berechnet werden:

$\lambda = 0{,}1 \bullet C/B10 = 0{,}1 \bullet 1/10.000.000 = 10^{-8}$
C = Anwenderangabe Betätigungszyklus pro Stunde (duty cycle)
B10-Wert = Herstellerangabe

Die Ausfallrate λ setzt sich aus ungefährlichen (S) und gefahrbringenden (D) Anteilen zusammen:

$\lambda = \lambda_S + \lambda_D$
λ_D = λ • Anteil gefahrbringender Ausfälle in %
$= 10^{-8} \bullet 0{,}2 = 2 \bullet 10^{-9}$

SIRIUS – Standard-B10-Werte elektromechanischer Komponenten		
Siemens SIRIUS Produktgruppe (elektromechanische Komponenten)	B10-Wert (Schaltbeispiele)	Anteil gefahrbringender Ausfälle
NOT-AUS/NOT-HALT-Befehlsgeräte (mit zwangsöffnenden Kontakten)		
• drehentriegelt	100.000	20%
• zugentriegelt	30.000	20%
Seilzugschalter für NOT-AUS/NOT-HALT-Funktion (mit zwangsöffnenden Kontakten)	1.000.000	20 %
Standard-Positionsschalter (mit zwangsöffnenden Kontakten)	10.000.000	20 %
Positionsschalter mit getrenntem Betätiger (mit zwangsöffnenden Kontakten)	1.000.000	20 %
Positionsschalter mit Zuhaltung (mit zwangsöffnenden Kontakten)	1.000.000	20 %
Scharnierschalter (mit zwangsöffnenden Kontakten)	1.000.000	20 %
Positionsschalter mit getrenntem Betätiger (mit zwangsöffnenden Kontakten)	1.000.000	20 %
Drucktaster (nicht verrastend, mit zwangsöffnenden Kontakten)	10.000.000	20 %
Schütze/Motorstarter (mit zwangsöffnenden Kontakten)	1.000.000	75 %

In Anlehnung an die ISO 13849-2 (Anhang D), die ISO/FDIS 13849-1:2005 (Anhang C) und die DIN EN 62061 (Anhang D, Ausfallarten elektrischer/elektronischer Bauteile) sind in der folgenden Tabelle die SIRIUS Standard-B10-Werte und der Anteil gefahrbringender Ausfälle aufgelistet. In der Siemens-Norm SN 31920 finden Sie detaillierte Erläuterungen.

Berechnung der gefahrbringenden Ausfallwahrscheinlichkeit PFH_D nach verwendeter Architektur

Die EN 62061 definiert vier Architekturen für Teilsysteme (Basis-Teilsystemarchitektur A bis D). Für die Ermittlung der Ausfallwahrscheinlichkeit PFH_D stellt die Norm für jede Architektur Berechnungsformeln zur Verfügung. Für ein zweikanaliges Teilsystem mit Diagnose (Basis-Teilsystemarchitektur D) sowie mit gleichen Elementen errechnet sich für jedes Teilsystem folgende gefahrbringende Ausfallrate λ_D:

$\lambda_D = (1 - \beta)^2 \bullet \{[\lambda_{De}^2 \bullet DC \bullet T2] + [\lambda_{De}^2 \bullet (1 - DC) \bullet T1]\} + \beta \bullet \lambda_{De}, = \approx 2 \bullet 10^{-10}$
$PFH_D = \lambda_D \bullet 1\ \text{Std.} \approx 2 \bullet 10^{-10}$
λ_{De} = gefahrbringende Ausfallrate für ein Teilsystem-Element

Für die Berechnung des Beispieles wurden folgende Annahmen getroffen:

β	=	0,1	konservative Annahme, da Maximalwert aus der Norm
DC	=	0,99	durch Diskrepanz- und Kurzschlussüberwachung
T2	=	1/C	durch Auswertung im Sicherheitsprogramm
T1	=	87.600 Std. (10 Jahre)	Gebrauchsdauer der Komponente

Teilsystem "Auswerten" – Auswerteeinheit:
Bei zertifizierten Komponenten liefert der Hersteller die notwendigen Werte.

Beispielwerte:
SIL CL = SIL 3
$PFH_D = < 10^{-9}$

Teilsystem "Reagieren" – Aktoren:
Bei zertifizierten Komponenten liefert der Hersteller die notwendigen Werte:

Beispielwerte:
SIL CL = SIL 2
$PFH_D = 1{,}29 \bullet 10^{-7}$

Bei Entwurf durch Anwender für Teilsystem "Reagieren" wird mit der gleichen Vorgehensweise gearbeitet wie beim Teilsystem "Erfassen".

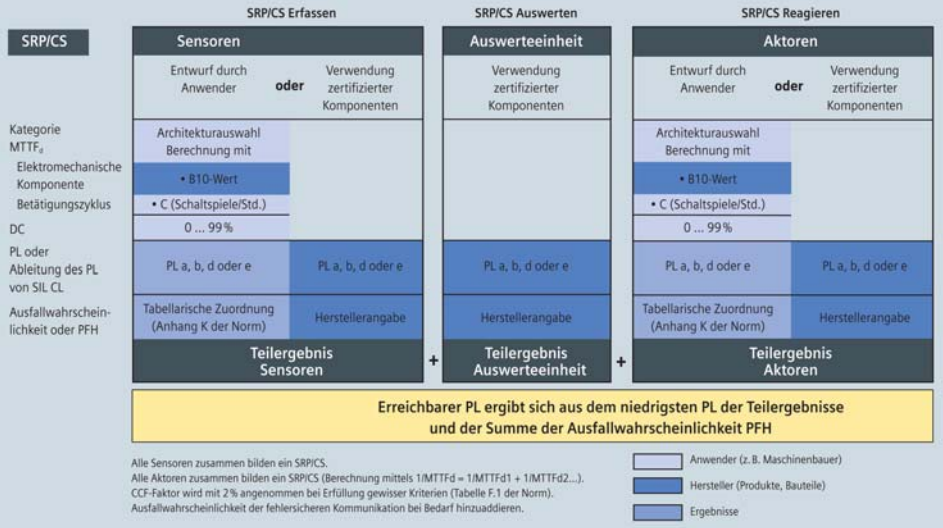
Bestimmung der Sicherheitsintegrität der Sicherheitsfunktion Es muss die kleinste SIL-Anspruchsgrenze (SIL CL) aller Teilsysteme der sicherheitsbezogenen Steuerungsfunktion (SRCF) bestimmt werden:

SIL CL Mn = Minimum (SIL CL (Teilsystem 1)) …..SIL CL (Teilsystem n)
= SIL CL 2
Summe der gefahrbringenden Ausfallwahrscheinlichkeiten (PFH_D) der Teilsysteme
PFH_D = PFH_D (Teilsystem 1) + … + PFH_D (Teilsysteme n) = $1{,}30 \bullet 10^{-7}$
= $<10^{-6}$ entspricht SIL 2

Ergebnis:

Die Sicherheitsfunktion erfüllt die Anforderung für SIL 2.

Methodik nach EN ISO 13849-1



SRP/CS "Erfassen" – Sensoren

Bei zertifizierten Komponenten liefert der Hersteller die notwendigen Werte (PL, SIL CL oder PFH_D). Der SIL CL und der PL können auf Basis der Ausfallwahrscheinlichkeiten ineinander überführt werden, siehe Punkt Umsetzung von SIL und PL. Bei Verwendung von elektromechanischen Komponenten im Anwenderentwurf können PL und PFH_D-Wert wie folgt ermittelt werden.

Berechnung der Ausfallraten der SRP/CS-Elemente "Positionsschalter"
Mit dem B10-Wert und dem Schaltspiel n_{op} kann der Anwender die Ausfallrate $MTTF_d$ der elektromechanischen Komponente berechnen:

$MTTF_d = B10_d/0{,}1 \bullet n_{op} = 0{,}2 \bullet 108$ Stunden = 2.300 Jahre entspricht $MTTF_d$ = hoch
mit n_{op} = Betätigungen pro Jahr (Angabe des Anwenders)
$n_{op} = (d_{op} \bullet h_{op} \bullet 3.600\ s/h) / t_{Zyklus}$

mit folgenden Annahmen, die in Bezug zur Anwendung des Bauteils getroffen worden sind:

- h_{op} ist die mittlere Betriebszeit in Stunden je Tag
- d_{op} ist die mittlere Betriebszeit in Tagen je Jahr
- t_{Zyklus} ist die mittlere Zeit zwischen dem Beginn zweier aufeinander folgenden Zyklen des Bauteils (z. B. Schalten eines Ventils) in Sekunden je Zyklus

Für die Ermittlung des Beispiels wurden folgende Annahmen getroffen:

DC "hoch" Kategorie 4	durch Diskrepanz- und Kurzschlussüberwachung

Ergebnis:

Es wird Performance Level PL e mit einer Ausfallwahrscheinlichkeit von 2,47 • 10^{-8} erreicht
(aus Anhang K der Norm EN ISO 13849-1: 2006)

SRP/CS „Auswerten" – Auswerteeinheit

Bei zertifizierten Komponenten liefert der Hersteller die notwendigen Werte.

Beispielwerte:
SIL CL = SIL 3, entspricht PL e
$PFH_D = < 10^{-9}$

SRP/CS „Reagieren" – Aktoren

Bei zertifizierten Komponenten liefert der Hersteller die notwendigen Werte:

Beispielwerte:
SIL CL = SIL 2, entspricht PL d
$PFH_D = 1{,}29 \bullet 10^{-7}$

Bei Entwurf durch Anwender für SRP/CS "Reagieren" wird mit der gleichen Vorgehensweise gearbeitet wie beim SRP/CS "Erfassen".

Bestimmung der Sicherheitsintegrität der Sicherheitsfunktion

Es muss der kleinste PL aller SRP/CS der sicherheitsbezogenen Steuerungsfunktion (SRCF) bestimmt werden:

PL Mn = Minimum (PL (SRP/CS 1)) …..PL (SRP/CS n) = PL d
Summe der gefahrbringenden Ausfallwahrscheinlichkeiten (PFH_D) der SRP/CS
$PFH_D = PFH_D$ (SRP/CS 1) + … + PFH_D (SRP/CS n) = 1,74 • 10^{-7} = $<10^{-6}$ entspricht PL d

Ergebnis:

Die Sicherheitsfunktion erfüllt die Anforderung für PL d.

Bestimmung des Performance Levels aus Kategorie, DC und $MTTF_d$
Innerhalb beider Normen wird zwar eine unterschiedliche Methodik zur Bewertung einer Sicherheitsfunktion angewendet, die Ergebnisse lassen sich aber ineinander überführen. Vereinfachtes Verfahren zur Bewertung des durch ein SPR/CS erreichten PL:

Kategorie	B	1	2	2	3	3	4
DC_{avg}	kein	kein	niedrig	mittel	niedrig	mittel	hoch
$MTTF_d$ jedes Kanals							
niedrig	a	nicht abgedeckt	a	b	b	c	nicht abgedeckt
mittel	b	nicht abgedeckt	b	c	c	d	nicht abgedeckt
hoch	nicht abgedeckt	c	c	d	d	d	e

Umsetzung von SIL und PL
Die Bewertung der Sicherheitsfunktion kann wie zuvor gezeigt nach zwei unterschiedlichen Methoden erfolgen. Der SIL und der PL können auf Basis der gefahrbringenden Ausfallwahrscheinlichkeiten miteinander verglichen werden, siehe nachfolgende Tabelle.

SIL und PL sind aufeinander abbildbar

Sicherheits-Integritätslevel SIL	Wahrscheinlichkeit gefahrbringender Ausfälle pro Stunde (1/h)	Performance Level PL
–	$\geq 10^{-5}$ bis $< 10^{-4}$	a
SIL 1	$\geq 3 \times 10^{-6}$ bis $< 10^{-5}$	b
SIL 1	$\geq 10^{-6}$ bis $< 3 \times 10^{-6}$	c
SIL 2	$\geq 10^{-7}$ bis $< 10^{-6}$	d
SIL 3	$\geq 10^{-8}$ bis $< 10^{-7}$	e

Schritt 4: Validierung auf Basis des Safety Plans
- Ziel: Überprüfung der Umsetzung der spezifizierten Sicherheitsanforderungen
- Ergebnis: Dokumentierter Nachweis in Bezug auf die Erfüllung der Sicherheitsanforderungen

Bei der Validierung wird überprüft, ob das Sicherheitssystem (SRECS) die in der "Spezifikation der SRCF" beschriebenen Anforderungen erfüllt. Grundlage ist dabei der Sicherheitsplan.

Folgende Vorgehensweise wird bei der Validierung gefordert:
- Die Verantwortlichkeiten sind zu definieren und zu dokumentieren.
- Auch alle Tests müssen dokumentiert werden.
- Jede SRCF muss durch Test und/oder Analyse validiert werden.
- Die systematische Sicherheitsintegrität des SRECS muss ebenfalls validiert werden.

Planen
Der Sicherheitsplan ist zu erstellen. Die Validierung wird anhand dieses Dokumentes durchgeführt.

Testen/Prüfen
Es müssen alle Sicherheitsfunktionen gemäß der Spezifikation – wie in Schritt 1 beschrieben – geprüft werden.

Dokumentation
Die Dokumenation ist ein wesentlicher Bestandteil der Begutachtung im Schadensfall. Der Inhalt der Dokumentationsliste ist durch die Maschinenrichtlinie vorgegeben. Im Wesentlichen gehören hierzu:
- Gefährdungsanalyse
- Gefährdungsbewertung
- Spezifikation der Sicherheitsfunktionen
- Hardwarekomponenten, Zertifikate etc.
- Schaltpläne
- Testergebnisse
- Software-Dokumentation inklusive Signaturen, Zertifikaten etc.
- Informationen zum Gebrauch inklusive Sicherheitshinweisen und Einschränkungen für den Betreiber

Hinweis:

Nach erfolgreicher Validierung kann die EG-Konformitätserklärung bezüglich der risikomindernden Schutzmaßnahme erstellt werden.

Sicherheit aus einer Hand

Ob Erfassen, Auswerten oder Reagieren: Mit dem Safety Integrated Produktportfolio von Siemens werden alle Sicherheitsaufgaben in der Fertigungsindustrie abgedeckt. Lückenlose Sicherheitstechnik aus einer Hand, die im Sinne von Totally Integrated Automation integriert und durchgängig ist. Das heißt: sicherer, zuverlässiger und wirtschaftlicher Betrieb.

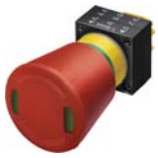
Sicherheitstechnik integrieren, Kosten sparen
Safety Integrated ist die konsequente Umsetzung von Sicherheitstechnik im Sinne von Totally Integrated Automation – unserem einzigartig umfassenden und durchgängigen Produkt- und Systemspektrum zur Realisierung von Automatisierungslösungen. D.h., sicherheitstechnische Funktionen werden konsequent in die Standardautomatisierung integriert, so dass ein durchgängiges Gesamtsystem entsteht. Der Vorteil für Maschinenhersteller wie Anlagenbetreiber: deutliche Kosteneinsparungen über den gesamten Lebenszyklus hinweg.

Mit unseren Produkten und Systemen für die Standard- und Sicherheitstechnik sowie entsprechenden Services und Training aus einer Hand können Sie sicher sein: Safety Integrated bietet immer eine schnelle und vor allem wirtschaftliche Lösung.
Unabhängig davon,

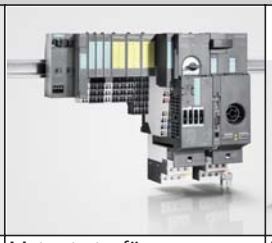
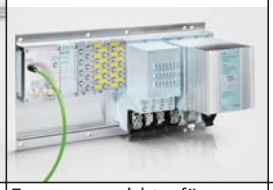
- ob Sie sich für eine konventionelle, busbasierte oder steuerungs- bzw. antriebsbasierte Lösung entscheiden (Maß an Flexibilität) und/oder,
- ob es sich um eine einfache NOT-HALT-Funktion, eine einfache Verkettung von Sicherheitskreisen oder um hochdynamische Vorgänge handelt (Maß an Komplexität).

Ob Erfassen, Auswerten oder Reagieren: Mit dem Safety Integrated Produktportfolio deckt Siemens alle Sicherheitsaufgaben in der Fertigungsindustrie ab.

Erfassen				
Produkte	SIMATIC Sensors Lichtschranken	SIMATIC Sensors Lichtvorhänge	SIMATIC Sensors Laserscanner	SIRIUS Positionsschalter, Scharnierschalter, Kurzhubschalter, Magnetschalter (berührungslos)
Zulassung	Kat. 2 und 4 nach EN 954-1 bzw. Typ 2 und 4 nach IEC/EN 61496	Kat. 2 und 4 nach EN 954-1 bzw. Typ 2 und 4 nach IEC/EN 61496 SIL 2 und 3 nach IEC/EN 61508 NRTL-gelistet	Bis Kat. 3 nach EN 954-1 bzw. Typ 3 nach IEC/EN 61496 NRTL-gelistet	Bis Kat. 4 nach EN 954-1 Bis SIL 3 nach IEC 61508 Bis PL e nach EN ISO 13849-1
Anwendung/ Sicherheits-funktionen	Berührungslos wirkende Schutzeinrichtung zur Zugangsabsicherung von Gefahrenbereichen, Gefahrenstellen und Zugängen	Berührungslos wirkende Schutzeinrichtung zur Gefahrbereichsabsicherung • Besonders störsicher und hoch verfügbar, durch speziell entwickelte, integrierte Schaltungen (ASICs) und intelligentes Auswerteverfahren • Erweiterte Funktionalitäten: Blanking, Muting, Taktsteuerung	Berührungslos wirkende Schutzeinrichtung zur Gefahrbereichsabsicherung an mobilen und stationären Anlagen • Vertikale als auch horizontale Absicherung • Flexible Schutzfeldparametrierung	Zur mechanischen Überwachung an Schutzeinrichtungen und Schutztürverriegelung
Möglichkeiten fehlersicherer Kommunikation		AS-Interface (ASIsafe) und PROFIBUS mit PROFIsafe Profil	AS-Interface (ASIsafe) und PROFIBUS mit PROFIsafe Profil	AS-Interface (ASIsafe)

Erfassen				
				
Produkte	SIRIUS NOT-HALT, Seilzugschalter, Zweihand-Bedienpult, Fußschalter, Signalsäulen und Einbauleuchten	ASIsafe sichere Module	DP/AS-i F-Link (ASIsafe Solution PROFIsafe)	SIMATIC Mobile Panel 277F IWLAN
Zulassung	Bis Kat. 4 nach EN 954-1 Bis SIL 3 nach IEC 61508 Bis PL e nach EN ISO 13849-1	Bis Kat. 4 nach EN 954-1 Bis SIL 3 nach IEC 61508 Bis PL e nach EN ISO 13849-1 NFPA 79, NRTL-gelistet	Bis Kat. 4 nach EN 954-1 Bis SIL 3 nach IEC 61508 Bis PL e nach EN ISO 13849-1 NFPA 79, NRTL-gelistet	Kat. 4 nach EN 954-1 SIL 3 nach IEC 61508
Anwendung/ Sicherheits-funktionen	NOT-HALT-Anwendungen in der Fertigungs- und Prozessindustrie; Zustandssignalisierung an Maschinen und Anlagen	Sicheres Erfassen von mechanischen und berührungslos wirkenden Schutzeinrichtungen für Sicherheitsanwendungen in der Fertigungs-automatisierung (Ausnahme: Sichere Antriebe)	Sicheres Gateway zur Übergabe der ASIsafe-Signale ins PROFIsafe-Telegramm für Sicherheitsanwendungen in der Fertigungs-automatisierung	Maschinennahes Bedienen und Beobachten von Produktionsanlagen mit sicherheitskritischen Applikationen, Durchführung von sicherheitsrelevanten Aufgaben, wie z. B. Fehlerbehebung an laufenden Anlagen Sicherheitsfunktionen: • NOT-HALT-Taster • Zwei Zustimmtaster (rechts/links) • Transponder-Identifikation und Distanzmessung zur sicheren Anmeldung und Bedienung
Möglichkeiten fehlersicherer Kommunikation	AS-Interface (ASIsafe)	AS-Interface (ASIsafe)	AS-Interface (ASIsafe) und PROFIBUS mit PROFIsafe Profil	PROFINET mit PROFIsafe Profil

Auswerten				
Produkte	SIRIUS Sicherheitsschaltgeräte 3TK28	ASIsafe Sicherheitsmonitor (ASIsafe Solution local)	SIRIUS Modulares Sicherheitssystem 3RK3	SIMATIC Peripherie
Zulassung	Bis Kat. 4 nach EN 954-1 Bis SIL 3 nach IEC 61508, Bis PL e nach EN ISO 13849-1 NFPA 79, NRTL-gelistet	Bis Kat. 4 nach EN 954-1 Bis SIL 3 nach IEC 61508 Bis PL e nach EN ISO 13849-1 NFPA 79, NRTL-gelistet	Bis Kat. 4 nach EN 954-1 Bis SIL 3 nach IEC 61508/62061 Bis PL e nach EN ISO 13849-1	Bis Kat. 4 nach EN 954-1 Bis SIL 3 nach IEC 61508 NFPA 79, NRTL-gelistet
Anwendung/ Sicherheits- funktionen	Überwachung von Schutz-einrichtungen wie z. B. NOT-HALT-Befehlsgeräte, Positionsschalter und berührungslos wirkende Sensoren; sichere Bewegungsüberwachung (z. B. sichere Stillstandsüberwachung)	Alle Sicherheitsanwendungen in der Fertigungs-automatisierung: • Sicheres Erfassen von mechanischen und berührungslos wirkenden Schutzeinrichtungen inkl. Abschalten auf 1–2 Freigabekreisen • Möglichkeit der Ansteuerung dezentraler Ausgänge, wie z. B. sichere Ventile oder Motorstarter • Kopplung zweier ASIsafe Netze	Modulares, parametrier-bares Sicherheitssystem für alle Sicherheits-anwendungen in der Fertigungs-automatisierung • Sicheres Auswerten von mechanischen und berührungslos wirkenden Schutzeinrichtungen • Integrierte Diagnosefunktion • Integrierte Signaltest- und Diskrepanzzeit-Überwachung	Skalierbare und redun-dante Peripheriesysteme • ET 200eco • ET 200M • ET 200S • ET 200pro Sicherheitsfunktionen: • Integrierte Signaltest- und Diskrepanzzeit-Überwachung • Ein dezentrales Peripheriesystem mit Standard- und fehler-sicheren Ein- und Ausgabebaugruppen • Konfiguration von Signaltest- und Diskrepanzzeit-Visua-lisierung mit STEP 7
Möglichkeiten fehlersicherer Kommunikation		AS-Interface (ASIsafe Solution local)	Diagnose über Profibus	• Profibus mit PROFIsafe Profil: alle Systeme • Profinet mit PROFIsafe Profil: ET 200S, ET 200pro

Reagieren				
				
Produkte	Motorstarter für • ET 200S (IP20) • ET 200pro (IP65)	Frequenzumrichter für • ET 200S • ET 200pro FC	Frequenzumrichter 1) SINAMICS G120 2) SINAMICS G120D	Antriebssystem SINAMICS S120
Zulassung	Bis Kat. 4 nach EN 954-1 Bis SIL 3 nach IEC 61508 NFPA 79, NRTL-gelistet	Bis Kat. 3 nach EN 954-1 Bis SIL 2 nach IEC 61508 NFPA 79, NRTL-gelistet	Bis Kat. 3 nach EN 954-1 Bis SIL 2 nach IEC 61508 NFPA 79 und 85, NRTL-gelistet	Bis Kat. 3 nach EN 954-1 Bis SIL 2 nach IEC 61508 NFPA 79, NRTL-gelistet
Anwendung/ Sicherheits-funktionen	Alle Sicherheits-anwendungen in der Fertigungsautomatisierung und dezentrale Antriebsaufgaben wie in der Fördertechnik oder bei Hubantrieben • Starten und sicheres Abschalten mit konventioneller und elektronischer Schalttechnik • Integrierter Motorschutz • Sicheres selektives Abschalten (ET 200S)	Systemintegrierter, zentraler Antrieb (Frequenzumrichter) an geberlosen Norm-asynchronmotoren Integrierte, autarke Sicherheitsfunktionen: • Sicher abgeschaltetes Moment • Sicherer Stopp 1 • Sicher begrenzte Geschwindigkeit	1) Modularer, zentraler, sicherer Frequenz-umrichter 2) Dezentraler Frequenzumrichter an geberlosen Norm-asynchronmotoren Integrierte, autarke Sicherheitsfunktionen: • Sicher abgeschaltetes Moment • Sicherer Stopp 1 • Sicher begrenzte Geschwindigkeit • Sichere Bremsenansteuerung (nur G120)	Antriebssystem für perfor-mante Motion Control-Aufgaben im Maschinen- und Anlagenbau z. B. für Verpackungs- oder Kunststoffmaschinen, Pressen, Stanzen oder Handlingsgeräte Integrierte, autarke Sicherheitsfunktionen: • Sicher abgeschaltetes Moment • Sicherer Stopp 1 und 2 • Sicherer Betriebshalt • Sicher begrenzte Geschwindigkeit • Sichere Bremsenansteuerung
Möglichkeiten fehlersicherer Kommunikation	• Solution PROFIsafe: Profibus/Profinet mit PROFIsafe Profil • Solution Local: Vor-Ort-Sicherheitsapplikation	Profibus/Profinet mit PROFIsafe Profil	Profibus/Profinet mit PROFIsafe Profil	Profibus mit PROFIsafe Profil

Begriffe zur funktionalen Sicherheit

Ausfall (failure)
Die Beendigung der Fähigkeit einer Einheit, eine geforderte Funktion zu erfüllen.

β, Beta
Faktor des Ausfalls in Folge gemeinsamer Ursache
CCF-Faktor: common cause failure factor (0,1 – 0,05 – 0,02 – 0,01)

B10
Der B10-Wert für verschleißbehaftete Komponenten wird in Anzahl Schaltspiele ausgedrückt: dies ist die Anzahl der Schaltspiele, bei der im Laufe eines Lebensdauerversuchs 10 % der Prüflinge ausgefallen sind. Mit dem B10-Wert und dem Betätigungszyklus kann die Ausfallrate für elektromechanische Komponenten errechnet werden.

CCF (common cause failure)
Ausfall in Folge gemeinsamer Ursache (z. B. Kurzschluss). Ausfälle verschiedener Einheiten aufgrund eines einzelnen Ereignisses, wobei diese Ausfälle nicht auf gegenseitiger Ursache beruhen.

DC (diagnostic coverage),
Diagnosedeckungsgrad Abnahme der Wahrscheinlichkeit gefahrbringender Hardwareausfälle, die aus der Ausführung der automatischen Diagnosetests resultiert.

Fehlertoleranz
Fähigkeit eines SRECS (sicherheitsbezogenes elektrisches Steuerungssystem), eines Teilsystems oder Teilsystem-Elements, eine geforderte Funktion beim Vorhandensein von Fehlern oder Ausfällen weiter auszuführen (Widerstandsfähigkeit gegenüber Fehlern).

Funktionale Sicherheit
Teil der Gesamtsicherheit, bezogen auf die Maschine und das Maschinen-Steuerungssystem, die von der korrekten Funktion des SRECS (sicherheitsbezogenes elektrisches Steuerungssystem), sicherheitsbezogenen Systemen anderer Technologie und externen Einrichtungen zur Risikominderung abhängt.

Gefahrbringender Ausfall (dangerous failure)
Jede Fehlfunktion in der Maschine oder in deren Energieversorgung, die das Risiko erhöht.

Kategorien B, 1, 2, 3 oder 4 (vorgesehene Architekturen)
Die Kategorien beinhalten neben qualitativen auch quantifizierbare Aspekte (wie z. B. MTTFd, DC und CCF). Mit einem vereinfachten Verfahren, auf Basis der Kategorien als "vorgesehene Architekturen", kann der erreichte PL (Performance Level) beurteilt werden.

λ, Lambda
Ausfallrate, die sich aus der Rate sicherer Ausfälle (λ_S) und der Rate gefahrbringender Ausfälle (λ_D) zusammensetzt.

MTTF / MTTFd (Mean Time To Failure/Mean Time To Failure dangerous)
Mittlere Zeit bis zu einem Ausfall bzw. gefährlichem Ausfall. Die MTTF kann für Bauelemente durch die Analyse von Felddaten oder mittels Vorhersagen durchgeführt werden. Bei einer konstanten Ausfallrate ist der Mittelwert der ausfallfreien Arbeitszeit MTTF = 1/λ , wobei Lambda λ die Ausfallrate des Geräts ist. (Statistisch gesehen kann angenommen werden, dass nach Ablauf der MTTF 63,2 % der betreffenden Komponenten ausgefallen sind.)

PL (Performance Level)
Diskreter Level, der die Fähigkeit von sicherheitsbezogenen Teilen einer Steuerung spezifiziert, eine Sicherheitsfunktion unter vorhersehbaren Bedingungen auszuführen: von PL "a" (höchste Ausfallwahrscheinlichkeit) bis PL "e" (niedrigste Ausfallwahrscheinlichkeit).

PFH_D (Probability of dangerous failure per hour)
Wahrscheinlichkeit eines gefahrbringenden Ausfalls pro Stunde.

Proof-Test, Wiederholungsprüfung
Wiederkehrende Prüfung, die Fehler oder eine Verschlechterung in einem SRECS und seinen Teilsystemen erkennen kann, so dass, falls notwendig, das SRECS und seine Teilsysteme in einen "Wie-neu-Zustand" oder so nah wie praktisch möglich diesem Zustand entsprechend wiederhergestellt werden können.

SFF (safe failure fraction)
Anteil sicherer Ausfälle an der Gesamtausfallrate eines Teilsystems, der nicht zu einem gefahrbringenden Ausfall führt.

SIL (Safety Integrity Level) Sicherheits-Integritätslevel
Diskrete Stufe (eine von drei möglichen) zur Festlegung der Anforderungen zur Sicherheitsintegrität der sicherheitsbezogenen Steuerungsfunktionen, die dem SRECS zugeordnet wird, wobei der Sicherheits-Integritätslevel 3 den höchsten und der Sicherheits-Integritätslevel 1 den niedrigsten Sicherheits-Integritätslevel darstellt.

SIL CL (Claim Limit), SIL-Anspruchsgrenze
Maximaler SIL, der für ein SRECS-Teilsystem in Bezug auf strukturelle Einschränkungen und systematische Sicherheitsintegrität beansprucht werden kann.

Sicherheitsfunktion
Funktion einer Maschine, wobei ein Ausfall dieser Funktion zur unmittelbaren Erhöhung des Risikos (der Risiken) führen kann.

SRCF (Safety-Related Control Function), Steuerungsfunktion
Vom SRECS ausgeführte sicherheitsbezogene Steuerungsfunktion mit einem festgelegten Integritätslevel, die dazu vorgesehen ist, den sicheren Zustand der Maschine aufrechtzuerhalten oder einen unmittelbaren Anstieg von Risiken zu verhindern.

SRECS (Safety-Related Electrical Control System)
Sicherheitsbezogenes elektrisches Steuerungssystem einer Maschine, dessen Ausfall zu einer unmittelbaren Erhöhung von Risiken führt.

SRP/CS (Safety-Related Parts of Control System)
Sicherheitsbezogenes Teil einer Steuerung, das auf sicherheitsbezogene Eingangssignale reagiert und sicherheitsbezogene Ausgangssignale erzeugt.

Teilsystem
Einheit des Architekturentwurfs des SRECS auf oberster Ebene, wobei ein Ausfall irgendeines Teilsystems zu einem Ausfall der sicherheitsbezogenen Steuerungsfunktion führt.

Teilsystem-Element
Teil eines Teilsystems, das ein einzelnes Bauteil oder irgendeine Gruppe von Bauteilen umfasst.

Sicherheitstechnik in der Praxis

Hinweis:

(Zum Thema "Funktionale Sicherheit von Maschinen und Anlagen" gibt es ein ausführliches Buch mit 350 Seiten von Patrick Gehlen: ISBN-13: 978-3-89578-281-7 bzw. ISBN-10: 3-89578-281-5)

Durch die Tatsache, dass neben elektrischen zunehmend auch elektronische Komponenten für sicherheitstechnische Aufgaben eingesetzt werden, ergeben sich neuartige Lösungsansätze. Eine wichtige Rolle für die "Funktionale Sicherheit" spielt dabei die IEC 61508.

Worterklärung:

Vereinfacht lässt sich die "Funktionale Sicherheit" als die Sicherheit vor einer Gefährdung definieren, die aus einer (fehlerhaften) Funktion einer Einrichtung resultiert.

Wichtig ist deshalb das Zusammenspiel zwischen der Funktionalen Sicherheit und der Maschinensicherheit zu verdeutlichen. Die Basis dafür ist die Maschinenrichtlinie (MRL).
Die Maschinenrichtlinie ist eine der europäischen Binnenmarkt-Richtlinien gemäß Artikel 95 des EG-Vertrags und regelt den freien Warenverkehr innerhalb der Europäischen Union (EU). In Deutschland gibt es zudem das Geräte- und Produktsicherheitsgesetz (GPSG), das Hersteller und Errichter einer Maschine (bzw. Anlage) gesetzlich dazu verpflichtet, die Maschinenrichtlinie einzuhalten.
Als Ergebnis der CE-Konformitätskennzeichnung muss an jeder Maschine bzw. Anlage, die im europäischen Wirtschaftsraum in Verkehr gebracht wird, eine CE-Kennzeichnung gemäß der Maschinenrichtlinie sichtbar angebracht sein.

Beachte:

Erst mit der Unterzeichnung der EG-Konformitätserklärung durch den Hersteller bzw. Errichter wird die Konformität mit der Maschinenrichtlinie dokumentiert. Dazu muss er vorher allerdings eine Konformitätsbewertung durchführen.

Im Amtsblatt der EU veröffentlicht die europäische Kommission eine Liste europäischer Normen, die zur Umsetzung der MRL bzw. des GPSG herangezogen werden können; diese Normen werden auch harmonisierte Normen genannt. Sie sind unterteilt in: Typ A (Grundnormen), Typ B (Gruppennormen), Typ C (Produktnormen).
Bei Einhaltung der harmonisierten Normen kann der Hersteller bzw. Betreiber einer Maschine/Anlage vermuten, dass eine oder mehrere grundlegende Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen der Maschinenrichtlinie erfüllt sind.

Beachte:

Hier gilt die so genannte Vermutungswirkung.

TIPP:

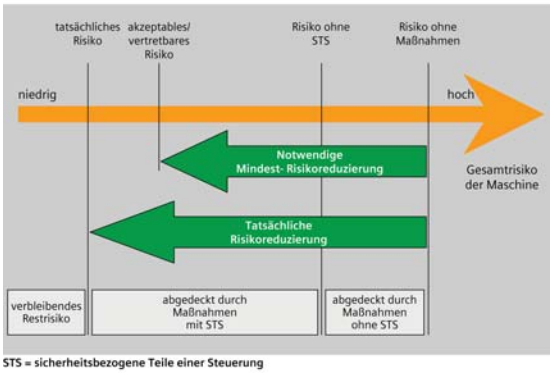
Gibt es keine Produktnormen (Typ C) (z. B. für Pressen, Holzbearbeitungsmaschinen, etc.), muss die Maschine nach den entsprechenden Normen Typ A und Typ B entworfen werden.

Der Entwurfsprozess einer Maschine muss so lange wiederholt werden (iterativer Prozess) bis die geforderte Risikominderung erreicht ist. Bei der Risikoeinschätzung und -beurteilung hilft die EN ISO 12100 und die EN ISO 14121.

Worterklärung:

Risiko ist die Kombination von Ausmaß des möglichen Schadens und Wahrscheinlichkeit des Schadeneintritts. Die Sicherheit für Mensch, Maschine und Umwelt wird durch ein tolerierbares Risiko definiert - dem so genannten "Restrisiko".

Risikomindernde Maßnahmen müssen so lange durchgeführt werden, bis ein tolerierbares Risiko-Niveau erreicht ist.

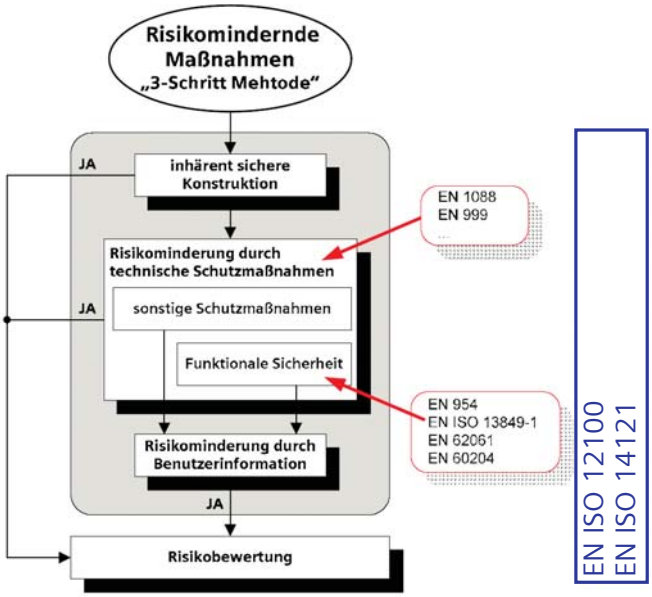


STS = sicherheitsbezogene Teile einer Steuerung

Ein wichtiger Aspekt bei der Umsetzung technischer Maßnahmen zur Risikominderung ist die so genannte "3-Schritt-Methode". Der Grundgedanke dabei ist, dass immer erst die (eigensichere) inhärent sichere Konstruktion (z. B. Momentenreduktion, Bewegungsbegrenzung) als risikomindernde Maßnahme betrachtet wird, bevor technische Schutzmaßnahmen in Erwägung gezogen werden.

Basiert die risikomindernde Maßnahme auf einer Maschinen- oder Anlagensteuerung (z. B. Sicherheitsschaltgerät, fehlersichere SPS, etc.), dann wird von funktionaler Sicherheit gesprochen. Entsprechend der eingesetzten Technik können hierbei zwei Normen zum Tragen kommen:

- bei nicht elektrischen/elektronischen oder elektromechanischen Komponenten ist die ISO 13849-1 und -2 anzuwenden.
- sobald komplexe elektrische/elektronische Teile von Steuerungen und/oder eine Anwendersoftware zur Programmierung der Sicherheitsfunktion benötigt werden, bietet sich die IEC 62061 an.



Beachte:

Entscheidend für die funktionale Sicherheit ist, dass nicht nur Teile einer Sicherheitsfunktion betrachtet werden, sondern dass die gesamte Funktion bewertet wird. Dieser Ansatz ist neuartig.

Grundsätzliches Ziel von sicherheitsrelevanten Steuer- und Überwachungsfunktionen ist das Vermindern der Wahrscheinlichkeit, dass ein gefährliches Ereignis eintritt.

In diesem Zusammenhang spricht man von einer Sicherheitsfunktion als risikomindernde Maßnahme. Diese besteht in der Regel aus Eingangskreis, Auswertung und Ausgangskreis.

Beispiel:

Sobald eine Schutztür geöffnet wird soll ein Antrieb stillgesetzt werden.

Die so genannte Sicherheitsintegrität ist ein neues Maß für die "Versagenswahrscheinlichkeit" (bzw. Zuverlässigkeit). Denn die derzeit gültige EN 954-1 (aus dem Jahr 1996) beschreibt die Sicherheitsanforderungen nicht mehr in der Weise wie sie der technologische Fortschritt erfordert.
In der ISO 13849-1:2006 (als Nachfolgenorm der EN 954-1) wird von dem Performance Level (PL a, b, c, d oder e) und in der EN 62061 von Sicherheitsintegritätslevel (SIL 1, 2 oder 3) gesprochen.

Performance Level (PL) (ISO 13849-1)	Wahrscheinlichkeit gefahrbringender Ausfälle pro Stunde	SIL (IEC 61508, IEC 62061)
a	$\geq 10^{-5}$ to $< 10^{-4}$	-
b	$\geq 3 \times 10^{-6}$ to $< 10^{-5}$	SIL 1
c	$\geq 10^{-6}$ to $< 3 \times 10^{-6}$	SIL 1
d	$\geq 10^{-7}$ to $< 10^{-6}$	SIL 2
e	$\geq 10^{-8}$ to $< 10^{-7}$	SIL 3

Beispiel: SIL 3 oder PL e bedeutet, dass die Sicherheitsfunktion nicht mehr als einmal in 1.000 Jahren (statistisch) gefährlich versagt.

Hinweis:

Sobald eine Software Bestandteil einer Sicherheitsfunktion ist, gilt es auch hier die Sicherheitsintegrität durch entsprechende Maßnahmen zu gewährleisten.

Für verschleißbehaftete bzw. elektromechanische Komponenten muss die Ausfallrate aufgrund des Betätigungszyklus je nach Applikation berechnet werden. Deshalb werden diese Komponenten mit dem B10-Wert qualifiziert. Dieser Wert drückt die Anzahl der Schaltspiele aus, nach denen 10 Prozent aller Geräte ausgefallen sind. Der Komponentenhersteller muss diesen Wert zur Verfügung stellen.
Ziel ist, dass die gefährliche Ausfallwahrscheinlichkeit der Sicherheitsfunktion einen gewissen Wert nicht überschreitet. Hierzu gibt es unterschiedliche Maßnahmen:

- Diagnose, um Fehler aufzudecken, die zu gefährlichen Ausfällen führen können
- Redundante Struktur, die eine Reaktion ermöglicht, wenn ein Fehler erkannt wurde und falls erforderlich
- Redundanz um die Ausfallwahrscheinlichkeit zu verringern

Bezüglich der erreichbaren Sicherheitsintegrität unterscheiden sich die ISO 13849-1 und IEC 62061 in der Vorgehensweise, z. B.:

- Die ISO 13849-1 verwendet die Kategorien mit "vorgesehenen Architekturen", die mit der Fehlertoleranz und dem Diagnosedeckungsgrad (DC) charakterisiert werden
- Die IEC 62061 betrachtet für jede Architektur als "Teilsystem" die Fehlertoleranz, die Diagnosefähigkeit und den Anteil der Fehler, die zu einem sicheren Zustand führen

Empfehlung der B10-Werte unter Standardbedingungen		
SIRIUS Produktgruppe (elektromechanische Komponenten)	B10-Wert (Schaltspiele)	Anteil gefahrbringender Ausfälle
NOT-AUS/NOT-HALT Befehlsgeräte (mit zwangsöffnenden Kontakten) - drehentriegelt - zugentriegelt	 100.000 30.000	 20 % 20 %
Seilzugschalter für NOT-AUS/NOT-HALT Funktion (mit zwangsöffnenden Kontakten)	1.000.000	20 %
Standard-Positionsschalter (mit zwangsöffnenden Kontakten)	10.000.000	20 %
Positionsschalter mit getrenntem Betätiger (mit zwangsöffnenden Kontakten)	1.000.000	20 %
Positionsschalter mit Zuhaltung (mit zwangsöffnenden Kontakten)	1.000.000	20 %
Scharnierschalter (mit zwangsöffnenden Kontakten)	1.000.000	20 %
Drucktaster (nicht verrastend) (mit zwangsöffnenden Kontakten)	10.000.000	20 %
Schütze / Motorstarter (mit zwangsgeführten Kontakten)	1.000.000	75 %

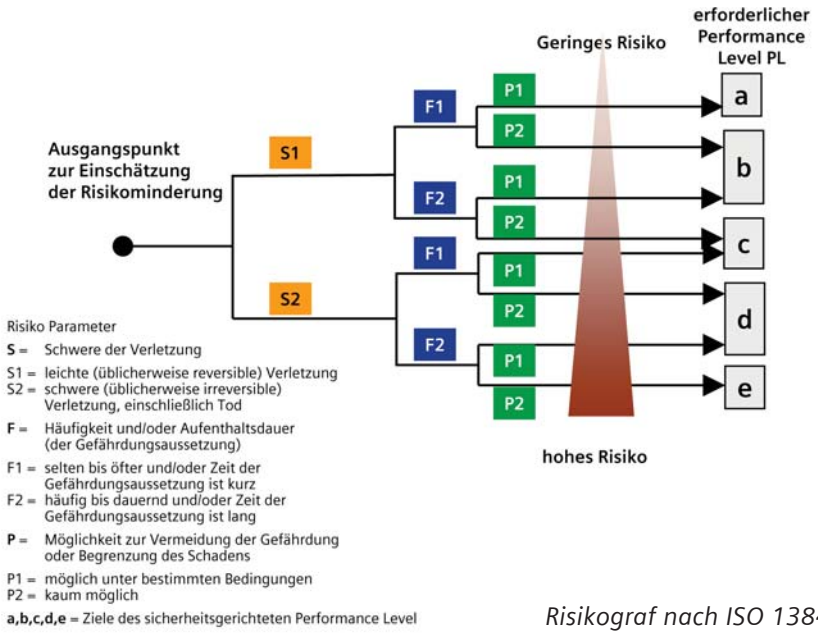
B10-Werte nach SN 31920: Mit dem B10-Wert und dem anwendungsspezifischen Betätigungszyklus kann die Ausfallrate ermittelt werden.

TIPP:

Zur Risikominderung über den gesamten Lebenszyklus wird in der IEC 62061 der "Plan der Funktionalen Sicherheit" (Sicherheitsplan) eingeführt. Diesen findet man nicht explizit in der ISO 13849-1. Allerdings sind Anwender gut beraten, auch in der ISO 13849-1 einen solchen zu verwenden. Darin sollten folgende Inhalte beschrieben sein:

- Notwendige Aktivitäten
- Strategie zur Erfüllung der Sicherheitsanforderungen
- Strategie zur Realisierung der Sicherheitsfunktionen
- Identifizierung der Personen und Zuständigkeiten
- Wartung der Sicherheitsfunktionen
- Testplan
- Validierungsplan

In Abhängigkeit der Gefahrenbeurteilung ergibt sich für jede Sicherheitsfunktion eine geforderte Sicherheitsintegrität. In der ISO 13849-1 wird dazu ein Risikograf angeboten und in der IEC 62061 erfolgt die Einstufung durch eine SIL-Zuordnungstabelle.

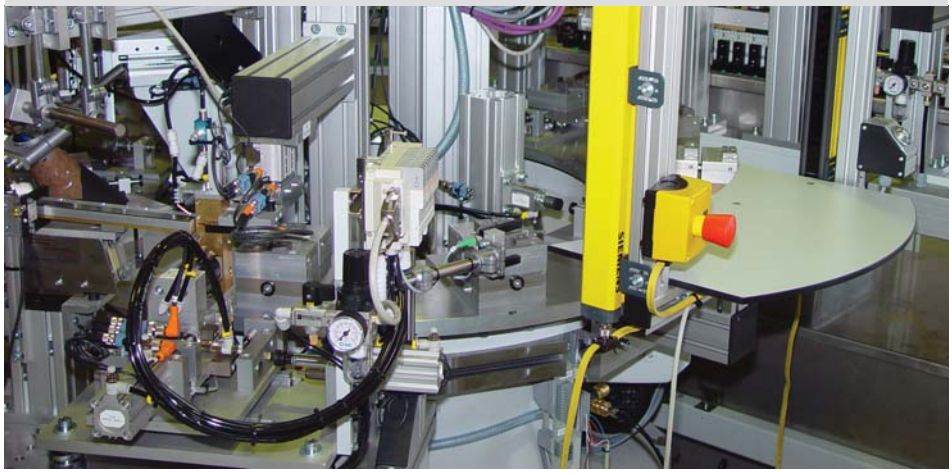


Risikograf nach ISO 13849-1

Die Diagnose erlaubt es die Wahrscheinlichkeit gefährlicher Ausfälle zu vermindern. D.h. Fehler werden erkannt bevor sie zu einem gefährlichen Ausfall führen:

- *in einem System ohne Fehlertoleranz muss ein Fehler innerhalb der spezifizierten Reaktionszeit aufgedeckt werden*
- *in einem System mit einfacher Fehlertoleranz muss der erste Fehler aufgedeckt werden bevor die Wahrscheinlichkeit eines zweiten Fehlers überschritten wird.*

Dies bedeutet auch, dass wenn die Diagnose einen Fehler aufdeckt, eine sicherheitsgerichtete Reaktion, eine so genannte Fehlerreaktion, eingeleitet werden muss. Der Diagnosedeckungsgrad DC (en: diagnostic coverage) drückt diese Fähigkeit der Fehleraufdeckung aus.



SIL-Zuordnungstabelle nach IEC 62061

Risikobeurteilung und Sicherheitsmaßnahmen

Dokument Nr.:
Teil:

☐ vorläufige Risibobeurteilung
☐ zwischenzeitliche Riskobeurteilung
☐ nachfolgende Risikobeurteilung

Produkt: _____
Hersteller: _____
Datum: _____

Auswirkungen	Schadens-ausmaß	Klasse K					Häufigkeit und/oder Aufenthaltsdauer		Eintrittswahrscheinlichkeit des Gefährdungsereignis		Möglichkeit zur Vermeidung	
	S	3-4	5-7	8-10	11-13	14-15	F		W		P	
Tod, Verlust von Auge oder Arm	4	SIL 2	SIL 2	SIL 2	SIL 3	SIL 3	≤ 1 Stunde	5	häufig	5		
Permanent, Verlust von Fingern	3		AM	SIL 1	SIL 2	SIL 3	> 1 h bis ≤ 1 Tag	5	wahrscheinlich	4		
Reversibel, medizinische Behandlung	2			AM	SIL 1	SIL 2	> 1 Tag bis ≤ 2 Wo.	4	möglich	3	unmöglich	5
Reversibel, Erste Hilfe	1				AM	SIL 1	> 2 Wo. bis ≤ 1 Jahr	3	selten	2	möglich	3
							> 1 Jahr	2	vernachlässigbar	1	wahrscheinlich	1

Ser Nr.	Gefahr Nr.	Gefährdung	S	F	W	P	K	Sicherheitsmaßnahmen	Sicher

Kommentare

AM = andere Maßnahmen

Produkte und Systeme für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen

In vielen Industrien entstehen oder entweichen bei der Herstellung, der Verarbeitung, dem Transport und der Lagerung von brennbaren Stoffen Gase, Dämpfe oder Nebel, die an die Umgebung freigegeben werden. In anderen Prozessen entstehen brennbare Stäube. In Verbindung mit dem Sauerstoff der Luft kann eine explosionsfähige Atmosphäre entstehen, welche bei einer Entzündung zu einer Explosion führt. Besonders in der chemischen und petrochemischen Industrie, bei der Förderung von Erdöl und Erdgas, im Bergbau, bei Mühlen (z.B. Getreide, Feststoffe) und in vielen anderen Industriezweigen können dadurch schwerwiegende Schäden an Personen und Einrichtungen auftreten. Um in diesen Bereichen ein möglichst hohes Sicherheitsniveau zu gewährleisten, haben die Gesetzgeber der meisten Staaten entsprechende Auflagen in Form von Gesetzen, Verordnungen und Normen entwikkelt. Im Zuge der Globalisierung konnten große Fortschritte hinsichtlich einheitlicher Richtlinien für den Explosionsschutz erzielt werden.

Hinweis:

Die Europäische Union hat mit der Richtlinie 94/9/EG die Voraussetzungen für eine vollständige Vereinheitlichung geschaffen, denn seit dem 1. Juli 2003 müssen alle neuen Geräte nach dieser Richtlinie zugelassen sein.

Physikalische Grundlagen und Kenngrößen

Eine plötzliche chemische Reaktion eines brennbaren Stoffs mit Sauerstoff unter Freisetzung hoher Energie führt zu einer Explosion. Brennbare Stoffe können hierbei Gase, Nebel, Dämpfe oder Stäube sein. Eine Explosion kann nur ablaufen, wenn drei Faktoren zusammenkommen:

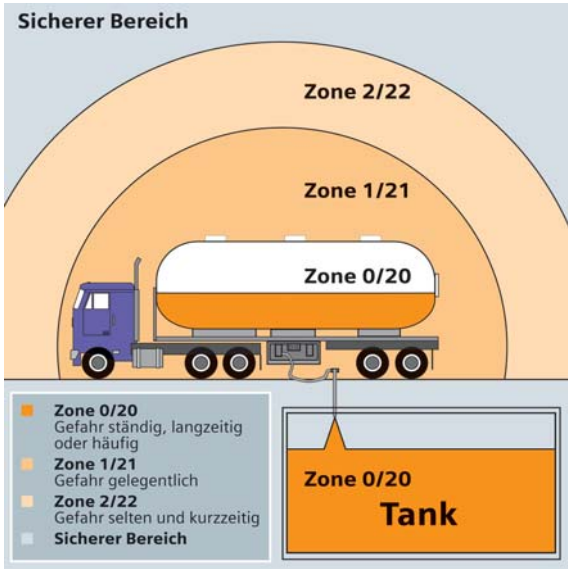
- brennbarer Stoff (in entsprechender Verteilung und Konzentration)
- Sauerstoff (in der Luft)
- Zündquelle (z.B. elektrischer Funken)

Primärer und sekundärer Explosionsschutz:

Das Prinzip des integrierten Explosionsschutzes erfordert es, dass alle Maßnahmen zum Explosionsschutz in einer festgelegten Reihenfolge vorzusehen sind. Hierbei unterscheidet man zwischen primären und sekundären Schutzmaßnahmen.

Unter primärem Explosionsschutz versteht man alle Maßnahmen, die verhindern, dass eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre entsteht. Folgende Schutzmaßnahmen können ergriffen werden, damit die Gefahr einer Explosion minimiert wird:

- Vermeidung brennbarer Stoffe
- Inertisierung (Zugabe von Stickstoff, Kohlendioxid usw.)
- Konzentrationen begrenzen
- Verbesserte Belüftung
- Sekundärer Explosionsschutz ist erforderlich, wenn Explosionsgefahr durch primäre Explosionsschutz-Maßnahmen gar nicht oder nur unvollständig auszuschließen ist.



Beim Explosionsschutz werden unterschiedliche Zonen unterschieden.

Für die Charakterisierung von Gefahrenpotenzialen ist die Betrachtung sicherheitstechnischer Kenngrößen notwendig:

Flammpunkt

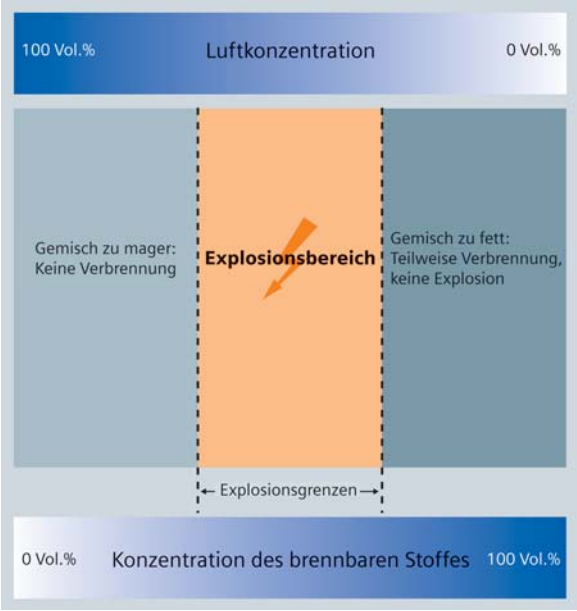
Hierbei gibt der Flammpunkt für brennbare Flüssigkeiten die niedrigste Temperatur an, bei der sich über dem Flüssigkeitsspiegel ein durch Fremdentzündung entflammbares Dampf-Luft-Gemisch bildet. Liegt der Flammpunkt einer solchen brennbaren Flüssigkeit deutlich über den maximal auftretenden Temperaturen, kann sich dort keine explosionsfähige Atmosphäre bilden. Der Flammpunkt einer Mischung verschiedener Flüssigkeiten kann aber auch tiefer liegen als der Flammpunkt der einzelnen Komponenten.

Gefahrenklasse	Flammpunkt
AI	< 21 °C
AII	21 ... 55 °C
AIII	> 55 ... 100 °C
B	< 21°C, ... 15°C in Wasser löslich

Brennbare Flüssigkeiten werden in den technischen Regeln in vier Gefahrenklassen eingeteilt.

Explosionsgrenzen

Eine explosionsfähige Atmosphäre bildet sich bei brennbaren Stoffen, wenn diese in einem bestimmten Konzentrationsbereich vorliegen. Bei zu geringen Konzentrationen (mageres Gemisch) und bei zu hoher Konzentration (fettes Gemisch) findet keine Explosion, sondern eine langsame bis zu keiner Verbrennungsaktion statt. Nur im Bereich zwischen der oberen und der unteren Explosionsgrenze reagiert das Gemisch bei Zündung explosionsartig.



Die Konzentration brennbarer Stoffe entscheidet, ob eine Explosion stattfinden kann.

Hinweis:

Die Explosionsgrenzen hängen vom Umgebungsdruck und vom Sauerstoffanteil der Luft ab.

Stoff-bezeichnung	untere Explosions-grenze	obere Explosionsgrenze
Acetylen	2,3 Vol. %	78,0 (Selbstzerfall) Vol. %
Äthylen	2,3 Vol. %	32,4 Vol. %
Benzin	~ 0,6 Vol. %	~ 8 Vol. %
Benzol	1,2 Vol. %	8 Vol. %
Erdgas	4,0 (7,0) Vol. %	13,0 (17,0) Vol. %
Heizöl/Diesel	~ 0,6 Vol. %	~ 6,5 Vol. %
Methan	4,4 Vol. %	16,5 Vol. %
Propan	1,7 Vol. %	10,9 Vol. %
Schwefelkohlenstoff	0,6 Vol. %	60,0 Vol. %
Stadtgas	4,0 (6,0) Vol. %	30,0 (40,0) Vol. %
Wasserstoff	4,0 Vol. %	77,0 Vol. %

Exposionsgrenzen einiger gängiger Materialien.

Hinweis:

Abhängig von der Geschwindigkeit der ablaufenden Verbrennung wird von einer Verpuffung, Explosion oder Detonation gesprochen.

Eine explosionsfähige Atmosphäre liegt vor, wenn bei einer Zündung Gefahr für Mensch oder Sachgüter gegeben ist. Eine explosionsfähige Atmosphäre selbst von einem geringen Volumen kann in einem geschlossenen Raum schon zu gefährlichen Explosionen führen.

Stäube

In industriellen Bereichen, z.B. in chemischen Fabriken oder in Getreidemühlen, kommen häufig feste Stoffe in zerkleinerter Form vor (z. B. in Form von Staub).

Der Begriff Staub wird in der EN 61241-14 festgelegt als “kleine Feststoffteilchen, die in der Atmosphäre einige Zeit suspendiert sein können, sich aber unter ihrem eigenen Gewicht absetzen (schließt Staub und Grobstaub ein, wie in ISO 4225 definiert)”. Staubablagerungen sind mit einem porösen Körper vergleichbar und besitzen einen Hohlraumanteil von bis zu 90 %. Wird die Temperatur von Staubablagerungen erhöht, kann dies zur Selbstentzündung des staubförmigen brennbaren Stoffs führen.

Werden abgelagerte Stäube mit kleiner Korngröße aufgewirbelt, besteht Explosionsgefahr. Sie erhöht sich mit zunehmender Zerkleinerung, da die Oberfläche des Hohlraums größer wird. Nicht selten sind Staubexplosionen die Folge aufgewirbelter glimmender Staubschichten, die das Zündinitial in sich tragen.

Auch Explosionen von Gas- oder Dampf-Luft-Gemischen können Staub aufwirbeln, wobei dann häufig die Gasexplosion in die Staubexplosion übergeht. In Steinkohlegruben hatten Methangas-Explosionen häufig Kohlestaubexplosionen zur Folge, die in ihrer Wirkung oft die Gasexplosionen übertrafen.

Die Gefahr einer Explosion wird verhindert, indem explosionsgeschützte Geräte entsprechend ihrer Schutzeignung eingesetzt werden. Die Kennzeichnung der Gerätekategorie spiegelt die Wirksamkeit des Explosionsschutzes wider und somit die Verwendung in entsprechenden explosionsgefährdeten Bereichen. Das Gefährdungspotenzial explosiver Staubatmosphären und die Auswahl entsprechender Schutzmaßnahmen wird anhand von sicherheitstechnischen Kenngrößen der beteiligten Stoffe beurteilt.

Dazu werden Stäube nach zwei ihrer stoffspezifischen Eigenschaften unterteilt:

- Leitfähigkeit
  Als leitfähig bezeichnet man Stäube mit einem spezifischen elektrischen Widerstand bis zu 10^3 Ohm.
- Brennbarkeit
  Brennbare Stäube zeichnen sich hingegen dadurch aus, dass sie in Luft brennen oder glimmen können und dass sie bei atmosphärischem Druck und bei Temperaturen von -20 °C bis +60 °C zusammen mit Luft explosionsfähige Gemische bilden.

Hinweis:

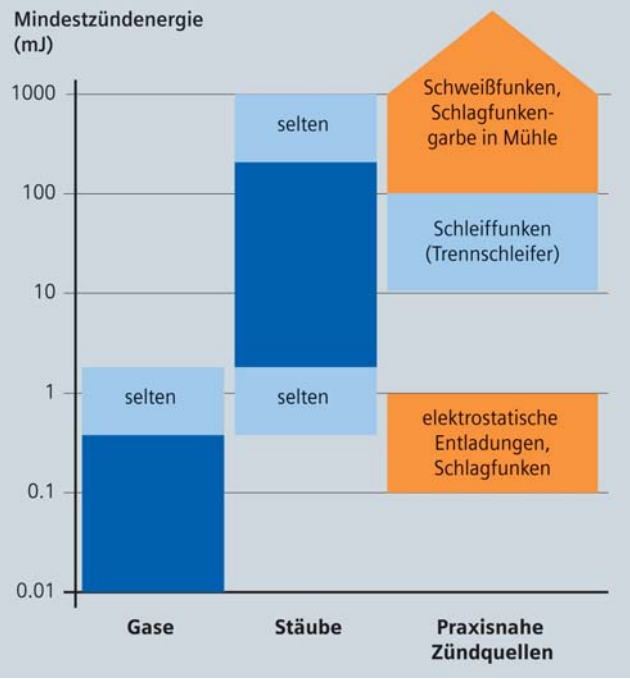
Sicherheitstechnische Kenngrößen bei aufgewirbelten Stäuben sind beispielsweise die Mindestzündenergie und die Zündtemperatur, während bei abgelagerten Stäuben die Glimmtemperatur eine charakteristische Eigenschaft ist.

Mindestzündenergie

Zur Zündung einer explosionsfähigen Atmosphäre ist die Zufuhr einer bestimmten Energie erforderlich. Unter der Mindestzündenergie versteht man die kleinstmögliche umgesetzte Energie, z.B. bei Entladung eines Kondensators, die das entsprechende zündwillige Gemisch gerade noch entzündet. Die Mindestzündenergie liegt im Bereich von etwa 10^{-5} Joule für Wasserstoff bis zu einigen Joule für bestimmte Stäube.

Wodurch kann eine Zündung erfolgen?

- Heiße Oberflächen
- Adiabatische[1)] Kompression
- Ultraschall
- Ionisierte Strahlung
- Offene Flammen
- Chemische Reaktion
- Optische Strahlung
- Elektromagnetische Strahlung
- Elektrostatische Entladung
- Mechanische Reib- oder Schlagfunken
- Elektrische Funken und Lichtbögen
- Ionisierte Strahlung



Mindestzündenergie verschiedener Umgebungen.

[1)] *Eine adiabatische Zustandsänderung ist ein thermodynamischer Vorgang, bei dem ein System von einem Zustand in einen anderen Zustand überführt wird, ohne Wärmeenergie mit seiner Umgebung auszutauschen.*

Rechtliche Grundlagen und Normen

Rechtliche Grundlagen des Explosionsschutzes

Weltweit ist der Explosionsschutz durch die Regierungen der einzelnen Staaten gesetzlich geregelt. Länderspezifische Unterschiede in den technischen Anforderungen und den geforderten Zulassungen für explosionsgeschützte Geräte stellen hohe Anforderungen vor allem für global operierende Hersteller dar und erfordern einen hohen Entwicklungs- und Zulassungsaufwand. Seit längerer Zeit gibt es deshalb vor allem bei den

führenden Industrienationen ein Interesse, durch Harmonisierung der einschlägigen technischen Normen die Handelshemmnisse abzubauen und parallel dazu einheitliche Sicherheitsstandards zu realisieren. Innerhalb der Europäischen Union ist der Harmonisierungsprozess im Bereich des Explosionsschutzes inzwischen weitgehend abgeschlossen. Auf internationaler Ebene versucht die IEC, mit dem momentan sehr eingeschränkt akzeptierten IECEx Scheme (www.iecex.com) dem Ziel "weltweit eine Prüfung und ein Zertifikat" näher zu kommen.

EU-Richtlinien / CE-Zeichen

In der Europäischen Union ist der Explosionsschutz durch Richtlinien und Gesetze geregelt. Elektrische Geräte müssen innerhalb der EU entsprechenden Bestimmungen genügen. Sind diese Anforderungen erfüllt, kann ein Hersteller das betreffende Gerät mit dem CE-Zeichen versehen. In diesem Zusammenhang ist jeder Missbrauch strafbar. Nach der ATEX-Richtlinie [1)] wird dieses Zeichen für den Explosionsschutz bei bestimmter Geräteklassifizierung – wenn gefordert – um die Nummer der notifizierten Stelle erweitert, die die Anerkennung des Qualitätssicherungssystems durchgeführt hat, z. B. für die Physikalisch Technische Bundesanstalt in Braunschweig CE 0102 . Die ATEX-Richtlinien gelten im Gegensatz zu nicht-europäischen Gesetzen auch für nicht-elektrische Geräte, z. B. pneumatische Antriebe.
Entsprechende Anlagen und Einrichtungen sind als sog. überwachungsbedürftige Anlagen eingestuft und dürfen nur hierfür zugelassene Geräte verwenden. Daneben müssen Inbetriebnahme, Änderungen und regelmäßige Sicherheitsinspektionen von staatlich zugelassenen Institutionen oder Gesellschaften abgenommen bzw. durchgeführt werden. Den gesetzlichen Rahmen bilden die EU-Richtlinien, die für alle EU-Mitgliedsstaaten verbindlich erlassen werden.

Wichtige EU-Richtlinien (RL)

Kurzbezeichnung	Vollständiger Text	RL-Nr.	gültig seit
Niederspannungs-RL	Richtlinie 2006/95/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten betreffend elektrische Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen	2006/95/EC	16.01.2007
EMV-RL	Richtlinie 2004/108/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Dezember 2004 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit und zur Aufhebung der Richtlinie 89/336/EWG	2004/108/EC	20.01.2005
Maschinen-RL	Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung)	2006/42/EC	29.06.2006
ATEX-RL	Richtlinie 94/9/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. März 1994 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemässen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen	94/9/EC	09.05.1994
Druckgeräte-RL	Richtlinie 97/23/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. Mai 1997 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Druckgeräte	97/23/EC	29.07.1997
ATEX 137 (alt: ATEX 118a)	Mindestvorschriften zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphäre gefährdet werden können*	99/92/EG	16.12.1999[2)]

1) ATEX ist die Abkürzung für ATmosphaére EXplosible.

2) Die Übergangsvorschriften sind in den jeweiligen nationalen Gesetzen festgelegt. Für Deutschland gilt die BetrSichV (Betriebssicherheitsverordnung).

Nationale Gesetze und Verordnungen
Im allgemeinen sind EU-Richtlinien europäisches Recht, das unverändert in den einzelnen Mitgliedsstaaten durch nationale Ratifizierung übernommen werden muss. Die RL 94/9/EG ist inhaltsgleich in der Explosionsschutzverordnung ExVO als deutsches Recht verabschiedet. Das grundlegende Gesetzeswerk für technische Arbeitsmittel ist das Gerätesicherheitsgesetz (GSG), dem die ExVO als eigene Verordnung angegliedert ist (11. GSGV).
Dagegen enthält die ATEX 137 (RL - 1999/92/EG) nur "Mindestvorschriften zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer an explosionsgefährdeten Arbeitsplätzen", so dass jeder EU-Mitgliedsstaat über die Mindestanforderungen hinausgehende eigene Vorschriften erlassen kann. In der Bundesrepublik Deutschland sind die Inhalte der Richtlinie in der Betriebssicherheitsverordnung umgesetzt. Im Sinne einer Rechtsvereinfachung wurden in der BetrSichV gleichzeitig die Inhalte mehrerer früherer Verordnungen zusammengefasst. Aus dem Bereich des Explosionsschutzes waren dies:

- Verordnung über elektrische Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen (ElexV)
- Acetylenverordnung
- Verordnung über brennbare Flüssigkeiten

Diese Verordnungen wurden mit dem Inkrafttreten der BetrSichV zum 01.01.2003 außer Kraft gesetzt.

Explosionsschutz-Richtlinien (EX-RL) der Berufsgenossenschaften
In den "Richtlinien für die Vermeidung der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre mit Beispielsammlung" der Berufsgenossenschaft Chemie werden konkrete Hinweise auf die Gefahren in explosionsgefährdeten Bereichen gegeben und Maßnahmen zu ihrer Abwendung bzw. Minderung aufgezeigt.
Hierzu dient insbesondere die Beispielsammlung, in der diese Maßnahmen an einzelnen explosionsgefährdeten Prozessanlagen der verschiedensten Industriezweige detailliert aufgeführt werden.
Wertvolle Anregungen und Risikoabschätzungen stehen hiermit für Planer und Betreiber solcher oder vergleichbarer Prozessanlagen zur Verfügung.
Die EX-RL haben zwar keinen gesetzlichen Status, sind jedoch als wichtige Empfehlungen zu verstehen, die gerade auch bei eventuellen Schadensfällen zur Rechtsfindung unterstützend herangezogen werden können.

Normen
Für den Bereich des Explosionsschutzes existiert weltweit eine Vielzahl an Fachnormen. Die Normenlandschaft ist dabei ständigen Änderungen unterworfen. Dies ist bedingt durch Anpassungen an den technischen Fortschritt wie auch durch höhere gesellschaftliche Anforderungen an die Sicherheit. Daneben tragen aber auch die internationalen Harmonisierungsbestrebungen bei, mit dem Ziel, möglichst weltweit, einheitlicher Sicherheitsstandards und der damit verbundenen Beseitigung von Handelshemmnissen.

EU-Normen
Die in der Europäischen Union geltenden Normen für den Explosionsschutz werden auf Basis der EU-Richtlinien unter der Leitung von CENELEC (Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung) erstellt. Mitglieder von CENELEC sind die nationalen Komitees der Mitgliedsländer. Da mittlerweile die Normung auf internationaler Ebene durch hohe Dynamik in der IEC (International Electronic Comission) stark an Bedeutung gewonnen hat, hat CENELEC entschieden, Normen nur noch im sog. Parallelverfahren mit IEC zu beschließen.
Das bedeutet praktisch, dass europäische Normen im Bereich der Elektrotechnik fast nur noch auf Basis von IEC-Normen als harmonisierte EN-Normen entstehen oder neugefasst werden. Für den Bereich Explosionsschutz sind dies hauptsächlich die Normen der Reihen EN 60079 und EN 61241.

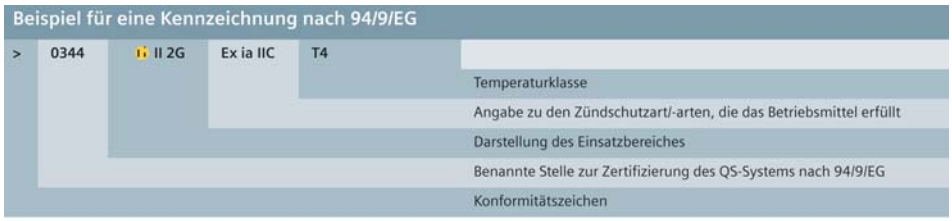
Die Nummern harmonisierter europäischer Normen sind nach folgendem Schema aufgebaut.

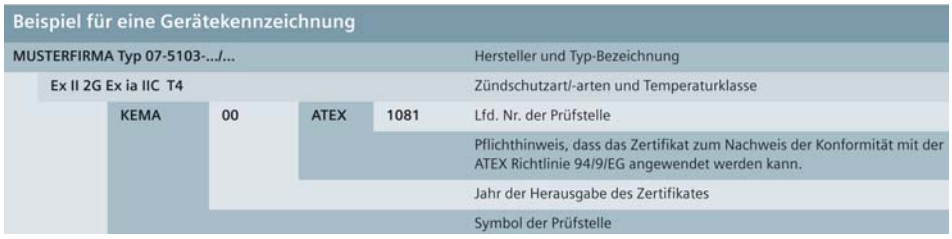
Beispiel				Bedeutung
EN	60079-0	:	2004	
				Jahr der Herausgabe
				Nummer der Norm
				Harmonisierte europäische Norm

IEC
Auf internationaler Ebene werden von der IEC, der Internationalen Elektrotechnischen Kommission, Normen für den Explosionsschutz herausgegeben. Zuständig ist das Technische Komitee TC31.
Den IECEx-Zertifizierungen werden die IEC-Normen zugrunde gelegt. Normen für den Explosionsschutz sind in der Reihe IEC 60079-x enthalten, (früher IEC 79-x). Das x steht für die Nummern der einzelnen Fachnormen, z. B. IEC 60079-11 für die Eigensicherheit.

Kennzeichnung
Aus der Kennzeichnung elektrischer Betriebsmittel für explosionsgeschützte Bereiche sind erkennbar:

- der Hersteller des Betriebsmittels
- eine Bezeichnung, nach der es identifizierbar ist
- der Einsatzbereich
  - unter Tage I
  - übrige Bereiche II
- Gase und Dämpfe - G -, Stäube - D - oder Gruben - M -
- die Kategorien, die aussagen, ob das Gerät für bestimmte Zonen einsetzbar ist
- die Zündschutzart/-arten, die das Betriebsmittel erfüllt
- die gesamte Identifizierung des Zertifikats, insofern ein Zertifikat von einer Prüfstelle ausgestellt wurde. Diese Identifizierung enthält: Symbol der Prüfstelle, Jahr der Herausgabe des Zertifikates, ATEX und eine laufende Nummer. Die gesamte Identifizierung wird von der Prüfstelle festgelegt und auch auf dem zugehörigen Zertifikat vermerkt.
- Außerdem sollen die Angaben vorhanden sein, die üblicherweise für ein gleiches Gerät in industrieller Ausfertigung erforderlich sind.





Gerätegruppen/Kategorien
Geräte werden in Gerätegruppen unterteilt. Jede Gerätegruppe enthält Betriebsmittel, die wiederum verschiedenen Kategorien (Richtlinie 94/9/EG) zugeordnet sind. Die Kategorie besagt, in welcher Zone das Betriebsmittel eingesetzt werden darf.

Geräte werden in Gerätegruppen unterteilt.

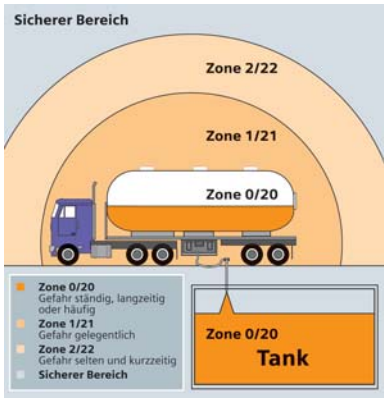
Gerätegruppe I (Untertagebetriebe, Bergwerke und Übertageanlagen)			
Kategorie	M1: sehr hohes Maß an Sicherheit	M2: hohes Maß an Sicherheit	
Gefahrenniveau	Gefahr ständig, langzeitig und häufig	Gefahr gelegentlich	Gefahr selten und kurzzeitig
Ausreichende Sicherheit	Durch 2 Schutzmaßnahmen/ bei 2 Fehlern	Muss bei Auftreten von Ex-Atmosphäre abgeschaltet werden.	

Die Kategorie besagt, in welcher Zone das Betriebsmittel eingesetzt werden darf.

Gerätegruppe II (andere explosionsgefährdete Bereiche)						
Kategorie	1: sehr hohes Maß an Sicherheit		2: hohes Maß an Sicherheit		3: normales Maß an Sicherheit	
Gefahrenniveau	Gefahr ständig, langzeitig und häufig		Gefahr gelegentlich		Gefahr selten und kurzzeitig	
Ausreichende Sicherheit	Durch 2 Schutzmaßnahmen/ bei 2 Fehlern		Bei häufigen Gerätestörungen/ bei einem Fehler		Bei störungsfreiem Betrieb	
Einsatz in	Zone 0	Zone 20	Zone 1	Zone 21	Zone 2	Zone 22
Atmosphäre	G (Gas)	D (Staub)	G	D	G	D

Zonen

Explosionsgefährdete Bereiche werden in Zonen eingeteilt. Die Zoneneinteilung ist abhängig von der zeitlichen und örtlichen Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseins einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre. Informationen und Vorgaben für die Zoneneinteilung finden Sie in der EN 60079-10 und in der EN 61241-10. Betriebsmittel in ständig explosionsgefährdeten Bereichen (Zone 0/20) unterliegen höheren, solche in weniger gefährdeten Bereichen (Zone 1/21, Zone 2/22) dagegen niedrigeren Anforderungen.



Explosionsgefährdete Bereiche werden in Zonen eingeteilt.

Bezüglich des Explosionsschutzes wird eine Unterscheidung vorgenommen zwischen brennbaren Gasen, Dämpfen und Nebel ...

Brennbare Gase, Dämpfe und Nebel		
Zone	**Kategorie Betriebsmittel**	**Beschreibung**
0	1G	Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre ist **ständig** und **langzeitig** vorhanden.
1	2G 1G	Es ist damit zu rechnen, dass gefährliche explosionsfähige Atmosphäre **gelegentlich** auftritt.
2	3G 2G 1G	Es ist damit zu rechnen, dass gefährliche explosionsfähige Atmosphäre **nur selten** und dann auch **nur kurzzeitig** auftritt.

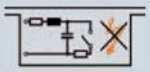
... sowie brennbaren Stäuben.

Brennbare Stäube		
20	1D	Bereiche, in denen eine explosionsfähige Atmosphäre aus Staub-Luft-Gemischen **ständig, langzeitig oder häufig** vorhanden ist.
21	2D 1D	Bereiche, in denen damit zu rechnen ist, dass eine explosionsfähige Atmosphäre aus Staub-Luft-Gemischen **gelegentlich und kurzzeitig** auftritt.
22	3D 2D 1D	Bereiche, in denen nicht damit zu rechnen ist, dass eine explosionsfähige Atmosphäre durch aufgewirbelten Staub auftritt. Wenn sie dennoch auftritt, dann aller Wahrscheinlichkeit nach nur **selten** und **während eines kurzen Zeitaums**.

Zündschutzarten

Die Zündschutzarten sind konstruktive und elektrische Maßnahmen am Betriebsmittel zum Erreichen des Explosionsschutzes in den explosionsgefährdeten Bereichen. Zündschutzarten sind sekundäre Explosionsschutzmaßnahmen. Der Umfang der sekundären Explosionsschutzmaßnahmen hängt von der Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre ab.

Elektrische Betriebsmittel für den explosionsgefährdeten Bereich müssen den allgemeinen Bestimmungen der EN 60079-0 und den besonderen Bestimmungen für die jeweilige Zündschutzart entsprechen, in der sie ausgeführt sind. Nach EN 60079-0 sind die Zündschutzarten von Bedeutung. Alle Zündschutzarten beruhen auf unterschiedlichen Schutzkonzepten.

Zündschutzarten für Gase						Anwendung in Zone		
Zündschutzart	K [1]	Schematische Darstellung	Grundprinzip	Standard	Beispiele	0	1	2
Allgemeine Anforderungen			Allgemeine Bestimmungen für die Bauart und Prüfung elektrischer Betriebsmittel, die für den Ex-Bereich bestimmt sind	EN 60079-0 IEC 60079-0 ANSI/UL 60079-0 FM 3600				
Erhöhte Sicherheit	e		Gilt nur für Betriebsmittel oder deren Bestandteile, die im Normalfall keine Funken oder Lichtbogen erzeugen, keine gefährlichen Temperaturen annehmen und deren Netzspannung 1 kV nicht überschreitet	EN 60079-7 IEC 60079-7 ANSI/UL 60079-7	Klemmen, Anschlusskästen		■	■
Druckfeste Kapselung	d		Kommt es zu einer Zündung im Kapselinneren, hält das Gehäuse dem Druck stand – die Explosion wird nicht nach aussen übertragen	EN 60079-1 IEC 60079-1 ANSI/UL 60079-1	Schaltanlagen, Transformatoren		■	■
Überdruckkapselung	p		Zündquelle wird eingeschlossen von einem unter Überdruck (mind. 0,5mbar) stehenden Zündschutzgas - die umgebende Atmosphäre kann nicht eindringen	EN 60079-2 IEC 60079-2 ANSI/UL 60079-2	Steuerschränke, Schaltschränke		■	■
Eigensicherheit	i		Durch Begrenzung der im Stromkreis befindlichen Energie wird die Entstehung von unzulässig hohen Temperaturen, Zündfunken und Lichtbogen vermindert	EN 60079-11 IEC 60079-11 ANSI/UL 60079-11 FM 3610	Aktoren, Sensoren, PROFIBUS DP RS 485-iS	■	■	■
Ölkapselung	o		Betriebsmittel oder deren Teile werden in Öl eingeschlossen und so von der Ex-Atmosphäre getrennt	EN 60079-6 IEC 60079-6 ANSI/UL 60079-6	Transformatoren, Schaltgeräte		■	■
Sandkapselung	q		Zündquelle wird von feinkörnigem Sand umschlossen. Die das Gehäuse umgebende Ex-Atmosphäre kann nicht durch einen entstehenden Lichtbogen gezündet werden	EN 60079-5 IEC 60079-5 ANSI/UL 60079-5	Heizbänder, Kondensatoren		■	■
Vergusskapselung	m		Durch Einbettung der Zündquelle in eine Vergussmasse kann sie eine Ex-Atmosphäre nicht entzünden	EN 60079-18 IEC 60079-18 ANSI/UL 60079-18	Sensoren, Schaltgeräte	■	■	■
Zündschutzarten	n	Zone 2: Unter dieser Zündschutzart sind mehrere Zündschutzarten zusammengefasst	Leicht vereinfachte Anwendung der anderen Zündschutzarten - "n" steht für „nicht zündend"	EN 60079-15 IEC 60079-15 ANSI/UL 60079-15 FM 3611	Automatisierungsgeräte			■

[1] *Kennzeichnung*

Alle Zündschutzarten beruhen auf unterschiedlichen Schutzkonzepten.

Zündschutzarten für Stäube					Anwendung in Zone		
Zündschutzart	**Kennzeichnung**	**Grundprinzip**	**Standard**	**Beispiele**	**20**	**21**	**22**
Allgemeine Anforderungen		Allgemeine Bestimmungen für die Bauart und Prüfung elektrischer Betriebsmittel, die für den Ex-Bereich bestimmt sind	EN 61241-0 [1)] IEC 61241-0 [1)]				
Überdruckkapselung	**pD**	Das Eindringen einer umgebenden Atmosphäre in das Gehäuse von elektrischen Betriebsmitteln wird dadurch verhindert, dass ein Zündschutzgas (Luft, inertes oder anderes geeignetes Gas) in seinem Innern unter einem Überdruck gegenüber der umgebenden Atmosphäre gehalten wird	IEC 61241-4	Betriebsmittel, bei denen betriebsmäßig Funken, Lichtbögen oder heiße Teile auftreten		■	■
Vergusskapselung	**mD**	Teile, die eine explosionsfähige Atmosphäre durch Funken oder durch Erwärmung zünden können, sind in eine Vergussmasse derart eingebettet, dass die explosionsfähige Atmosphäre nicht zündet. Dies geschieht durch allseitige Umhüllung der Bauteile mit einer gegen physikalische (insbesondere elektrische, thermische und mechanische) sowie chemische Einflüsse resistenten Vergussmasse.	EN 61241-18 IEC 61241-18	Großmaschinen, Schleifring- bzw. Kollektormotoren, Schalt- und Steuerschränke		■	■
Schutz durch Gehäuse	**tD**	Das Gehäuse ist so dicht, dass kein brennbarer Staub in das Innere eindringen kann. Die Oberflächentemperatur des äußeren Gehäuses ist begrenzt.	EN 61241-1 IEC 61241-1	Mess- und Überwachungsanlagen	■	■	■
Eigensicherheit	**iaD, ibD**	Strom und Spannung werden begrenzt, so dass die Eigensicherheit gewährleistet ist. Kein Funke oder thermischer Effekt kann ein Staub-Luft-Gemisch zünden.	EN 61241-11 IEC 61241-11	Sensoren und Aktoren	■	■	■

[1)] *bei bestimmten Anwendungen gelten die Vorgängernormen EN 50281-1-1 bzw. IEC 61241-1-1*

Explosionsgruppen

Bei den Explosionsgruppen wird zunächst zwischen Gerätegruppe I und Gerätegruppe II von Betriebsmitteln unterschieden:

- Elektrische Betriebsmittel der Gerätegruppe I werden für den schlagwettergefährdeten Grubenbau verwendet.
- Für die elektrischen Betriebsmittel der Gerätegruppe II wird eine weitere Unterteilung in Explosionsgruppen vorgenommen. Die Unterteilung ist abhängig von der Grenzspaltweite und dem Mindestzündstromverhältnis.

Hinweis:

Elektrische Betriebsmittel mit der Zulassung für die Explosionsgruppe IIC dürfen auch in den Explosionsgruppen IIA und IIB eingesetzt werden.

Explosionsgruppen					
Gerätegruppe	**Verwendung**	**Explosionsgruppe**	**Grenzspaltweite bei druckfester Kapselung [1)]**	**Gefährlichkeit**	**Anforderungen an die Betriebsmittel**
Gruppe I	Elektrische Betriebsmittel für schlagwettergefährdete Grubenbaue. ==> Schlagwetterschutz Ex...I				
Gruppe II	Elektrische Betriebsmittel für alle übrigen explosionsgefährdeten Bereiche ==> Explosionsschutz Ex...II	IIA	> 0,9 mm		
		IIB	0,5 mm bis 0,9 mm		
		IIC	< 0,5 mm		

[1)] *Die Grenzspaltweite ist die Spaltweite zwischen zwei 25 mm langen, parallelen Flanschflächen einer Explosionskammer*

Sicherheitstechnische Kennzahlen - brennbare Stäube

Temperaturklassen

Die Zündtemperatur eines brennbaren Gases oder einer brennbaren Flüssigkeit ist die niedrigste Temperatur einer erhitzten Oberfläche, an der die Entzündung des Gas/Luft- bzw. Dampf/Luft-Gemischs gerade eintritt. Somit muss die höchste Oberflächentemperatur eines Betriebsmittels immer kleiner sein als die Zündtemperatur der umgebenden Atmosphäre. Für die elektrischen Betriebsmittel der Explosionsgruppe II sind die Temperaturklassen T1 bis T6 eingeführt. Jeder Temperaturklasse werden die Betriebsmittel anhand ihrer maximalen Oberflächentemperatur zugeordnet.

Temperaturklassen für die elektrischen Betriebsmittel der Explosionsgruppe II.

Temperatur-klasse	Maximale Oberflächen-temperatur der Betriebsmittel	Zünd-temperaturen der brennbaren Stoffe
T1	450 °C	> 450 °C
T2	300 °C	> 300 °C
T3	200 °C	> 200 °C
T4	135 °C	> 135 °C
T5	100 °C	> 100 °C
T6	85 °C	> 85 °C

Zünd- und Glimmtemperaturen von Stäuben.

Stäube von Natur-produkten	Zünd-temperatur	Glimm-temperatur
Baumwolle	560 °C	350 °C
Holzmehl	400 °C	300 °C
Kraftfutter	520 °C	295 °C
Getreide	420 °C	290 °C
Soja	500 °C	245 °C
Tabak	450 °C	300 °C
Stärke	440 °C	290 °C

Stäube von technisch-chemischen Produkten	Zünd-temperatur	Glimm-temperatur
Polyester	560 °C	
Gummi	570 °C	
Waschmittel	330 °C	
Polyethylen	360 °C	
Polyvinylacetat	500 °C	340 °C
Aluminium	530 °C	280 °C
Magnesium	610 °C	410 °C
Schwefel	280 °C	280 °C

Hinweis:

Betriebsmittel, die einer höheren Temperaturklasse entsprechen, können auch für Anwendungen mit einer niedrigeren Temperaturklasse eingesetzt werden.

Brennbare Gase und Dämpfe

Stoffbezeichnung	Zündtemperatur	Temperaturklasse	Explosionsgruppe
1,2-Dichlorethan	440 °C	T2	II A
Acetaldehyd	140 °C	T4	II A
Aceton	540 °C	T1	II A
Acetylen	305 °C	T2	II C [3)]
Ammoniak	630 °C	T1	II A
Benzine, Ottokraftstoffe Siedebeginn < 135 °C	220 ... 300 °C	T3	II A
Benzol (rein)	555 °C	T1	II A
Cyclohexanon	430 °C	T2	II A
Dieselkraftstoffe (DIN 51601)	220 ... 300 °C	T3	II A
Düsenkraftstoffe	220 ... 300 °C	T3	II A
Essigsäure	485 °C	T1	II A
Essigsäureanhydrid	330 °C	T2	II A
Ethan	515 °C	T1	II A
Ethylacetat	460 °C	T1	II A
Ethylalkohol	425 °C	T2	II A / II B
Ethylchlorid	510 °C	T1	II A
Ethylen	425 °C	T2	II B
Ethylenoxid	440 °C (Selbstzerfall)	T2	II B
Ethylether	170 °C	T4	II B
Ethylglykol	235 °C	T3	II B
Heizöl EL (DIN 51603)	220 ... 300 °C	T3	II A
Heizöl L (DIN 51603)	220 ... 300 °C	T3	II A
Heizöle M und S (DIN 51603)	220 ... 300 °C	T3	II A
i-Amylacetat	380 °C	T2	II A
Kohlenmonoxid	605 °C	T1	II A / II B
Methan	595 (650) °C	T1	II A
Methanol	455 °C	T1	II A
Methylchlorid	625 °C	T1	II A
Naphthalin	540 °C	T1	II A
n-Butan	365 °C	T2	II A
n-Butylalkohol	340 °C	T2	II A
n-Hexan	240 °C	T3	II A
n-Propylalkohol	405 °C	T2	- *)
Ölsäure	360 °C (Selbstzerfall)	T2	- *)
Phenol	595 °C	T1	II A
Propan	470 °C	T1	II A
Schwefelkohlenstoff	95 °C	T6	II C [1)]
Schwefelwasserstoff	270 °C	T3	II B
Spezialbenzine Siedebeginn < 135 °C	200 ... 300 °C	T3	II A
Stadtgas (Leuchtgas)	560 °C	T1	II B
Tetralin (Tetrahydronaphtalin)	425 °C	T2	- *)
Toluol	535 °C	T1	II A
Wasserstoff	560 °C	T1	II C [2)]

Auszug aus dem Tabellenwerk "Sicherheitstechnische Kennzahlen brennbarer Gase und Dämpfe" von K. Nabert und G. Schön - (6. Ausgabe)
*) Für diesen Stoff ist die Explosionsgruppe noch nicht ermittelt worden.
1) Auch Explosionsgruppe II B + CS2
2) Auch Explosionsgruppe II B + H2
3) Auch Explosionsgruppe II B + C2 H2

Brennbare Gase und Dämpfe werden durch die Zündtemperatur den jeweiligen Temperaturklassen zugeordnet.

Errichten und Betreiben elektrischer Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen

Normen

Es gelten die Installations- und Errichtungsvorschriften nach EN 60079-14 sowie landesspezifische Vorschriften.

Installation

Für die elektrischen Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen kommen drei Installationssysteme zum Einsatz.

Installationssysteme in explosionsgefährdeten Bereichen

Kabelsysteme mit indirekter Einführung	Kabelsysteme mit direkter Einführung	Rohrleitungssysteme
Die Kabel und Leitungen werden über Kabeleinführungen in den Anschlussraum der Zündschutzart "Erhöhte Sicherheit" eingeführt und an den Klemmen angeschlossen. Die Klemmen weisen ebenfalls die Zündschutzart "Erhöhte Sicherheit" auf.	Die Anschlussleitungen der Kabel werden direkt in den Geräteeinbauraum eingeführt. Es dürfen nur speziell hierfür zertifizierte Kabelverschraubungen verwendet werden.	Die elektrischen Leitungen werden als Einzeladern in die geschlossenen Metallrohre eingezogen. Die Rohre werden über Verschraubungen mit dem Gehäuse verbunden und an jeder Einführungsstelle mit einer Zündsperre (seal) versehen. Das gesamte Rohrleitungssystem ist druckfest ausgeführt. Das Rohrleitungssystem wird auch als *Conduit-System* bezeichnet.

Pflichten der Hersteller, Errichter und Betreiber

Hersteller	Errichter	Betreiber
Aufgaben		
Entwickeln der elektrischen Betriebsmittel, die zur Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen bestimmt sind.	Auswahl und Installation der elektrischen Betriebsmittel gemäß ihrer Verwendung.	Sicherer Betrieb der Anlage.
Verpflichtungen		
Einhaltung der allgemeinen und besonderen Bauvorschriften und des aktuellen Stands der Technik. Veranlassung der Prüfung durch eine unabhängige Stelle, falls durch die zugrundeliegende Norm vorgeschrieben. Weitergabe aller Zulassungen sowie Herstellererklärungen an den Anwender. Fertigung jedes elektrischen Betriebsmittels nach den Prüfungsunterlagen und Prüfmustern.	Auswahl und Installation unter Beachtung der Errichtungsanforderungen und Verwendung. Ist der Errichter nicht gleichzeitig auch der Betreiber, so ist der Errichter auf Verlangen des Betreibers verpflichtet, eine Installationsbescheinigung auszustellen. Darin wird bestätigt, dass die elektrischen Anlagen den Anforderungen entsprechen. Liegt eine solche Bescheinigung vor, ist eine zusätzliche Prüfung durch den Betreiber vor der ersten Inbetriebnahme nicht mehr erforderlich.	Verantwortung für die Sicherheit seiner Anlage. Zoneneinteilung anhand der Explosionsgefahren. Prüfung des ordnungsgemäßen, sprich sicheren Zustands der Anlage: • Vor der ersten Inbetriebnahme • In bestimmten Zeitabständen Sachgemäßer Betrieb der elektrischen Anlage. Meldung jeder Explosion, die durch den Betrieb der Anlage verursacht sein kann, an die Aufsichtsbehörde.

Es gibt drei Installationssysteme für elektrische Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen.

Instandhaltung und Wartung

Zur Aufrechterhaltung der Sicherheit von elektrischen Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen ist eine regelmäßige Wartung notwendig. Einige der wichtigsten Sicherheitsmaßnahmen sind:

- Arbeiten an elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln, die unter Spannungen stehen, sind in explosionsgefährdeten Bereichen grundsätzlich verboten. Als Ausnahme sind Arbeiten an eigensicheren Stromkreisen zugelassen.
- In explosionsgefährdeten Bereichen darf nur dann geerdet oder kurzgeschlossen werden, wenn keine Explosionsgefahr besteht.
- Bei allen Arbeiten in explosionsgefährdeten Bereichen muss sichergestellt werden, dass weder zündfähige Funken noch zu heiße Oberflächen entstehen, die in Verbindung mit der explosionsfähigen Atmosphäre zu einer Explosion führen.

Beachte:

Grundsätze für den Anlagenbetreiber bei Instandhaltung und Wartung

- *Erhaltung des ordnungsgemäßen Zustandes der Anlage*
- *Ständige Überwachung der elektrischen Anlage*
- *Unverzügliche Durchführung notwendiger Instandsetzungsmaßnahmen*
- *Ordnungsgemäßer Betrieb der Anlage*
- *Betriebseinstellung bei nicht behebbaren Mängeln, durch die Personen gefährdet werden können*

Eigensicherheit

Die Eigensicherheit eines Stromkreises wird durch die Begrenzung von Strom und Spannung erreicht. Diese Eigenschaft begrenzt die Zündschutzart "Eigensicherheit" auf Stromkreise mit relativ kleinen Leistungen. Anwendungen hierfür finden sich z. B. in der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik. Die Grundlage für die Zündschutzart "Eigensicherheit" besteht darin, dass zur Zündung einer explosionsfähigen Atmosphäre eine bestimmte Mindestzündenergie erforderlich ist. In einem eigensicheren Stromkreis treten betriebsmäßig oder im Fehlerfall kein Funke und keine thermische Erwärmung auf, die die Zündung einer explosionsfähigen Atmosphäre verursachen.

Kategorien der eigensicheren Betriebsmittel

Eigensichere elektrische Betriebsmittel und eigensichere Teile von zugehörigen Betriebsmitteln werden in Kategorien (Sicherheitslevel) eingeteilt. Die Sicherheitslevel sind abhängig von den Sicherheitsanforderungen bei der Auslegung der Betriebsmittel.

Trennstufen und Trennüberträger

Trennstufen und Trennübertrager zwischen den eigensicheren und den nicht eigensicheren Stromkreisen der Betriebsmittel bewirken die notwendige Spannungs- und Strombegrenzung für den Einsatz im explosionsgefährdeten Bereich. Die Trennstufen und Trennübertrager können als separate Betriebsmittel ausgeführt werden, oder in den Baugruppen integriert sein.

Instandhaltung der Eigensicherheit

Alle Geräte in einem eigensicheren Stromkreis müssen der Zündschutzart Eigensicherheit entsprechen. Bei der Verdrahtung der Teilnehmer in diesem Stromkreis (typischerweise Messumformer, Sensor und Verdrahtung selber) müssen die elektrischen Kennwerte eingehalten werden, damit die Eigensicherheit gegeben ist.

Begriffe und Definitionen für Eigensicherheit	
Eigensicherer Stromkreis	Ein Stromkreis, in dem kein Funke und kein thermischer Effekt die Zündung einer explosionsfähigen Atmosphäre verursachen kann.
Eigensicheres elektrisches Betriebsmittel	Alle Stromkreise des elektrischen Betriebsmittels sind eigensicher. Spannung und Strom im eigensicheren Stromkreis sind so klein, dass bei Kurschluss, Unterbrechung oder Erdschluss keine Zündung der explosionsfähigen Atmosphäre erfolgt. Eigensichere elektrische Betriebsmittel sind daher für den Betrieb **direkt im explosionsgefährdeten Bereich** geeignet. Beispiel für eine Kennzeichnung: Ex ib IIC
Zugehöriges elektrisches Betriebsmittel	Mindestens ein Stromkreis des zugehörigen elektrischen Betriebsmittels ist eigensicher. **Aktoren und Sensoren am eigensicheren Stromkreis** dürfen sich im explosionsgefährdeten Bereich befinden. Das zugehörige elektrische Betriebsmittel darf jedoch ohne weitere Zündschutzarten **nicht im explosionsgefährdeten Bereich** installiert werden. Bei der Kennzeichnung eines zugehörigen elektrischen Betriebsmittels wird die Zündschutzart in Klammern gesetzt. Beispiel für eine Kennzeichnung: [Ex ib] IIC
Mindestzündenergie	Die Mindestzündenergie eines Gas- und eines Dampf/Luft-Gemisches ist die kleinstmögliche, bei der Entladung eines Kondensators auftretende elektrische Energie, die das zündwilligste Gemisch eines Gases oder eines Dampfes mit Luft bei atmosphärischem Druck und 20 °C gerade noch zu zünden vermag.

Alle Geräte in einem eigensicheren Stromkreis müssen der Zündschutzart Eigensicherheit entsprechen.

Sicherheitslevel eigensicherer Betriebsmittel	Beschreibung	Installation des Betriebsmittels
ia	Die eigensicheren elektrischen Betriebsmittel dürfen keine Zündung verursachen • im Normalbetrieb • bei Auftreten eines einzelnen Fehlers • bei Auftreten einer Kombination von Fehlern	Bis Zone 0
ib	Die eigensicheren elektrischen Betriebsmittel dürfen keine Zündung verursachen • im Normalbetrieb • bei Auftreten eines einzelnen Fehlers	Zone 2, Zone 1

Sicherheitslevel eigensicherer Betriebsmittel.

Ex-Schutz in Nordamerika: Vergleich Zonen/Divisions
Die Grundprinzipien des Explosionsschutzes sind auf der ganzen Welt gleich. Dennoch haben sich in Nordamerika auf dem Gebiet des Explosionsschutzes elektrischer Geräte und Anlagen Techniken und Systeme entwickelt, die wesentlich von der IEC-Technik abweichen.
Die Unterschiede zur IEC-Technik (International Electrotechnical Commission) liegen dabei u.a. in der Einteilung der explosionsgefährdeten Bereiche, der Konstruktion der Betriebsmittel und der Installation der elektrischen Anlagen.

Klassifizierung explosionsgefährdeter Bereiche
Explosionsgefährdete Bereiche fallen in Nordamerika unter den Begriff "hazardous (classified) locations" und werden in den USA in den Abschnitten 500 bis 506 des National Electrical Code (NEC) und in Kanada in Abschnitt 18 und Anhang J des Canadian Electrical Code (CEC) definiert. Sie umfassen Bereiche, in denen brennbare Gase, Dämpfe oder Nebel (Class I), Stäube (Class II) oder Fasern und Flusen (Class III) in gefahrdrohender Menge auftreten können. Nach der Häufigkeit oder der Dauer des Auftretens dieser Stoffe werden die explosionsgefährdeten Bereiche traditionell in Division 1 und Division 2 unterteilt.
1996 wurde in den USA für Class I zusätzlich zu diesem bestehenden System das nach IEC übliche Klassifizierungssystem eingeführt. Diese Änderung erfolgte durch Artikel 505 des NEC. Dies bietet dem Anwender nun die Möglichkeit, das für ihn technisch und wirtschaftlich optimale System zu wählen.

Auch in Kanada wurde das IEC-Zonenkonzept für Class I eingeführt (CEC Ausgabe 1988). Alle neu errichteten Anlagen müssen dort seither nach diesem Konzept klassifiziert werden. Im traditionellen nordamerikanischen Klassifizierungssystem werden explosionsfähige Gase, Dämpfe und Nebel der Class I in die Gasgruppen (Groups) A, B, C und D eingeteilt und brennbare Stäube der Class II in die Gruppen E, F und G. Hier bezeichnet der Buchstabe A die gefährlichste Gasgruppe, während nach IEC und nach der neuen Einteilung gemäß Artikel 505 Gruppe C die gefährlichste Gasgruppe ist.
In Kanada ist es möglich, bei der Zonenklassifizierung beide Gasgruppensysteme zu verwenden. Die Festlegung der maximalen Oberflächentemperatur nach Artikel 505 im NEC erfolgt in Übereinstimmung mit IEC in sechs Temperaturklassen T1 bis T6, mit einer zusätzlichen Unterteilung in Temperaturunterklassen im Division-System.

Nach dem CEC 1998 wurde das bestehende System der Temperaturklassen nicht geändert.

Schutzarten von Gehäusen

Ebenso wie nach IEC 60529 die IP-Schutzarten für Gehäuse festgelegt wurden, gibt es in den USA u.a. den Standard Publ. No. 250 der NEMA (National Electrical Manufacturing Association), welcher die Schutzart von Gehäusen behandelt. Diese Schutzarten können nicht direkt mit denen nach IEC verglichen werden, da zusätzliche Umgebungseinflüsse (z. B. Kühlflüssigkeiten, Schneidöle, Korrosion, Vereisung, Hagel) behandelt werden.

Die Tabelle ist als unverbindliche Richtlinie zu betrachten.

Schutzarten nach NEMA	Schutzarten nach IEC
1	IP10
2	IP11
3	IP54
3R	IP14
3S	IP54
4 und 4X	IP56
5	IP52
6 und 6P	IP67
12 und 12K	IP52
13	IP54

Beachte:

Da die Anforderungen an die Schutzarten nach NEMA denen der IP-Schutzarten nach IEC entsprechen bzw. höher sind als diese, kann die Tabelle nicht dazu benutzt werden, die IEC-Schutzarten in entsprechende Schutzarten nach NEMA umzuwandeln.

Errichtungsbestimmungen

Für elektrische Betriebsmittel und Anlagen, die in explosionsgefährdeten Betriebsstätten zum Einsatz kommen, gilt in den USA der National Electrical Code (NEC) bzw. in Kanada der Canadian Electrical Code (CEC). Diese haben den Charakter von Errichtungsbestimmungen für elektrische Anlagen in allen Bereichen und verweisen auf eine Reihe weiterer Standards anderer Institutionen, die die Bestimmungen für die Installation und den Bau geeigneter Betriebsmittel enthalten.
Die Installationsmethoden für das Zonenkonzept nach dem NEC entsprechen weitgehend dem des traditionellen Class/Division-Systems. Neu im NEC 1996 ist neben der Verwendung von starren Rohrleitungen und mineralisolierten Kabeln Typ MI in Class I, Division 1 bzw. Zone 1, auch der Einsatz von zugelassenen metallummantelten Kabeln Typ MC.

Baubestimmungen

Die Bestimmungen des National Electrical Code und des Canadian Electrical Code geben vor, welche Betriebsmittel bzw. Zündschutzarten in den einzelnen explosionsgefährdeten Bereichen eingesetzt werden können. Für den Bau und die Prüfung explosionsgeschützter elektrischer Anlagen und Betriebsmittel gelten in Nordamerika verschiedene Normen und Bestimmungen. In den USA sind dies vorwiegend die Standards von Underwriters Laboratories Inc. (UL), Factory Mutual Research Corporation (FM) und der International Society for Measurement and Control (ISA). In Kanada, die der Canadian Standards Association (CSA).

Klassifizierung explosionsgefährdeter Bereiche			
Gase, Dämpfe oder Nebel Klassifizierung Class I		**Stäube Klassifizierung Class II**	**Fasern und Flusen Klassifizierung Class III**
NEC 500-5 CEC J18-004	**NEC 505-7 CEC 18-006**	**NEC 500-6 CEC 18-008**	**NEC 500-7 CEC 18-010**
Division 1 Bereiche, in denen gefährliche Konzentrationen brennbarer Gase, Dämpfe oder Nebel ständig oder gelegentlich unter normalen Betriebsbedingungen vorhanden sind.	Zone 0 Bereiche, in denen gefährliche Konzentrationen brennbarer Gase, Dämpfe oder Nebel ständig oder langzeitig unter normalen Betriebsbedingungen vorhanden sind. Zone 1 Bereiche, in denen gefährliche Konzentrationen brennbarer Gase, Dämpfe oder Nebel gelegentlich unter normalen Betriebsbedingungen vorhanden sind.	Division 1 Bereiche, in denen gefährliche Konzentrationen brennbarer Stäube ständig oder gelegentlich unter normalen Betriebsbedingungen vorhanden sind.	Division 1 Bereiche, in denen gefährliche Konzentrationen brennbarer Fasern und Flusen ständig oder gelegentlich unter normalen Betriebsbedingungen vorhanden sind.
Division 2 Bereiche, in denen gefährliche Konzentrationen brennbarer Gase, Dämpfe oder Nebel voraussichtlich unter normalen Betriebsbedingungen nicht vorhanden sind.	Zone 2 Bereiche, in denen gefährliche Konzentrationen brennbarer Gase, Dämpfe oder Nebel voraussichtlich unter normalen Betriebsbedingungen nicht vorhanden sind.	Division 2 Bereiche, in denen gefährliche Konzentrationen brennbarer Stäube voraussichtlich unter normalen Betriebsbedingungen nicht vorhanden sind.	Division 2 Bereiche, in denen gefährliche Konzentrationen brennbarer Fasern und Flusen voraussichtlich unter normalen Betriebsbedingungen nicht vorhanden sind.
Class I Groups		**Class II Groups**	**Class III**
NEC 500-3 CEC J18-050	**NEC 505-7 CEC J18-050**	**NEC 500-3 CEC J18-050**	
Division 1 und 2 A (Acetylen) B (Wasserstoff) C (Äthylen) D (Propan)	Zone 0, 1 und 2 IIC (Acetylen + Wasserstoff) IIB (Äthylen) IIA (Propan)	Division 1 und 2 E (Metall) F (Kohle) G (Getreide)	Division 1 und 2 keine
Class I Temperaturklassen Division 1 und 2	**Zone 0, 1 und 2**	**Class II Temperaturklassen Division 1 und 2**	**Class III Temperaturklassen Division 1 und 2**
T1 (≤450 °C)	T1	T1	keine
T2 (≤300 °C)	T2	T2	
T2A (≤280 °C) T2B (≤260 °C) T2C (≤230 °C) T2D (≤215 °C)	–	T2A, T2B, T2C, T2D	
T3 (≤200 °C)	T3	T3	
T3A (≤180 °C) T3B (≤165 °C) T3C (≤160 °C)	–	T3A, T3B, T3C	
T4 (≤135 °C)	T4	T4	
T4A (≤120 °C)	–	T4A	
T5 (≤100 °C)	T5	T5	
T6 (≤85 °C)	T6	T6	

Klassifizierung explosionsgeschützter Bereiche gemäß NEC und CEC.

Zertifizierung und Kennzeichnung
In den USA und Kanada sind elektrische Ausrüstungen und Betriebsmittel in explosionsgefährdeten Betriebsstätten in der Regel zulassungspflichtig. Ausnahmen bilden solche elektrische Betriebsmittel, die aufgrund ihrer Konstruktion und Eigenart die explosionsfähige Atmosphäre, in der sie eingesetzt sind, nicht zünden können. Über die Zulassungspflicht entscheidet die zuständige Behörde. Geräte, die für explosionsgefährdete Bereiche entwickelt und gefertigt werden, werden in den USA und Kanada durch national anerkannte Prüfstellen geprüft und zugelassen. In den USA sind dies u.a. die Prüfstellen Underwriters Laboratories oder Factory Mutual und in Kanada die Canadian Standards Association. Die Prüfstellen UL und FM sind auch dafür akkreditiert, Zulassungen für Kanada auszustellen.
Zusätzlich zu den Daten, wie z. B. Hersteller, Typ, Serien-Nr. und elektrische Daten, sind die den Explosionsschutz betreffenden Daten in die Kennzeichnung des Betriebsmittels aufzunehmen. Die Vorgaben dazu sind im NEC, dem CEC sowie in den entsprechenden Baubestimmungen der Prüfstellen enthalten.

Class I, II & III, Division 1 und 2
Zugelassene elektrische Betriebsmittel für Class I, Class II und Class III, Division 1 und 2 sollen so gekennzeichnet sein, dass sie die folgenden Angaben tragen:
- Class(es), division(s) (optional außer für Division 2)
- Gas- / Staub-Gruppe(n)
- Betriebstemperatur oder Temperaturklasse (optional für T5 und T6)

Beispiel:
Class I Division 1 Groups C D T6

Class I, Zone 0, 1 und 2
Bei Betriebsmitteln für den Einsatz in Class I, Zone 0, Zone 1 oder Zone 2 wird zwischen “Division Equipment“ und “Zone Equipment“ unterschieden.
- Division Equipment:
  Betriebsmittel, die für Class I, Division 1 und/oder Class I, Division 2 zugelassen sind, können zusätzlich mit der äquivalenten Zone-Kennzeichnung versehen werden:
  - Class I, Zone 1 oder Class I, Zone 2
  - Gasgruppe(n) IIA, IIB oder IIC
  - Temperaturklasse

Beispiel:
Class I Zone 1 IIC T4

- Zone Equipment:
  Betriebsmittel, die einer oder mehreren Zündschutzarten nach Artikel 505 des NEC und Abschnitt 18 des CEC entsprechen, sollen folgendermaßen gekennzeichnet sein:
  - Class (optional in Kanada)
  - Zone (optional in Kanada)
  - Symbol AEx (USA) bzw. Ex oder Ex (Kanada)
  - Kurzzeichen der verwendeten Zündschutzart(en)
  - Gruppe des elektrischen Betriebsmittels II oder Gasgruppe(n) IIA, IIB oder IIC
  - Temperaturklasse

Beispiel:

Class I Zone 0 AEx ia IIC T6

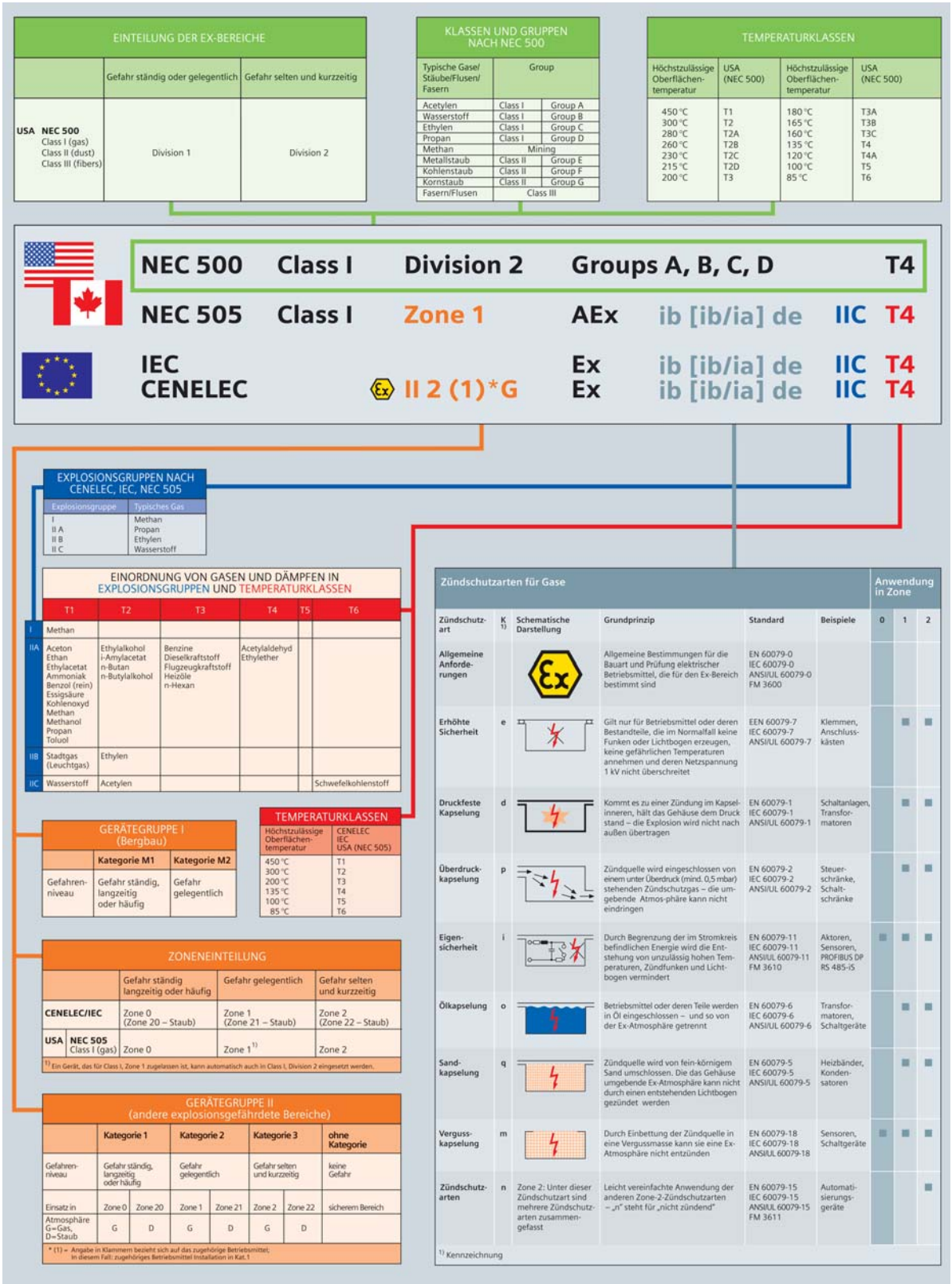
Land	Zulassungs-/Prüfstelle
Australien	International Testing and Certification Services (ITACS) 4-6 Second Street, Bowden South Australia 5007 Tel: +61-8-8346-8680, Fax: +61-8-8346-7072 E-mail: itacs@itacslab.com Internet: www.itacslab.com SAI Global Assurance Services 286 Sussex Street, GPO Box 5420, Sydney NSW 2001 Tel: +61-2-8206-6060, Fax: +61-2-8206-6061 E-mail: assurance@sai-global.com Internet: www.sai-global.com Simtars Head Office 2 Smith Street, Redbank Qld 4301, PO Box 467, Goodna Qld 4300, Australia Tel: +61-7-3810-6333, Fax: +61-7-3810-6363 E-Mail: mare.tanner@nrm.gld.gov.au Internet: www.nrm.qld.gov.au/simtars/index.html TestSafe Australia 919 Londonderry Road, Londonderry NSW 2753 P.O.Box 592, Richmond NSW 2753 Tel: +61-2-4724-4900, Fax: +61-2-4724-4999 E-mail: testsafe@workcover.nsw.gov.au Internet: www.testsafe.com.au
Bosnien und Herzegovina	Institut za standarde, mjeriteljstvo i intelektualno vlasni tvo Hamdije Cemerlica 2/7, BiH - 71000 Sarajevo Tel. +387-(0)33-65 27 65 FAX +387-(0)33-652757 E-Mail: info@basmp.gov.ba Internet: www.basmp.gov.ba
Brasilien	CEPEL Caixa Postal 68.007, CEP: 21.944-970, Rio de Janeiro, Brazil Tel: +55-21-2598-6458, Fax: +55-21-2280-3687 E-Mail: pilotto@cepel.br
China	Shanghai Institute of Process Automation Instrumentation (SIPAI) 103 Cao Bao Road, Shanghai 200233, China Tel: +86-21-64368180, Fax: +86-21-64333566 E-mail: info@sipai.com Internet: www.sipai.com
Dänemark	UL Internationales Demko A/S Lyskaer 8, P.O.Box 514, DK-2730 Herlev Tel: +45-44-85-65-65, Fax: +45-44-85-65-00 E-mail: info.dk@dk.ul.com Internet: www.ul-europe.com
Deutschland	DEKRA EXAM GmbH Dinnendahlstr. 9 44809 Bochum Tel.: +49-234-36960, Fax: +49-234-3696111 E-Mail: info@bg-exam.de Internet: www.bg-exam.de DMT GmbH Am Technologiepark 1, D-45307 Essen Tel: +49-201-172-01, Fax: +49-201-172-1462 E-mail: dmtinfo@dmt.de Internet: www.dmt.de FSA - Forschungsgesellschaft f. angewandte Systemsicherheit u. Arbeitsmedizin mbH Dynamostraße 7-11, D-68165 Mannheim Tel: +49-621-4456-1555, Fax: +49-621-4456-3645 E-mail: klaus.marsch@fsa.de Internet: www.fsa.de IBExU Institut f. Sicherheitstechnik GmbH Fuchsmühlenweg 7, D-09599 Freiberg Tel: +49-3731-3805-0, Fax: +49-3731-23650 E-mail: post@ibexu.de Internet: www.ibexu.de

Land	Zulassungs-/Prüfstelle
Deutschland (Fortsetzung)	Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) Bundesallee 100, D-38116 Braunschweig Tel: +49-531-592-0, Fax: +49-531-592-3008 Abbestraße 2-12, D-10587 Berlin Tel: +49-30-3481-1, Fax: +49-30-3481-490 E-mail: info@ptb.de Internet: www.ptb.de TÜV NORD AG Am Tüv 1, D-30519 Hannover Tel: +49-511-986-0, Fax: +49-511-986-1237 E-mail: info@tuev-nord.de Internet: www.tuev-nord.de TÜV Nord e.V. Große Bahnstraße 31, D-22525 Hamburg Tel: +49-40-8557-0, Fax: +49-40-8557-2295 E-mail: hamburg@tuev-nord.de Internet: www.tuev-nord.de
Finnland	VTT Technical Research Centre of Finland P.O.Box 1000, FIN - 02044 VTT Tel: +358 20 722 111, Fax: +358 20 722 7001 E-mail: kirjaamo@vtt.fi Internet: www.vtt.fi
Frankreich	INERIS Headquarter Parc Technologique ALATA BP 2, F-60550 Verneuil en Halette Tel: +33-3- 44 55 66 77, Fax: +33-3-44 55 66 99 E-mail: ineris@ineris.fr Internet: www.ineris.fr LCIE - Laboratoire Central des Industries Électriques 33 av du Général Leclerc, F-92260 Fontenay-aux-Roses Tel: +33-1-40 95 60 60, Fax: +33-1-40 95 5529 E-mail: contact@lcie.fr Internet: www.lcie.com
Großbritannien	Baseefa (2001) Ltd, Rockhead Business Park, Staden Lane, Buxton, Derbyshire, SK17 9RZ Tel: +44 (0) 1298 766600, Fax: +44 (0) 1298 766601 E-mail: info@baseefa.com Internet: www.baseefa.com ERA Technology Ltd Cleeve Road, GB -Leatherhead Surrey KT22 7SA Tel: +44-1372-367-000, Fax: +44-1372-367-099 E-mail: info@era.co.uk Internet: www.era.co.uk SIRA Head Office South Hill, GB - Chiselhurst Kent BR7 5EH Tel: +44-20-846872636, E-mail: info@sira.co.uk Internet: www.sira.co.uk SIRA Certification Service (SCS) Rake Lane, Eccleston Chester England CH4 9JN Tel: +44 (0) 1244 670 900, Fax: +44 (0) 1244 681 330 E-mail: certification@siratec.co.uk Internet: www.siraservices.com SIRA Test and Certification Ltd The Hazardous Area Centre, Rake Lane, Eccleston, Chester, Cheshire, CH4 9JN, England Tel: +44-1244-670-900, Fax: +44-1244-681-330 E-mail: info@siracertification.com Internet: www.siraservices.com
Italien	Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano (CESI) Via Rubattino 54, I-20134 Milano Tel: +39-02 21251, Fax: +39-02 2125 5440 Internet: www.cesi.it

Land	Zulassungs-/Prüfstelle
Japan	The Technical Institution of Industrial Safety (TIIS) Kiyose Test House 1-4-6 Umezono Kiyose, Tokyo 204-0024 Japan Tel: +81-424-91-4519, Fax: +81-424-91-4846 Internet: www.ankyo.or.jp The Technical Institution of Industrial Safety (TIIS) 'Headquarter 837-1 Higashi-Nakahara, Kamihirose Syama-shi, Saitama, 350-1321 Japan Tel: +81-42-955-9901, Fax: +81-42-955-9902 Internet: www.ankyo.or.jp
Korea	Korea Industrial Safety Corp. (KISCO) 34-4 Kusa-dong, Poopyoung-gu, Inchon 403-120, The Republic of Korea Tel: +82 32 5100 865, Fax: +82 32 518 6483-4
Kroatien	ZIK - Zavod za Ispitivanje Kvalitete Robe d.d. Ljudevita Gaja 17/3, 10000 Zagreb, Croatia Tel: +385 (0) 1 4806 777, Fax: +385 (0) 1 4806 700 E-Mail:info@zik.hr Internet:www.zik.hr
Niederlande	KEMA Quality B.V. P.O.Box 9035, NL-6800 ET Arnhem, Utrechtseweg 310, NL-6812 AR Arnhem Tel: +31-26 3 56 91 11, Fax: +31-26 3 89 24 77 E-mail: information@kema.com Internet: www.kema.com
Norwegen	Nemko AS (Head Office) PO Box 48, Blindern, Gaustadalleen 30, N-0314 Oslo Tel: +47-22 96 06 00, Fax: +47-22 96 06 01 E-mail: ncs@norsert.no Internet: www.nemko.de
Österreich	TÜV Österreich Krugerstraße 16, A-1015 Wien Tel: +43-1-514-07-0, Fax: +43-1-514-07-6005 E-mail: office@tuv.at Internet: www.tuev.at
Schweden	Swedish National Testing and Research Institute (SP), Brinellgatan 4 Box 857, S-501 15 Boras Tel: +46 10-516 50 00, Fax: +46 33-13 55 20 E-mail: info@sp.se Internet: www.sp.se/eng
Schweiz	Eidgenössisches Starkstrominspektorat (ESTI) Luppmenstraße 1, CH-8320 Fehraltorf Tel: +41-44-956-1212, Fax: +41-44-956-1222 E-mail: esti@esti.ch Internet: www.esti.ch Electrosuisse Luppmenstraße 1, CH-8320 Fehraltorf Tel: +41 44 956 11 11, Fax: +41 44 956 11 22 E-mail: info@electrosuisse.ch Internet: www.electrosuisse.ch

Land	Zulassungs-/Prüfstelle
Slovakische Republik	EVPU a.s., SKTC 101 Trencianska 19, SK - 01851 Nova Dubnica (Slovakia) Tel: +421 42 44 32 161, Fax: +421 42 44 03 502 E-mail: trade@evpu.sk Internet: www.evpu.sk
Slowenien	SIQ - Slovenian Institute of Quality and Metrology Mr Igor Likar Trzaska cesta 2, SI - 1000 Ljubljana Tel: +386-1-4778-100, Fax: +386-1-4778-444 E-mail: info@siq.si Internet: www.siq.si
Spanien	Laboratorio Official Jose Maria Madariaga (LOM) Calle Alenzaa 1-2, E - 28003 Madrid Tel: +34 913367009, Fax: +34 914419933 E-mail: lom@lom.upm.es Internet: www.lom.upm.es
Südafrika	South African Bureau for Standards (SABS) 1 Dr. Lategan Road; Groenkloof, Private Bag X191, Pretoria 0001, South Africa Tel: +27-12-428-7911/6405, Fax: +27-12-344-1568 E-mail: info@sabs.co.za Internet: www.sabs.co.za
Tschechische Republik	Physical - technical testing institute, Ostrava-Radvanice Pikartska 7, CZ - 71607 Ostrava-Radvanice Tel: +420 595223111, Fax: +420 59 62 326 72 E-mail: ftzu@ftzu.cz Internet: www.ftzu.cz
Ukraine	Testing Certification Center of Explosion protected and mining Electrical Epuipment 50-ty Gvardeysky, divizii str., 17, Ukraine, 83052 Donetsk Tel: +38-(0622)-941243, Fax: +38-(0622)-3450417 E-mail: chuglazov@iscve.donetsk.na Internet: www.tccexec.org
Ungarn	Prüfstelle für Ex-geschützte Elektrische Betriebsmittel, BKI Mikoviny Sámuel u. 2-4, H - 1300 Budapest, Pf. 115 Tel: (361) 368 9697, 388-9101, Fax: (361) 250 1720 E-mail: bkiex@bki.hu Internet: www.bki.hu
USA	Underwriter Laboratories Inc. Northbrook Division, Illinois, Corporate Headquarters 333 Pfingsten Road, Northbrook, IL 60062-2096; USA Tel: +1-847-272-8800, Fax: +1-847-272-8129 E-mail: John.P.Drengenberg@us.ul.com Internet: www.ul.com Factory Mutual FM Approvals 1151 Boston-Providence Turnpike P.O: Box 9102 Norwood, MA 02062 Tel.: +1(1)7817624300 Fax: +1(1)7817629375 E-mail: approvals@fmglobal.com Internet: www.fmglobal.com/approvals

Explosionsschutz - auf den Punkt gebracht!

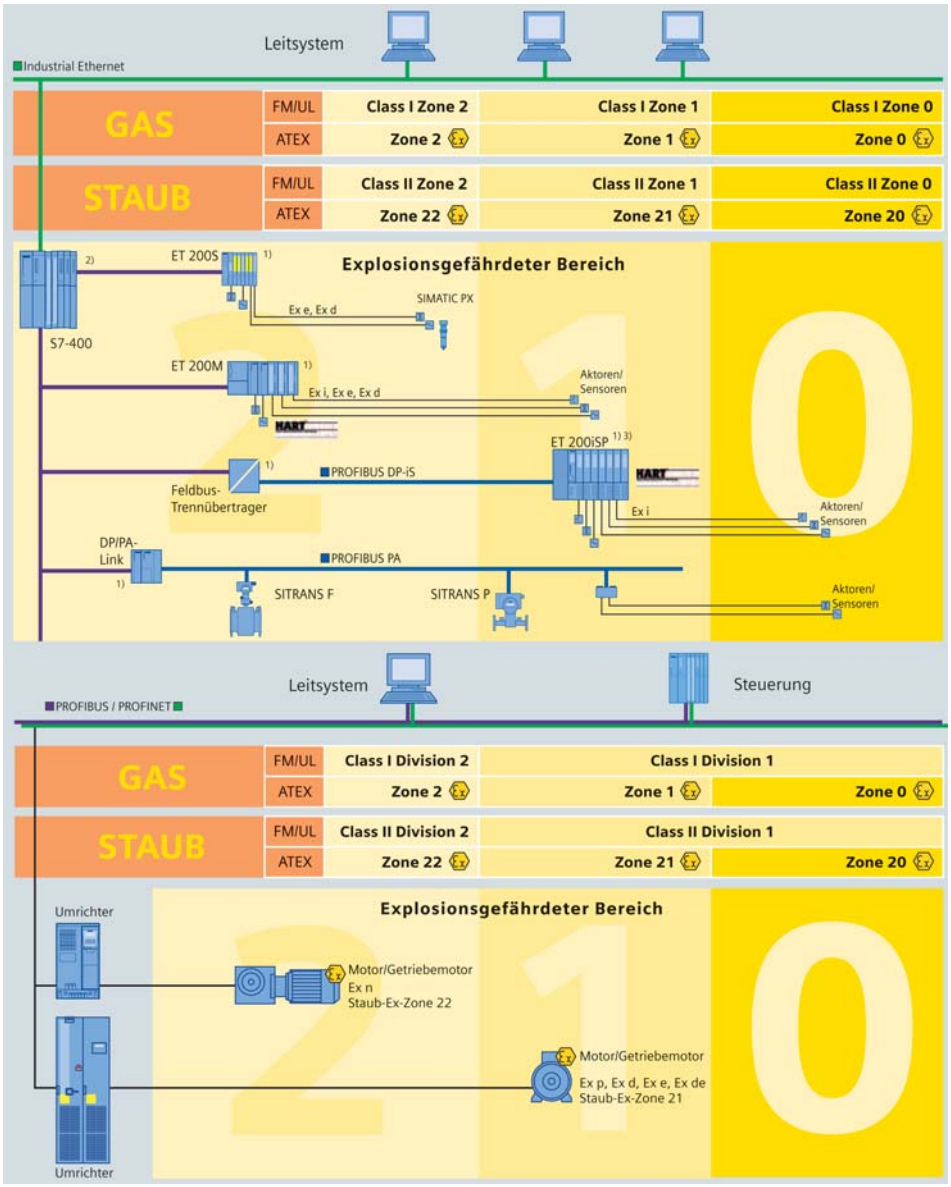


Produktspektrum für den Ex-Bereich

Siemens bietet ein breites Produktspektrum für den Einsatz im explosionsgefährdeten Bereich. Sowohl Komponenten in konventioneller Verdrahtungstechnik als auch Lösungen auf Basis von Kommunikationsbussen finden sich hier wieder. Als Kommunikationsbusse kommen AS-i und PROFIBUS zum Einsatz.

Folgende Komponenten stehen für den Ex-Bereich zur Verfügung:

- Dezentrale Peripherie SIMATIC ET 200
- Touch und Multi Panels SIMATIC HMI
- Kommunikationsprodukte SIMATIC NET, SCALANCE
- Niederspannungs-Schaltgeräte SIRIUS
- Induktive, Optische und Ultraschall-Näherungsschalter SIMATIC PX
- Asynchron-, Synchron- und Getriebemotoren aller Leistungsklassen



Einsatz in explosionsfähigen Gas- und Staub-Atmosphären

1) Staub-Atmosphäre: Installation der Komponenten immer in einem Gehäuse in Schutzart IP6X.

2) Mit DC 10A Standard Power Supply

3) Installation der Station nach FM/UL bis Class I, Division 2; angeschlossene Sensoren und Aktoren auch bis Class I, Division 1 bzw. Installation von Station und Sensoren/Aktoren nach FM/UL bis Class II/III, Division 1

Profibus ist ein leistungsfähiges, offenes und robustes Feldbussystem mit kurzen Reaktionszeiten für die komplette Produktions- und Prozessautomatisierung. Profibus besitzt integrierte Diagnosefunktionen und kann auch für HART-Geräte eingesetzt werden. Optische und drahtlose Übertragungstechniken erweitern die Anwendungsmöglichkeiten von PROFIBUS.

Das AS-Interface (Aktor-Sensor-Interface, AS-i) ist ein offener, internationaler Standard für die Feldbus-Kommunikation von räumlich verteilten, binären Aktoren und Sensoren auf der untersten Steuerungsebene. Bei diesem rein elektrischen Netz werden kleine Datenmengen und Energie über das gleiche Buskabel übertragen.

Produktspektrum Industrie-Automatisierungssysteme

Simatic ET 200
Mit Simatic ET 200 stehen unterschiedlichste dezentrale Peripheriesysteme zur Verfügung - für Lösungen im Schaltschrank oder ohne Schaltschrank direkt an der Maschine sowie für den Einsatz im explosionsgefährdeten Bereich. Der modulare Aufbau erlaubt es, die ET 200-Systeme einfach und in kleinen Schritten zu skalieren und zu erweitern. Fertig integrierte Zusatzmodule senken die Kosten und bieten gleichzeitig breit gefächerte Anwendungsmöglichkeiten. Dabei stehen unterschiedlichste Kombinationsmöglichkeiten zur Auswahl: digitale und analoge Ein-/Ausgänge, intelligente Module mit CPU-Funktionalität, Sicherheitstechnik, Motorstarter, Pneumatik, Frequenzumrichter sowie diverse Technologiemodule.
Die ET 200-Systeme können in unterschiedlichen Zonen eingesetzt werden - entweder in Zone 2 und 1 bei Gas-Atmosphären oder in Zone 22 und 21 bei Staub-Atmosphären. Die an die Peripherie angebundenen Sensoren und Aktoren können sogar in Zone 0 oder Zone 20 liegen. Bei Installation in Zone 2/22 ist eine Herstellererklärung (Konformität des Schaltschranks mit der ATEX Richtlinie) notwendig. Bei Installation in Zone 1/21 muss eine Zertifizierung des Schaltschrankes für den Gas-/Staub-Bereich vorliegen.

* Bilder stehen beispielhaft für die Geräteart bzw. Gerätefamilie und müssen nicht zwangsläufig die entsprechenden ATEX-Varianten darstellen.

Simatic ET 200S

Das Multitalent mit dem umfassenden Modulspektrum

Das multifunktionale und feinmodulare SIMATIC ET 200S Peripheriesystem in Schutzart IP20 lässt sich exakt an verschiedenste Automatisierungsaufgaben anpassen, z.B. durch:

- Technologie-Module z.B. für Zähl- und Positionieraufgaben zur Nockensteuerung oder für Regelungsaufgaben
- Pneumatikanbindung über Module der Firma Bürkert
- Fehlersichere E/A-Module für die Einbindung in sicherheitsgerichtete Anlagen mit SIMATIC Safety Integrated

*

Simatic ET 200S COMPACT

Das Interface-Modul IM 151-1 COMPACT ergänzt das bekannte Modulspektrum der bewährten ET 200S und ermöglicht den Einsatz als Blockperipherie. Die Funktionalität basiert auf dem IM 151-1 BASIC und besteht aus einem Interface-Modul und 32 Kanälen in einem Block. Insgesamt können durch Erweiterung des Blockes mit ET 200S Modulen (maximal mit 12 Modulen) bis zu 128 Kanäle an SIMATIC ET 200S COMPACT angebunden werden. Es stehen auch umfangreiche Diagnosefunktionen zur Verfügung.

*

System	Configuration in Run	Hot Spapping	Redundanz	Profibus	Profinet	AS-Interface	Temperatur	Zulassung	Kenn-zeichnung
ET 200S		●		●	●		0 ... +60 °C	ATEX II 3 G	EEx nA II T4 bzw. T5 bzw. T6
								FM Class I	Division 2, Groups A,B,C,D T4 or T4A or T5 or T6
								FM Class I	Zone 2, Group IIC, T4 or T5 or T6
								cULus Class I	Division 2, Groups A,B,C,D T4 or T4A or T5 or T6
								cULus Class I	Zone 2, Group IIC, T4 or T5 or T6
ET 200S COMPACT				●			0 ... +60 °C	ATEX II 3 G	EEx nA II T4 bzw. T5 bzw. T6
								FM Class I	Division 2, Groups A,B,C,D T4 or T4A or T5 or T6
								FM Class I	Zone 2, Group IIC, T4 or T5 or T6
								cULus Class I	Division 2, Groups A,B,C,D T4 or T4A or T5 or T6
								cULus Class I	Zone 2, Group IIC, T4 or T5 or T6

Simatic ET 200M

Die hochkanalige S7-300-Peripherie

Das dezentrale Peripheriesystem ET 200M ist modular aufgebaut und besitzt Schutzart IP20. Als Peripheriebaugruppen – der Schnittstelle zum Prozess – sind bis zu 12 hochkanalige Signal- (z.B. 64 digitale Eingänge) und Funktionsmodule sowie Kommunikationsprozessoren der S7-300 einsetzbar.

*

System	Configuration in Run	Hot Spapping	Redundanz	Profibus	Profinet	AS-Interface	Temperatur	Zulassung	Kenn-zeichnung
ET 200M	● 1)	●	●	●	●		0 ... +60 °C	ATEX II 3 (2) G	EEx nA [ib] IIC T4(EEx ib HART Module)
								ATEX II 3 G	EEx nA II T4 bzw. T5 bzw. T6 (alle anderen Mod.)
								FM Class I	Division 2, Groups A,B,C,D, T4 or T4A or T5 or T6
								FM Class I	Zone 2, Group IIC, T4 or T5 or T6
								cULus Class I	Division 2, Groups A,B,C,D, T4 or T4A or T5 or T6
								cULus Class I	Zone 2, Group IIC, T4 or T5 or T6

1) CiR in Verbindung mit S7-400

Simatic ET 200iSP

Die eigensichere Variante für den Ex-Bereich

Die Simatic ET 200iSP wurde speziell für den Einsatz bei explosionsgefährdeten Umgebungsbedingungen konzipiert. Durch den Einsatz eines Trennübertragers wird der PROFIBUS DP eigensicher gemacht. Dies wird durch eine Auftrennung und Energiebegrenzung des Busses im sicheren Bereich realisiert. Für die Simatic ET 200iSP sind verschiedenste Baugruppen erhältlich:

- 2-, 4- und 8-kanalige digitale und analoge Ein-/Ausgabemodule
- Pneumatikanbindung über Module der Firma Bürkert
- Watchdog-Modul bspw. zum gezielten Lesen oder Schreiben von Ein-/Ausgangsdaten und Bereitstellung einer eigensicheren Spannungsversorgung für das Abschaltsignal der Digitalausgänge

*

System	Configuration in Run	Hot Spapping	Redundanz	Profibus	Profinet	AS-Interface	Temperatur	Zulassung	Kenn-zeichnung
ET 200iSP	●	●	●	●			-20 ...+70 °C	ATEX II 2 G (1) GD I M2	Ex de [ia/ib] IIC T4, Ex de [ia/ib] I
								IECEx Zone 1	Ex de [ia/ib] IIC T4
								cFMus, Class I, II, III	NI Division 2, Groups A,B,C,D,E,F,G T4 AIS Division 1, Groups A,B,C,D,E,F,G
								cFMus, Class I	Zone 1, AEx de [ia/ib] IIC T4
								cULus, Class I, II, III	Division 2, Groups A,B,C,D,E,F,G T4 providing int. safe circuits for Division 1, Groups A,B,C,D,E,F,G
								cULus, Class I	Zone 1, AEx de [ia/ib] IIC T4

Simatic Panels

Simatic Panels sind robust und dienen zum maschinennahen Bedienen und Beobachten in rauer Industrieumgebung. Sie überzeugen durch brillante Displays in verschiedenen Größen mit langer Lebensdauer. Die Kommunikation erfolgt über Profibus oder Profinet. Zur Projektierung wird WinCC flexible verwendet. Bis zu 32 Projektsprachen erleichtern den weltweiten Einsatz.

Touch Panels

Touch Panels besitzen vollgrafische Displays und werden über Touchscreen bedient.

*

Panel	Display-größe	Folien-tastatur	Touch Screen	PB	PN	AS-i	Temperatur	Zulassung	Kennzeichnung
TP 177B Inox	6"		●	●	●		0 ... +50 °C	IEC 61241-0 EN 61241-1	Ex nA II Tx Ex tD A22 Tx
TP 277	6"		●	●	●		0 ... +50 °C	IEC 61241-0 EN 61241-1	Ex tD A22 Tx

Multi Panels

Multi Panels sind multifunktionale Plattformen ohne Lüfter und Festplatte und besitzen das Betriebssystem Windows CE.

*

Panel	Display-größe	Folien-tastatur	Touch Screen	PB	PN	AS-i	Temperatur	Zulassung	Kennzeichnung
MP 277	8", 10"	●	●	●	●		0 ... +50 °C	IEC 61241-0 EN 61241-1	Ex tD A22 Tx
MP 277 Inox	10"		●	●	●		0 ... +50 °C	IEC 61241-0 EN 61241-1	Ex tD A22 Tx
MP 377	12", 15", 19"						0 ... +50 °C	IEC 61241-0 EN 61241-1	Ex tD A22 Tx

Kommunikationsprodukte

Simatic NET Systemanschlüsse für Simatic S7

Die Kommunikationsprozessoren (CP) für SIMATIC S7-200, S7-300 und S7-400 entlasten die CPU und sind für den rauen Einsatz in industrieller Umgebung mit weiten Temperaturbereichen konzipiert. Es gibt sie in unterschiedlichen Ausprägungen und mit verschiedenen Funktionen.

*

System	Configuration in Run	Hot Swapping	Redundanz	Profibus	Profinet	AS-Interface	Temperatur	Zulassung	Kenn-zeichnung
CPs für Simatic S7-200, S7-300 und S7-400, CSM 377	●	●	●	●	●	●	0 ... +60 °C	ATEX II 3 G	EEx nA II T4
								FM Class I	Division 2, Groups A,B,C,D, T4 bzw. T4A
								FM Class I	Zone 2, Group IIC, T4
								cULus	UL 60950-1; CSA C22.2 60950-1-03
								cULus	UL 508; CSA C22.2 Nr. 142
								cULus Class 1	Division 2, Groups A,B,C,D
								cULus Class 1	Zone 2, GP IIC
								cULus Class 1	Zone 2, AEx nC IIC

Netzübergänge

Durch spezielle Links lassen sich die Vorteile von Industrial Ethernet, Profibus und AS-Interface ideal in einem gemeinsamen Bussystem kombinieren.

*

System	Configuration in Run	Hot Swapping	Redundanz	Profibus	Profinet	AS-Interface	Temperatur	Zulassung	Kenn-zeichnung
Netzüber gänge		●		●	●	●	0 ... +60 °C	FM Class I	Division 2, Groups A,B,C,D, T4 or T4A
								FM Class I	Zone 2, Group IIC, T4
								cULus	UL 60950-1; CSA C22.2 60950-1-03

Optical Link Module für Profibus

Mit Hilfe der Optical Link Modules lassen sich optische PROFIBUS-Netze (Linie, Ring, Stern) mit Lichtwellenleiter mit Glas- oder Plastikfasern aufbauen. Sie ermöglichen u.a. den Einsatz im Außenbereich bis -20 °C.

*

System	Configuration in Run	Hot Swapping	Redundanz	Profibus	Profinet	AS-Interface	Temperatur	Zulassung	Kennzeichnung
Optical Link Module OLM für Profibus		●	●	●			-20 ...+60 °C	ATEX II 3 G	Ex nA IIC T4
								FM Class I	Division 2, Groups A,B,C,D, T4
								FM Class I	Zone 2, Group IIC, T4
								cULus Class I	Division 2, Groups A,B,C,D T4 bzw. T4A
								cULus	UL 60950-1; CSA C22.2 60950-1-03

Security Modules

Die robusten und benutzerfreundlichen Security Module Scalance S schützen effektiv Informationen innerhalb eines Systems und auch über das öffentliche Netze, wie z.B. das Internet. Sie bieten Schutz vor Datenspionage und Datenmanipulation, Überlastung des Kommunikationssystems und vor gegenseitiger Beeinflussung oder Falschadressierung.

*

System	Configuration in Run	Hot Swapping	Redundanz	Profibus	Profinet	AS-Interface	Temperatur	Zulassung	Kennzeichnung
Scalance S		●			●		-20 ...+70 °C	ATEX II 3 G	EEx nA II T4
								FM Class I	Division 2, Groups A,B,C,D, T4
								FM Class I	Zone 2, Group IIC, T4
								cULus Class I	Division 2, Groups A,B,C,D, T4

IWLAN-Komponenten

Die Scalance W-Komponenten bieten die einzigartige Kombination aus Zuverlässigkeit, Robustheit und Sicherheit. Mit Industrial Wireless LAN (IWLAN) wird eine Erweiterung des Standards IEEE 802.11 zur Verfügung gestellt, die besonders Industriekunden mit Bedarf an Deterministik und Redundanz anspricht. Damit erhalten Kunden erstmals ein einziges Funkfeld sowohl für prozesskritische Daten (z.B. Alarmmeldung), als auch für unkritische Kommunikation (z.B. Service und Diagnose).

*

System	Configuration in Run	Hot Spapping	Redundanz	Profibus	Profinet	AS-Interface	Temperatur	Zulassung	Kennzeichnung
Scalance W		●	●		●		-20 ...+60 °C	ATEX II 3 G	EEx nA II T4
								FM Class I	Division 2, Groups A,B,C,D, T4
								FM Class I	Zone 2, Group IIC, T4
								cULus Class I	Division 2, Groups A,B,C,D, T4
								cULus	UL 60950-1; CSA C22.2 60950-1-03

Industrial Ethernet Switches

Industrial Ethernet Switches der Produktfamilie Scalance X sind aktive Netzkomponenten, mit denen Netze in Linien-, Ring- oder Sternstrukturen aufgebaut und gezielt Daten an die entsprechenden Adressaten verteilt werden können. Scalance X bietet ein breites Produktspektrum das für die jeweilige Automatisierungsaufgabe den richtigen Industrial Ethernet Switch enthält.

*

System	Configuration in Run	Hot Spapping	Redundanz	Profibus	Profinet	AS-Interface	Temperatur	Zulassung	Kennzeichnung
Scalance X		●	●		●		-20 ...+70 °C	ATEX II 3 G	EEx nA II T4
								FM Class I	Division 2, Groups A,B,C,D T4 or T4A
								FM Class I	Zone 2, Group IIC, T4
								cULus Class I	Division 2, Groups A,B,C,D T4 bzw. T4A
								cULus Class I	Zone 2, GP, IIC, T4
								cULus Class I	Zone 2, AEx nC, IIC, T4
								cULus	UL 60950-1; CSA C22.2 60950-1

Produktspektrum Niederspannungs-Schalttechnik
Viele Niederspannungs-Schaltgeräte z. B. Überlastrelais und Motorschutzschalter sind vorgesehen für das Schalten und Steuern von Einrichtungen und explosiven Atmosphären, während sie selbst sich außerhalb befinden. Diese Geräte werden mit der Kategorie der zu schützenden elektrischen Geräte gekennzeichnet, jedoch wird die Kategorie in runde Klammern gesetzt z.B.: Ex II (2) GD.

Systeme

AS-Interface – durchgängiges System, überlegene Strategie

- Als kostengünstiges und robustes Bussystem für die Feldebene verbindet AS-Interface – offen und herstellerunabhängig – Aktoren und Sensoren mit der Steuerungsebene – für Standard- als auch Sicherheitsanwendungen.
- Ein serieller Feldbus verbindet dabei alle Automatisierungskomponenten einfach, sicher und durchgängig.Durch die ATEX-zertifizierten Kompaktmodule K60 wird der Einsatz von AS-Interface auch in explosionsgefährdeten Bereichen möglich.

*

	Typ	Baureihe	Zertifikatsnummer	Zulassungsbasis	Zündungsschutzart/ Kennzeichnung
Digitale E/A-Module IP67 – K60	3RK1 400-1DQ05-0AA3, 3RK1 200-0CQ05-0AA3	K60	ATEX 2705	EN 60947-5-2 EN 50281-1-1	Ex II (3) D X

Weitere Informationen zu diesem Produkt finden Sie im Katalog LV 1 und in der Technischen Information LV 1 T im Kapitel 2 (Information and Download Center: www.siemens.de/simatic/druckschriften).

[1] *Hinweis für die Anwendung von stromüberwachenden Motorschutzgeräten Definition der Erwärmungszeit tE:*
Wird der Läufer eines explosionsgeschütztenDrehstrommotors in Zündschutzart "Erhöhte Sicherheit" EEx e während des Betriebs im betriebswarmen Zustand festgebremst (blockiert), so muss der Motor spätestens dann abgeschaltet werden, wenn entweder die Läufer- oder Ständerwicklung ihre maximale Temperatur erreicht hat. Die Zeit, die hier vergeht, bis Läufer oder Ständer die maximale Temperatur erreicht hat, wird Erwärmungszeit tE oder tE-Zeit genannt.
Anforderungen an Überlastschutzgeräte bezüglich tE-Zeit:
Für Auslöser und Relais mit stromabhängig verzögerter Auslösung müssen am Betriebsort Auslösekennlinien verfügbar sein. Die Kennlinien sollen die Auslösezeiten bei 3-poliger Belastung, ausgehend vom kalten Zustand bei einer Raumtemperatur von 20 °C, in Abhängigkeit mindestens vom 3- bis 8-fachen Einstellstrom darstellen. Die Schutzeinrichtungen müssen die angegebenen Auslösezeiten mit einer zulässigen Abweichung von ± 20 % einhalten. Die Auslöser oder Relais für Maschinen mit Käfigläufern sind so auszuwählen, dass die Auslösezeiten bei 3-poliger Belastung nicht größer sind, als die auf dem Typschild des Motors angegebene Erwärmungszeit tE.

Schützen

Sirius Leistungsschalter für den Motorschutz

- Die Leistungsschalter 3RV sind kompakte, strombegrenzende Leistungsschalter. Sie garantieren ein sicheres Abschalten bei Kurzschluss und schützen Verbraucher und Anlagen vor Überlast. Darüber hinaus eignen sie sich für das betriebsmäßige Schalten von Verbrauchern bei geringer Schalthäufigkeit sowie zur sicheren Trennung der Anlage vom Netz bei Wartungsarbeitungen oder Änderungen. SIRIUS 3RV ist die einzige durchgängige Produktfamilie am Markt für Leistungsschalter bis 100 A.

*

	Typ	Baureihe	Zertifikatsnummer	Zulassungsbasis	Zündungsschutzart/ Kennzeichnung
Leistungsschalter für den Motorschutz	3RV10 11	S00	DMT 02 ATEX F 001, DMT 02 ATEX F 001 N1	IEC 60947-4-1, DIN EN 60079-14	Ex II (2) GD
	3RV10 21	S0			
	3RV10 31	S2			
	3RV10 41	S3			
	3RV10 42	S3			

Schützen

Sirius Überlastrelais 3RB2 und 3RU1

- Die Überlastrelais der SIRIUS Reihe, die es in elektronischer (3RB2) und thermischer Ausführung (3RU1) gibt, übernehmen im Hauptstromkreis den stromabhängigen Überlastschutz. Dies umfasst alle elektrischen Verbraucher – ebenso wie alle anderen, relevanten Schalt- und Schutzgeräte im jeweiligen Verbraucherabzweig. Die Überlastrelais sind zertifiziert nach ATEX und somit geeignet für Motoren der Schutzart "Erhöhte Sicherheit" EEx e.

*

	Typ	Baureihe	Zertifikatsnummer	Zulassungsbasis	Zündungsschutzart/ Kennzeichnung
Elektronische Überlastrelais 3RB					
für Standard-Anwendungen	3RB20, 3RB21	S00 ... S12	PTB 06 ATEX 3001	DIN EN 60079-1, DIN EN 60079-7, DIN EN 60079-14, IEC 60947-4-1, IEC 60947-5-1, IEC 60947-8, IEC 61508	Ex II (2) GD
für gehobene Anwendungen	3RB22, 3RB29		PTB 05 ATEX 3022		
Thermische Überlastrelais 3RU1					
für Standard-Anwendungen	3RU11 1	S00	DMT 98 ATEX G 001, DMT 98 ATEX G 001 N1	IEC 60079-14, DIN EN 60079-14	Ex II (2) GD
	3RU11 2	S0			
	3RU11 3	S2			
	3RU11 4	S3			

Auslösekennlinien für unsere Leistungsschalter und Überlastrelais finden Sie im Internet unter: www.siemens.de/lowvoltage/manuals

Starten

SIRIUS Sanftstarter 3RW

- Die Sanftstarter bieten ein lückenloses Spektrum, das alle Standard- und High-Feature-Anwendungen des Motorstarts abdeckt. So lassen sich heute in den verschiedensten Anwendungen die Vorteile des sanften An- und Auslaufs für die einfache und wirtschaftliche Realisierung optimaler Maschinenkonzepte nutzen.

Motorstarter Standard ET 200S 3RK

- Mit den Motorstartern der ET 200S können beliebige Drehstromverbraucher geschützt und geschaltet werden. Die komplett vorverdrahteten Geräte gibt es in verschiedenen Leistungsklassen als Direkt-, Wende- oder Sanftstarter bis zu einer Leistung von maximal 7,5 kW.

	Typ	Baureihe	Zertifikatsnummer	Zulassungsbasis	Zündungsschutzart/ Kennzeichnung
Sanftstarter für Standard-Anwendungen	3RW40	S6, S10/S12	BVS 05 ATEX F 002	DIN EN 60079-14, IEC 60947-4-2, IEC 61508	Ex II (2) GD
Motorstarter Standard ET 200S	3RK13 01	S00	DMT 02 ATEX F 001 DTM 02 ATEX F 001 N1	DIN EN 60079-14 IEC 60947-4-1	Ex II (2) GD

Überwachen und Steuern

Motormanagement-System Simocode pro 3UF7

- Das kommunikationsfähige, modular aufgebaute Motormanagement-System Simocode pro (SIRIUS Motormanagement and Control Devices) schützt Motoren der Zündschutzarten Exe und Exd im explosionsgefährdeten Bereich schnell und zuverlässig. Simocode pro ist nach den neuesten ATEX-Standards zertifiziert. Der Einsatz von Simocode pro bedeutet außerdem keinerlei zeitliche Einschränkungen bezüglich periodisch notwendiger Funktionstests von Abzweigen im Ex-Bereich.

Motorschutz- und Steuergeräte SIMOCODE-DP 3UF5

- Simocode-DP ist der Vorgänger des Motormanagement-Systems Simocode pro und bietet in nur einem einzigen Gerät die Lösung für unterschiedlichste Aufgaben.

	Typ	Baureihe	Zertifikatsnummer	Zulassungsbasis	Zündungsschutzart/ Kennzeichnung
Motormanagement- und Steuergeräte Simocode pro	3UF7	S00 ... S12	BVS 06 ATEX F 001	DIN EN 60079-1, DIN EN 60079-7, DIN EN 60079-14, IEC 60947-4-1, IEC 60947-5-1 IEC 60947-8 IEC 61508	Ex I (M2), Ex II (2) GD
Motorschutz- und Steuergeräte Simocode-DP	3UF5	S00 ... S12	PTB 01 ATEX 3219	DIN EN 50019 DIN EN 60079-7 DIN EN 60079-14 IEC 60079-7	Ex II (2) G

Weitere Informationen zu diesem Produkt finden Sie im Katalog LV 1 und in der Technischen Information LV1 T im Kapitel 7 (Information and Download Center: www.siemens.de/simatic/druckschriften).

Überwachen und Steuern

Sirius Thermistor-Motorschutzrelais 3RN1 für Kaltleiter-Temperaturfühler

- Thermistor-Motorschutzrelais 3RN1 bringen überall dort entscheidende Vorteile, wo stromabhängiger Schutz durch Leistungsschalter oder Überlastrelais nicht die ideale Überwachungsgröße ist. Dies ist z.B. der Fall, wenn es in bestimmten Situationen und dann oft durch äußere Einflüsse bedingt zur Überhitzung kommt, ohne dass das thermische Abbild im Leistungsschalter/Überlastrelais dies erfassen kann. Sirius Thermistor-Motorschutzrelais sind nach ATEX für Gase und Staub zertifiziert.

*

	Typ	Baubreite (mm)	Zertifikatsnummer	Zulassungsbasis	Zündungsschutzart/ Kennzeichnung
Thermistor-Motorschutzrelais für Kaltleiter (PTCs TypA)	3RN10 3RN10 11-.B 3RN10 11-.G 3RN10 12-.B 3RN10 12-.G 3RN10 13-...0	22,5; 45	PTB 01 ATEX 3218	DIN EN 60079-14, DIN EN 50281-1-1 IEC 60947-1, IEC 60947-5-1, IEC 60947-8	Ex II (2) G Ex II (2) GD

Erfassen

Positionsschalter 3SE5

- Positionsschalter werden überall dort eingesetzt, wo bewegliche Teile an Anlagen und Maschinen positioniert, gesteuert und überwacht werden müssen. Ob zur Überwachung von Schutzeinrichtungen mit Drehgelenken, zur Überwachung seitlich verschiebbarer Schutzeinrichtungen oder zur Erfassung gefährlicher Bewegungen von Maschinenteilen – unsere Geräte können nahezu alle Anforderungen aus der Industriepraxis erfüllen.

*

	Typ	Baubreite (mm)	Zertifikatsnummer	Zulassungsbasis	Zündungsschutzart/ Kennzeichnung
Positionsschalter	3SE5112-.....-1DA0	56	ATEX 2829	DIN EN/IEC 61241-0	Ex II 3D
	3SE5122-.....-1DA0	40		DIN EN/IEC 61241-1	

Befehlen und Melden

Befehls- und Meldegeräte 3SB3

- Befehls- und Meldegeräte sorgen dafür, dass Zustände von Maschinen und Anlagen (z.B. Fehlerquellen oder Störfaktoren) rechtzeitig und zuverlässig gemeldet werden und Maschinen und Anlagen gesteuert sowie in Gefahrensituationen in den sicheren Zustand gebracht werden können. Teil unseres umfassenden Portfolios sind sowohl die Betätiger und Schaltelemente, als auch die Lampenfassungen mit LED-Lampe, die gemäß der ATEX-Richtlinie 94/9/EG als einfache elektrische Betriebsmittel eingestuft wurden und somit für den Einsatz in eigensicheren Stromkreisen geeignet sind.

	Typ	Ausführung	Zertifikatsnummer	Zulassungsbasis	Zündungsschutzart/ Kennzeichnung
Betätigungselemente					
Betätiger	3SB30.. 3SB35..	Kunststoff- oder Metallbetätiger	ATEX 2690b	Einfache elektrische Betriebsmittel gemäß EN 50020, IEC 60947-5-1	Einsatz nur in Stromkreisen der Zündschutzart i (Eigensicherheit) gemäß EN 50020
Schaltelement	3SB34..	Federzugklemmen oder Schraubanschluss			
Komponenten für Betätigungselemente					
Lampenfassung	3SB34..-1A	Federzugklemmen oder Schraubanschluss	ATEX 2689b	Einfache elektrische Betriebsmittel gemäß EN 50020, IEC 60947-5-1	Einsatz nur in Stromkreisen der Zündschutzart i (Eigensicherheit) gemäß EN 50020 Einsatz bis Spannung 26,4 V (LED's)
LED-Lampe	3SB39 01-1.A	Bemessungsspannung AC/DC 24 V, Sockel BA9s			

Produktspektrum Sensorik

Näherungsschalter Simatic PX

Als Sinnesorgane der Automatisierung müssen Sensoren an exponierter Stelle des Prozesses eingesetzt werden. Das gilt auch und insbesondere für Anlagen und Maschinen mit potenziell explosiver Atmosphäre. Hier gelten besondere Anforderungen an die Sensoren bezüglich des Explosionsschutzes. Mit den für Zone 2 bzw. Zone 22 ATEX-zertifizierten induktiven, optischen sowie Ultraschall-Näherungsschaltern SIMATIC PX erschließen sich z.B. auch typische Ex-Bereichs-Applikationen aus der Nahrung- und Genussmittelproduktion, in Lackierereien, der chemischen Industrie oder der Holzverarbeitung. Bei Steckergeräten wird der Stecker gegen unbefugtes Ziehen mittels Sicherungsklammer geschützt.

Hinweis:

Weitere Informationen zu Näherungsschaltern finden Sie im Katalog FS 10 im Kapitel 2 oder im Internet unter:
www.siemens.de/simatic-sensors/px

Induktive Näherungsschalter Simatic PXI600

Aufgrund ihres kontakt- und daher funkenfreien Schaltverhaltens sind induktive Näherungsschalter verglichen mit konventionellen Endschaltern besonders geeignet für den Einsatz in explosiver Umgebung. Schaltabstände von 2 mm bis zu 35 mm bei kompakten und robusten Bauformen bieten vielfältige Einsatzmöglichkeiten auch bei beengten Platzverhältnissen. Induktive Näherungsschalter PXI600 stehen in den Bauformen M12, M18, M30 und C40S zur Verfügung.

*

Kompaktreihe	Einbau-bedingungen	Schaltabstand	Anschluss	Zulassung	Kennzeichnung
M12	bündig	2 mm	Stecker M12 Leitung	ATEX Zone 2/22	EX II 3G EEx nA II T6 X EX II 3D IP65 T80°C X
	nicht bündig	4 mm	Stecker M12 Leitung	ATEX Zone 2/22	EX II 3G EEx nA II T6 X EX II 3D IP65 T80°C X
M18	bündig	5 mm	Stecker M12 Leitung	ATEX Zone 2/22	EX II 3G EEx nA II T6 X EX II 3D IP65 T80°C X
	nicht bündig	8 mm	Stecker M12 Leitung	ATEX Zone 2/22	EX II 3G EEx nA II T6 X EX II 3D IP65 T80°C X
M30	bündig	10 mm	Stecker M12 Leitung	ATEX Zone 2/22	EX II 3G EEx nA II T6 X EX II 3D IP65 T80°C X
	nicht bündig	15 mm	Stecker M12 Leitung	ATEX Zone 2/22	EX II 3G EEx nA II T6 X EX II 3D IP65 T80°C X
C40Shorty	bündig	15 mm	Stecker M12	ATEX Zone 2/22	EX II 3G EEx nA II T6 X EX II 3D IP65 T80°C X
	nicht bündig	35 mm	Stecker M12	ATEX Zone 2/22	EX II 3G EEx nA II T6 X EX II 3D IP65 T80°C X

EG-Konformitätserklärung:
http://support.automation.siemens.com/WW/view/de/22917125

Optische Näherungsschalter Simatic PXO600

Optische Näherungsschalter mit großen Erfassungsbereichen ermöglichen eine flexible, materialunabhängige und exakte Objektdetektion über große Distanzen. Wahlweise stehen für Ex-Zone 2 und Zone 22 Reflexionslichtschranken, Reflexionslichttaster oder Einweg-Lichtschranken zur Verfügung. Die optischen Näherungsschalter aus der Reihe Simatic PXO600 in der Bauform K80 bieten vielfältige Befestigungsmöglichkeiten. Lieferbar sind Ausgangsvarianten mit zwei antivalenten Schaltausgängen oder mit einem Schaltausgang und einem Funktionsreserveausgang.

*

Betriebsart	Schaltausgang	Anschluss	Erfassungs-bereich	Zulassung	Kennzeichnung
Reflexionslicht-taster	hell- und dunkelschaltend pnp	Stecker M12	2 m	ATEX Zone 2/22	EX II 3G EEx nA II T6 X EX II 3D IP65 T80°C X
Reflexionslicht-schranke	hell- und dunkelschal-tend pnp	Stecker M12	6 m	ATEX Zone 2/22	EX II 3G EEx nA II T6 X EX II 3D IP65 T80°C X
		Stecker M12	12 m	ATEX Zone 2/22	EX II 3G EEx nA II T6 X EX II 3D IP65 T80°C X
Einweg-Lichtschranke	Sender mit Freigabeeingang	Stecker M12	50 m	ATEX Zone 2/22	EX II 3G EEx nA II T6 X EX II 3D IP65 T80°C X
	hell- und dunkelschaltend pnp	Stecker M12	50 m	ATEX Zone 2/22	EX II 3G EEx nA II T6 X EX II 3D IP65 T80°C X
	hell- und dunkelschaltend pnp; Funktionsreserve mit Zeitfunktion 0,01...1 s	Stecker M12	50 m	ATEX Zone 2/22	EX II 3G EEx nA II T6 X EX II 3D IP65 T80°C X

Ultraschall-Näherungsschalter Simatic PXS810					
Ultraschall-Sensoren sind aufgrund ihres Detektionsprinzips besonders für den Einsatz in der häufig rauen Umgebung eines Ex-Bereichs geeignet. Ob Nebel, Staub oder Verschmutzung: Der Sensor arbeitet zuverlässig. Auch Tank- oder Silofüllstände lassen sich so sicher mit der Ultraschall-Technik erfassen. Für den Kontakt mit aggressiven Medien oder für den Einsatz in der Nahrungsund Genussmittelproduktion stehen zudem Geräte in Edelstahlausführung zur Verfügung.				*	
Betriebsart	Schaltausgang	Erfassungs-bereich	Anschluss	Zulassung	Kennzeichnung
M18	Schaltausgang: Öffner Schaltausgang: Schließer Analogausgang Frequenzausgang	5 ... 30 cm	Stecker M12	ATEX Zone 2/22	EX II 3G EEx nA II T6 X EX II 3D IP65 T80°C X
		15 ... 100 cm	Stecker M12	ATEX Zone 2/22	EX II 3G EEx nA II T6 X EX II 3D IP65 T80°C X
M30	Schaltausgang: Öffner Schaltausgang: Schließer Analogausgang	6 ... 30 cm	Stecker M12	ATEX Zone 2/22	EX II 3G EEx nA II T6 X EX II 3D IP65 T80°C X
		20 ... 130 cm	Stecker M12	ATEX Zone 2/22	EX II 3G EEx nA II T6 X EX II 3D IP65 T80°C X
		40 ... 300 cm	Stecker M12	ATEX Zone 2/22	EX II 3G EEx nA II T6 X EX II 3D IP65 T80°C X
		60 ... 600 cm	Stecker M12	ATEX Zone 2/22	EX II 3G EEx nA II T6 X EX II 3D IP65 T80°C X

Produktspektrum Motoren und Getriebemotoren

Siemens bietet seit Jahrzehnten über alle Leistungsklassen hinweg explosionsgeschützte Motoren an und sorgt dabei auch in explosiver Atmosphäre für zuverlässigen Betrieb und maximale Sicherheit für Mensch, Maschine und Umwelt. Die Akquisition der Loher GmbH im Jahr 2005 hat das Angebot im Bereich explosionsgeschützter Antriebe nochmals erheblich erweitert und komplettiert.

Das Angebotsspektrum von Siemens und Loher ergänzt sich zu einem lückenlosen Spektrum – von 60 Watt bis 100 MW, als Standardausführung oder als maßgeschneiderte Kundenlösung und in allen anwendbaren Zündschutzarten für Gas und Staub.

Für Motion Control Anwendungen in Explosionsschutzzonen, etwa in der Druckindustrie und Lackieranlagen, stehen Synchron- und Asynchronmotoren für den Einsatz in Zone 1 und 2 sowie Zone 22 zur Verfügung.

Doppelschutz für außergewöhnliche Anforderungen

Für besondere Anforderungen stehen Motoren mit Doppelschutz zur Verfügung: Zum einen ist dies die Kombination von Gas- und Staubexplosionsschutz für Einsatzorte, an denen entweder feine

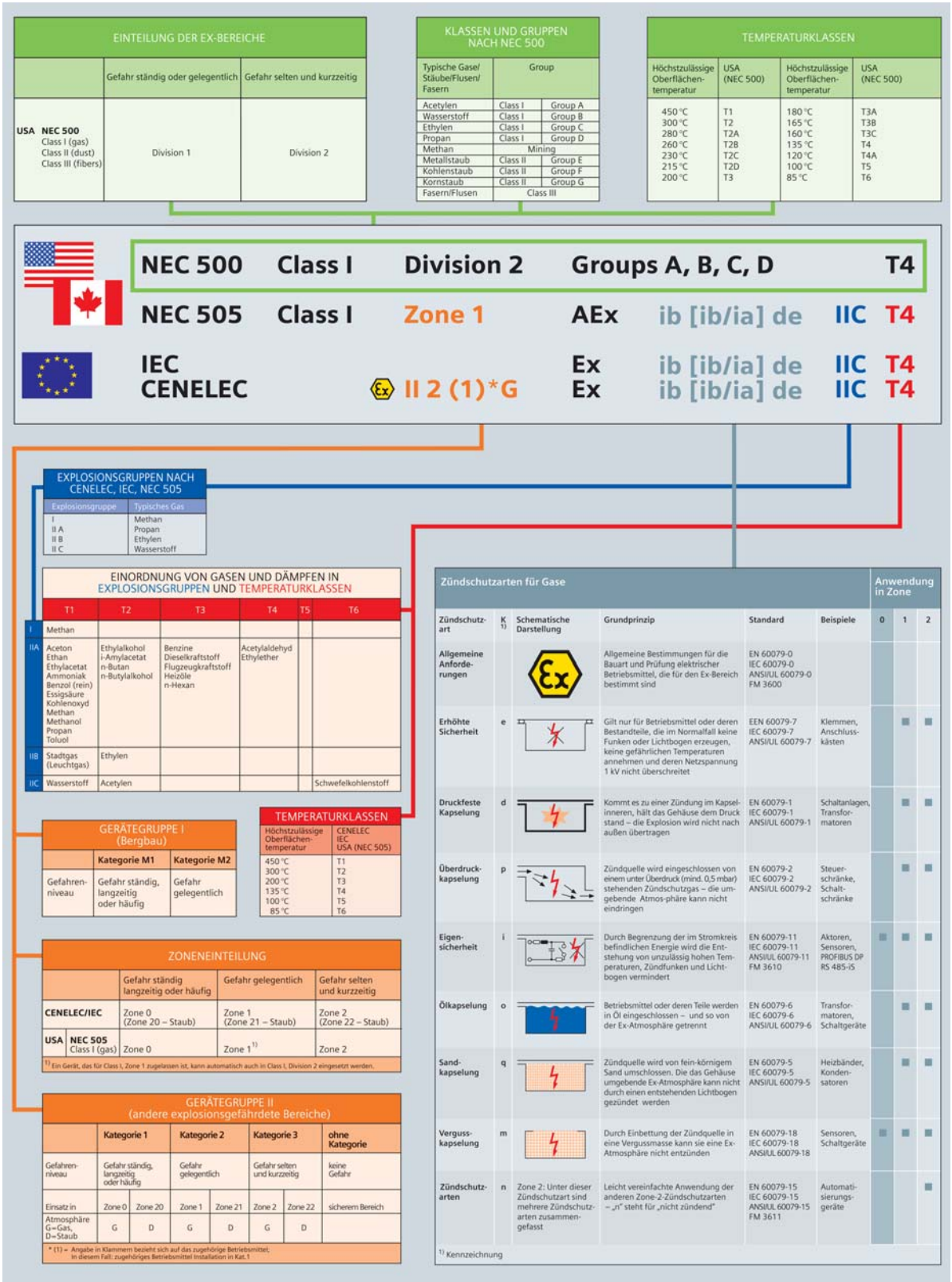
explosive Stäube oder Gase auftreten können. Ebenso möglich ist Doppelschutz in Ex d und Ex e, insbesondere für Einatzorte mit extrem hohen Sicherheitsanforderungen, beispielsweise Flüssiggastanker.

Getriebemotorausführung nach ATEX
Ebenso wie die Motoren werden die Getriebemotoren in Ausführungen nach ATEX angeboten. Dabei stehen Getriebemotoren mit allen Getriebearten zur Verfügung: Stirnrad-, Kegelrad-, Stirnradschnecke-, Flach- sowie Schneckengetriebe.

Umrichtertechnik für den explosionsgefährdeten Bereich
Mit MICROMASTER, SIMOVERT MASTERDRIVES, SINAMICS und DYNAVERT bieten wir Frequenzumrichter an, die ebenfalls auf die Belange des Explosionsschutzes zugeschnitten sind. Der DYNAVERT T hat beispielsweise eine ATEX-zertifizierte elektronische Abschaltung durch integrierte TMS-Peripherieplatine für Ex-Motoren der Zone 1 und 2. Im Bergbau kommen spezielle schlagwettergeschützte Mining-Umrichter DYNAVERT I oder DYNAVERT T zum Einsatz.

Motoren und Getriebemotoren						
Motorentyp	Zündschutzarten	Leistungs-spektrum /Drehmoment	Baugröße (Achshöhe)	Drehzahlen	Schutzarten	Zertifizierungen
Asynchron-motoren Nieder-spannung	Ex n AII, Ex e II, Ex de IIC, Ex d IIC, Ex de I, Ex d I, Ex p II, Staub-Ex, Doppelschutz Ex d und Ex e sowie Gas/Staub	0,06 - 4000 kW	56 - 630 mm	... 12.000 min^{-1}	IP20, IP55, IP56 (non heavy sea), IP65, IP67, IP68	ATEX, NEPSI, Rostekhnadzor etc.
Asynchron-motoren Hochspannung	Ex n AII, Ex e II, Ex de IIC, Ex d IIC, Ex de I, Ex d I, Ex p II, Staub-Ex, Doppelschutz Ex d und Ex e sowie Gas/Staub	200 - 100.000 kW	350 - 1250 mm	... 15.000 min^{-1}	IP20, IP55, IP56 (non heavy sea), IP65, IP67, IP68	ATEX, NEPSI, Rostekhnadzor etc.
Synchron-motoren für hochdynamische Anwendungen	Ex n, Ex d, Ex e, Staub-Ex	0,2 - 385 kW	28 - 280 mm	... 7000 min^{-1}	IP64, IP65	ATEX
Getriebe und Getriebemotoren	Ex n AII, Ex de IIC, Ex d IIC, Ex e, Staub-Ex	0,12 - 200 kW; 50 - 20.000 Nm	Getriebe-baugröße 18-188	0,1 ... ca.700 min^{-1}	IP55, IP65	ATEX, Rostekhnadzor

Explosionsschutz - auf den Punkt gebracht!



*

ATEX-Produkte der Niederspannungs-Schalttechnik auf einen Blick

	Produkt	Zulassung	Kennzeichnung	Erläuterung
	SIMATIC ET 200S	ATEX II 3 G FM Class I FM Class I cULus Class I cULus Class I	EEx nA II T4 bzw. T5 bzw. T6 Division 2, Groups A,B,C,D T4 or T4A or T5 or T6 Zone 2, Group IIC, T4 or T5 or T6 Division 2, Groups A,B,C,D T4 or T4A or T5 or T6 Zone 2, Group IIC, T4 or T5 or T6	Das multifunktionale und feinmodulare SIMATIC ET 200S Peripheriesystem in Schutzart IP20 lässt sich exakt an verschiedenste Automatisierungsaufgaben anpassen, z.B. durch: • Technologie-Module z.B. für Zähl- und Positionieraufgaben zur Nockensteuerung oder für Regelungsaufgaben • Pneumatikanbindung über Module der Firma Bürkert • Fehlersichere E/A-Module für die Einbindung in sicherheitsgerichtete Anlagen mit SIMATIC Safety Integrated
	SIMATIC ET 200S COMPACT	ATEX II 3 G FM Class I FM Class I cULus Class I cULus Class I	EEx nA II T4 bzw. T5 bzw. T6 Division 2, Groups A,B,C,D T4 or T4A or T5 or T6 Zone 2, Group IIC, T4 or T5 or T6 Division 2, Groups A,B,C,D T4 or T4A or T5 or T6 Zone 2, Group IIC, T4 or T5 or T6	Das Interface-Modul IM 151-1 COMPACT ergänzt das bekannte Modulspektrum der bewährten ET 200S und ermöglicht den Einsatz als Blockperipherie. Die Funktionalität basiert auf dem IM 151-1 BASIC und besteht aus einem Interface-Modul und 32 Kanälen in einem Block. Insgesamt können durch Erweiterung des Blockes mit ET 200S Modulen (maximal mit 12 Modulen) bis zu 128 Kanäle an SIMATIC ET 200S COMPACT angebunden werden. Es stehen auch umfangreiche Diagnosefunktionen zur Verfügung.
	SIMATIC ET 200M	ATEX II 3 (2) G ATEX II 3 G FM Class I FM Class I cULus Class I cULus Class I	EEx nA [ib] IIC T4(EEx ib HART Module) EEx nA II T4 bzw. T5 bzw. T6 (alle anderen Mod.) Division 2, Groups A,B,C,D, T4 or T4A or T5 or T6 Zone 2, Group IIC, T4 or T5 or T6 Division 2, Groups A,B,C,D, T4 or T4A or T5 or T6 Zone 2, Group IIC, T4 or T5 or T6	Die hochkanalige S7-300-Peripherie: Das dezentrale Peripheriesystem ET 200M ist modular aufgebaut und besitzt Schutzart IP20. Als Peripheriebaugruppen – der Schnittstelle zum Prozess – sind bis zu 12 hochkanalige Signal- (z.B. 64 digitale Eingänge) und Funktionsmodule sowie Kommunikationsprozessoren der S7-300 einsetzbar.
	SIMATIC ET 200iSP	ATEX II 2 G (1) GD I M2 IECEx Zone 1 cFMus, Class I, II, III cFMus, Class I cULus, Class I, II, III cULus, Class I	Ex de [ia/ib] IIC T4, Ex de [ia/ib] I Ex de [ia/ib] IIC T4 NI Division 2, Groups A,B,C,D,E,F,G T4 AIS Division 1, Groups A,B,C,D,E,F,G Zone 1, AEx de [ia/ib] IIC T4 Division 2, Groups A,B,C,D,E,F,G T4 providing int. safe circuits for Division 1, Groups A,B,C,D,E,F,G Zone 1, AEx de [ia/ib] IIC T4	Die eigensichere Variante für den Ex-Bereich: Die SIMATIC ET 200iSP wurde speziell für den Einsatz bei explosionsgefährdeten Umgebungsbedingungen konzipiert. Durch den Einsatz eines Trennübertragers wird der PROFIBUS DP eigensicher gemacht. Dies wird durch eine Auftrennung und Energiebegrenzung des Busses im sicheren Bereich realisiert. Für die SIMATIC ET 200iSP sind verschiedenste Baugruppen erhältlich: • 2-, 4- und 8-kanalige digitale und analoge Ein-/Ausgabemodule • Pneumatikanbindung über Module der Firma Bürkert • Watchdog-Modul bspw. zum gezielten Lesen oder Schreiben von Ein-/Ausgangsdaten und Bereitstellung einer eigensicheren Spannungsversorgung für das Abschaltsignal der Digitalausgänge
	SIMATIC Touch Panels TP 177B Inox TP 277	 IEC 61241-0 EN 61241-1 IEC 61241-0 EN 61241-1	 Ex nA II Tx Ex tD A22 Tx Ex tD A22 Tx	SIMATIC Panels sind robust und dienen zum maschinennahen Bedienen und Beobachten in rauer Industrieumgebung. Sie überzeugen durch brillante Displays in verschiedenen Größen mit langer Lebensdauer. Die Kommunikation erfolgt über PROFIBUS oder PROFINET. Zur Projektierung wird WinCC flexible verwendet. Bis zu 32 Projektsprachen erleichtern den weltweiten Einsatz. Touch Panels besitzen vollgrafische Displays und werden über Touchscreen bedient.

*

ATEX-Produkte der Niederspannungs-Schalttechnik auf einen Blick

	Produkt	Zulassung	Kennzeichnung	Erläuterung
	SIMATIC Multi Panels MP 277 MP 277 Inox MP 377	 IEC 61241-0 EN 61241-1 IEC 61241-0 EN 61241-1 IEC 61241-0 EN 61241-1	 Ex tD A22 Tx Ex tD A22 Tx Ex tD A22 Tx	Multi Panels sind multifunktionale Plattformen ohne Lüfter und Festplatte und besitzen das Betriebssystem Windows CE.
	CPs für SIMATIC S7-200, S7-300 und S7-400, CSM 377	ATEX II 3 G FM Class I FM Class I cULus cULus cULus Class 1 cULus Class 1 cULus Class 1	EEx nA II T4 Division 2, Groups A,B,C,D, T4 bzw. T4A Zone 2, Group IIC, T4 UL 60950-1; CSA C22.2 60950-1-03 UL 508; CSA C22.2 Nr. 142 Division 2, Groups A,B,C,D Zone 2, GP IIC Zone 2, AEx nC IIC	Die Kommunikationsprozessoren (CP) für SIMATIC S7-200, S7-300 und S7-400 entlasten die CPU und sind für den rauen Einsatz in industrieller Umgebung mit weiten Temperaturbereichen konzipiert. Es gibt sie in unterschiedlichen Ausprägungen und mit verschiedenen Funktionen.
	Netz-übergänge	FM Class I FM Class I cULus	Division 2, Groups A,B,C,D, T4 or T4A Zone 2, Group IIC, T4 UL 60950-1; CSA C22.2 60950-1-03	Durch spezielle Links lassen sich die Vorteile von Industrial Ethernet, PROFIBUS und AS-Interface ideal in einem gemeinsamen Bussystem kombinieren.
	Optical Link Module OLM für PROFIBUS	ATEX II 3 G FM Class I FM Class I cULus Class I cULus	Ex nA IIC T4 Division 2, Groups A,B,C,D, T4 Zone 2, Group IIC, T4 Division 2, Groups A,B,C,D T4 bzw. T4A UL 60950-1; CSA C22.2 60950-1-03	Mit Hilfe der Optical Link Modules lassen sich optische PROFIBUS-Netze (Linie, Ring, Stern) mit Lichtwellenleiter mit Glas- oder Plastikfasern aufbauen. Sie ermöglichen u.a. den Einsatz im Außenbereich bis -20 °C.
	SCALANCE S	ATEX II 3 G FM Class I FM Class I cULus Class I	EEx nA II T4 Division 2, Groups A,B,C,D, T4 Zone 2, Group IIC, T4 Division 2, Groups A,B,C,D, T4	Die robusten und benutzerfreundlichen Security Module SCALANCE S schützen effektiv Informationen innerhalb eines Systems und auch über das öffentliche Netze, wie z.B. das Internet. Sie bieten Schutz vor Datenspionage und Datenmanipulation, Überlastung des Kommunikationssystems und vor gegenseitiger Beeinflussung oder Falschadressierung.

ATEX-Produkte der Niederspannungs-Schalttechnik auf einen Blick

*

	Produkt	Zulassung	Kennzeichnung	Erläuterung
	SCALANCE W	ATEX II 3 G FM Class I FM Class I cULus Class I cULus	EEx nA II T4 Division 2, Groups A,B,C,D, T4 Zone 2, Group IIC, T4 Division 2, Groups A,B,C,D, T4 UL 60950-1; CSA C22.2 60950-1-03	Die SCALANCE W-Komponenten bieten die einzigartige Kombination aus Zuverlässigkeit, Robustheit und Sicherheit. Mit Industrial Wireless LAN (IWLAN) wird eine Erweiterung des Standards IEEE 802.11 zur Verfügung gestellt, die besonders Industriekunden mit Bedarf an Deterministik und Redundanz anspricht. Damit erhalten Kunden erstmals ein einziges Funkfeld sowohl für prozesskritische Daten (z.B. Alarmmeldung), als auch für unkritische Kommunikation (z.B. Service und Diagnose).
	SCALANCE X	ATEX II 3 G FM Class I FM Class I cULus Class I cULus Class I cULus Class I cULus	EEx nA II T4 Division 2, Groups A,B,C,D T4 or T4A Zone 2, Group IIC, T4 Division 2, Groups A,B,C,D T4 bzw. T4A Zone 2, GP, IIC, T4 Zone 2, AEx nC, IIC, T4 UL 60950-1; CSA C22.2 60950-1	Industrial Ethernet Switches der Produktfamilie SCALANCE X sind aktive Netzkomponenten, mit denen Netze in Linien-, Ring- oder Sternstrukturen aufgebaut und gezielt Daten an die entsprechenden Adressaten verteilt werden können. SCALANCE X bietet ein breites Produktspektrum das für die jeweilige Automatisierungsaufgabe den richtigen Industrial Ethernet Switch enthält.

*

ATEX-Produkte der Niederspannungs-Schalttechnik auf einen Blick

	Produkt	Zertifikatsnummer	Zulassungsbasis	Zündschutzart / Kennzeichnung	Erläuterung
	Digitale E/A-Module IP67 – K60	ATEX 2705	EN 60947-5-2 EN 50281-1-1	Ex II 3 D X	AS-Interface – durchgängiges System, überlegene Strategie: • Als kostengünstiges und robustes Bussystem für die Feldebene verbindet AS-Interface – offen und herstellerunabhängig – Aktoren und Sensoren mit der Steuerungsebene – für Standard- als auch Sicherheitsanwendungen. • Ein serieller Feldbus verbindet dabei alle Automatisierungskomponenten einfach, sicher und durchgängig.Durch die ATEX-zertifizierten Kompaktmodule K60 wird der Einsatz von AS-Interface auch in explosionsgefährdeten Bereichen möglich.
	Leistungsschalter für den Motorschutz 3RV	DMT 02 ATEX F 001, DMT 02 ATEX F 001 N1	IEC 60947-4-1, DIN EN 60079-14	Ex II (2) GD	Die Leistungsschalter 3RV sind kompakte, strombegrenzende Leistungsschalter. Sie garantieren ein sicheres Abschalten bei Kurzschluss und schützen Verbraucher und Anlagen vor Überlast. Darüber hinaus eignen sie sich für das betriebsmäßige Schalten von Verbrauchern bei geringer Schalthäufigkeit sowie zur sicheren Trennung der Anlage vom Netz bei Wartungsarbeitungen oder Änderungen. SIRIUS 3RV ist die einzige durchgängige Produktfamilie am Markt für Leistungsschalter bis 100 A.
	Elektronische Überlastrelais 3RB	PTB 06 ATEX 3001 PTB 05 ATEX 3022	DIN EN 60079-1, DIN EN 60079-7, DIN EN 60079-14, IEC 60947-4-1, IEC 60947-5-1, IEC 60947-8, IEC 61508	Ex II (2) GD	Die Überlastrelais der SIRIUS Reihe, die es in elektronischer (3RB2) und thermischer Ausführung (3RU1) gibt, übernehmen im Hauptstromkreis den stromabhängigen Überlastschutz. Dies umfasst alle elektrischen Verbraucher – ebenso wie alle anderen, relevanten Schalt- und Schutzgeräte im jeweiligen Verbraucherabzweig. Die Überlastrelais sind zertifiziert nach ATEX und somit geeignet für Motoren der Schutzart "Erhöhte Sicherheit" EEx e.
	Thermische Überlastrelais 3RU1	DMT 98 ATEX G 001, DMT 98 ATEX G 001 N1	IEC 60079-14, DIN EN 60079-14	Ex II (2) GD	Die Überlastrelais der SIRIUS Reihe, die es in elektronischer (3RB2) und thermischer Ausführung (3RU1) gibt, übernehmen im Hauptstromkreis den stromabhängigen Überlastschutz. Dies umfasst alle elektrischen Verbraucher – ebenso wie alle anderen, relevanten Schalt- und Schutzgeräte im jeweiligen Verbraucherabzweig. Die Überlastrelais sind zertifiziert nach ATEX und somit geeignet für Motoren der Schutzart "Erhöhte Sicherheit" EEx e.
	Sanftstarter 3RW40	BVS 05 ATEX F 002	DIN EN 60079-14, IEC 60947-4-2, IEC 61508	Ex II (2) GD	Die Sanftstarter bieten ein lückenloses Spektrum, das alle Standard- und High-Feature-Anwendungen des Motorstarts abdeckt. So lassen sich heute in den verschiedensten Anwendungen die Vorteile des sanften An- und Auslaufs für die einfache und wirtschaftliche Realisierung optimaler Maschinenkonzepte nutzen.

*

ATEX-Produkte der Niederspannungs-Schalttechnik auf einen Blick

	Produkt	Zertifikatsnummer	Zulassungsbasis	Zündschutzart / Kennzeichnung	Erläuterung
	Motorstarter ET200S 3RK	DMT 02 ATEX F 001 DTM 02 ATEX F 001 N1	DIN EN 60079-14 IEC 60947-4-1	Ex II (2) GD	Mit den Motorstartern der ET 200S können beliebige Drehstromverbraucher geschützt und geschaltet werden. Die komplett vorverdrahteten Geräte gibt es in verschiedenen Leistungsklassen als Direkt-, Wende- oder Sanftstarter bis zu einer Leistung von max. 7,5 kW.
	Motormanagement-System SIMOCODE pro 3UF7	BVS 06 ATEX F 001	DIN EN 60079-1, DIN EN 60079-7, DIN EN 60079-14, IEC 60947-4-1, IEC 60947-5-1 IEC 60947-8 IEC 61508	Ex I (M2), Ex II (2) GD	Das kommunikationsfähige, modular aufgebaute Motormanagement-System SIMOCODE pro (SIRIUS Motormanagement and Control Devices) schützt Motoren der Zündschutzarten Exe und Exd im explosionsgefährdeten Bereich schnell und zuverlässig. SIMOCODE pro ist nach den neuesten ATEX-Standards zertifiziert. Der Einsatz von SIMOCODE pro bedeutet außerdem keinerlei zeitliche Einschränkungen bezüglich periodisch notwendiger Funktionstests von Abzweigen im Ex-Bereich.
	Motorschutz- und Steuergeräte SIMOCODE-DP 3UF5	PTB 01 ATEX 3219	DIN EN 50019 DIN EN 60079-7 DIN EN 60079-14 IEC 60079-7	Ex II (2) G	SIMOCODE-DP ist der Vorgänger des Motormanagement-Systems SIMOCODE pro und bietet in nur einem einzigen Gerät die Lösung für unterschiedlichste Aufgaben.
	Thermistor-Motorschutzrelais für Kaltleiter (PTCs TypA) 3RN1	PTB 01 ATEX 3218	DIN EN 60079-14, DIN EN 50281-1-1 IEC 60947-1, IEC 60947-5-1, IEC 60947-8	Ex II (2) G Ex II (2) GD	Thermistor-Motorschutzrelais 3RN1 bringen überall dort entscheidende Vorteile, wo stromabhängiger Schutz durch Leistungsschalter oder Überlastrelais nicht die ideale Überwachungsgröße ist. Dies ist z.B. der Fall, wenn es in bestimmten Situationen und dann oft durch äußere Einflüsse bedingt zur Überhitzung kommt, ohne dass das thermische Abbild im Leistungsschalter/Überlastrelais dies erfassen kann. SIRIUS Thermistor-Motorschutzrelais sind nach ATEX für Gase und Staub zertifiziert.
	Positionsschalter 3SE5	ATEX 2829	DIN EN/IEC 61241-0 DIN EN/IEC 61241-1	Ex II 3D	Positionsschalter werden überall dort eingesetzt, wo bewegliche Teile an Anlagen und Maschinen positioniert, gesteuert und überwacht werden müssen. Ob zur Überwachung von Schutzeinrichtungen mit Drehgelenken, zur Überwachung seitlich verschiebbarer Schutzeinrichtungen oder zur Erfassung gefährlicher Bewegungen von Maschinenteilen – unsere Geräte können nahezu alle Anforderungen aus der Industriepraxis erfüllen.

ATEX-Produkte der Niederspannungs-Schalttechnik auf einen Blick

	Produkt	Zertifikatsnummer	Zulassungsbasis	Zündschutzart / Kennzeichnung	Erläuterung
	Befehls- und Meldegeräte 3SB3 Betätiger und Schaltelemente Lampenfassung und LED	ATEX 2690b ATEX 2689b	Einfache elektrische Betriebsmittel gemäß EN 50020, IEC 60947-5-1 Einfache elektrische Betriebsmittel gemäß EN 50020, IEC 60947-5-1	Einsatz nur in Stromkreisen der Zündschutzart i (Eigensicherheit) gemäß EN 50020 Einsatz nur in Stromkreisen der Zündschutzart i (Eigensicherheit) gemäß EN 50020 Einsatz bis Spannung 26,4 V (LED's)	Befehls- und Meldegeräte sorgen dafür, dass Zustände von Maschinen und Anlagen (z.B. Fehlerquellen oder Störfaktoren) rechtzeitig und zuverlässig gemeldet werden und Maschinen und Anlagen gesteuert sowie in Gefahrensituationen in den sicheren Zustand gebracht werden können. Teil unseres umfassenden Portfolios sind sowohl die Betätiger und Schaltelemente, als auch die Lampenfassungen mit LED-Lampe, die gemäß der ATEX-Richtlinie 94/9/EG als einfache elektrische Betriebsmittel eingestuft wurden und somit für den Einsatz in eigensicheren Stromkreisen geeignet sind.

*

*

ATEX-Produkte der Niederspannungs-Schalttechnik auf einen Blick

	Produkt	Zulassung	Kennzeichnung	Erläuterung
	Induktive Näherungs-schalter SIMATIC PXI600	ATEX Zone 2/22	EX II 3G EEx nA II T6 X EX II 3D IP65 T80°C X	Aufgrund ihres kontakt- und daher funkenfreien Schaltverhaltens sind induktive Näherungsschalter verglichen mit konventionellen Endschaltern besonders geeignet für den Einsatz in explosiver Umgebung. Schaltabstände von 2 mm bis zu 35 mm bei kompakten und robusten Bauformen bieten vielfältige Einsatzmöglichkeiten auch bei beengten Platzverhältnissen. Induktive Näherungsschalter PXI600 stehen in den Bauformen M12, M18, M30 und C40S zur Verfügung. EG-Konformitätserklärung: http://support.automation.siemens.com/WW/view/de/22917125
	Optische Näherungs-schalter SIMATIC PXO600	ATEX Zone 2/22	EX II 3G EEx nA II T6 X EX II 3D IP65 T80°C X	Reflexionslichttaster, Reflexionslichtschranke, Einweg-Lichtschranke: Optische Näherungsschalter mit großen Erfassungsbereichen ermöglichen eine flexible, materialunabhängige und exakte Objektdetektion über große Distanzen. Wahlweise stehen für Ex-Zone 2 und Zone 22 Reflexionslichtschranken, Reflexionslichttaster oder Einweg-Lichtschranken zur Verfügung. Die optischen Näherungsschalter aus der Reihe SIMATIC PXO600 in der Bauform K80 bieten vielfältige Befestigungsmöglichkeiten. Lieferbar sind Ausgangsvarianten mit zwei antivalenten Schaltausgängen oder mit einem Schaltausgang und einem Funktionsreserveausgang.
	Ultraschall-Näherungs-schalter SIMATIC PXS810	ATEX Zone 2/22	EX II 3G EEx nA II T6 X EX II 3D IP65 T80°C X	Ultraschall-Sensoren sind aufgrund ihres Detektionsprinzips besonders für den Einsatz in der häufig rauen Umgebung eines Ex-Bereichs geeignet. Ob Nebel, Staub oder Verschmutzung: Der Sensor arbeitet zuverlässig. Auch Tank- oder Silofüllstände lassen sich so sicher mit der Ultraschall-Technik erfassen. Für den Kontakt mit aggressiven Medien oder für den Einsatz in der Nahrungs- und Genussmittelproduktion stehen zudem Geräte in Edelstahlausführung zur Verfügung.

*

ATEX-Produkte der Niederspannungs-Schalttechnik auf einen Blick

	Produkt	Zertifizierungen	Schutzarten	Zündschutzart / Kennzeichnung	Erläuterung
	Asynchronmotoren Niederspannung	ATEX, NEPSI, Rostekhnadzor etc.	IP20, IP55, IP56 (non heavy sea), IP65, IP67, IP68	Ex n AII, Ex e II, Ex de IIC, Ex d IIC, Ex de I, Ex d I, Ex p II, Staub-Ex, Doppelschutz Ex d und Ex e sowie Gas/Staub	
	Asynchronmotoren Hochspannung	ATEX, NEPSI, Rostekhnadzor etc.	IP20, IP55, IP56 (non heavy sea), IP65, IP67, IP68	Ex n AII, Ex e II, Ex de IIC, Ex d IIC, Ex de I, Ex d I, Ex p II, Staub-Ex, Doppelschutz Ex d und Ex e sowie Gas/Staub	
	Synchronmotoren für hochdynamische Anwendungen	ATEX	IP64, IP65	Ex n, Ex d, Ex e, Staub-Ex	
	Getriebe und Getriebemotoren	ATEX, Rostekhnadzor	IP55, IP65	Ex n AII, Ex de IIC, Ex d IIC, Ex e, Staub-Ex	

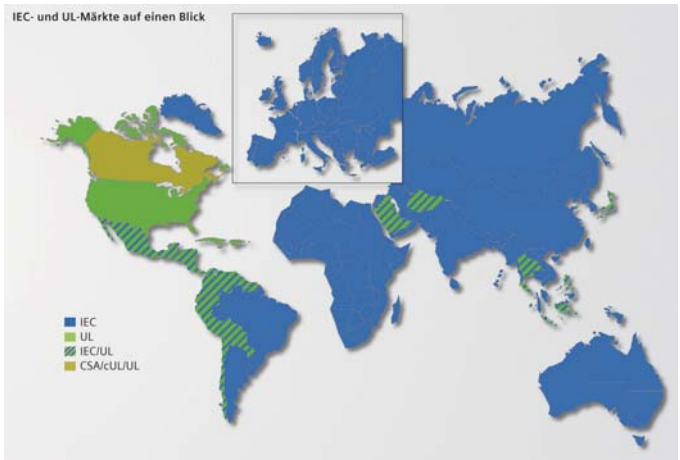
Literaturverzeichnis zum Explosionsschutz
Richtlinie 94/9/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. März 1994 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, Nr. L 100/1*
Richtlinie 1999/92/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 1999 über Mindestvorschriften zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphären gefährdet werden können. *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, Nr. L 23/57* Betriebssicherheitsverordnung - BetrSichV: Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes.
K. Nabert und G. Schön: Sicherheitstechnische Kennzahlen brennbarer Gase und Dämpfe Deutscher Eichverlag, Braunschweig
EN 60529: 2000 (VDE 0470 Teil 1) Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code) EN 60079-14: 2004 (VDE 0165 Teil 1) Elektrische Betriebsmittel für gasexplosionsgefährdete Bereiche - Teil 14: Elektrische Anlagen für gefährdete Bereiche (ausgenommen Grubenbaue) EN 61241-14: 2005 (VDE 0165 Teil 2) Elektrische Betriebsmittel zur Verwendung in Bereichen mit brennbarem Staub - Teil 14: Auswahl und Errichten VDE-Verlag GmbH, Berlin
NFPA 70 - 1996 National Electrical Code, Ausgabe 1996 National Fire Protection Association, Quincy, MA, USA NFPA 70 - 1999 National Electrical Code, Ausgabe 1999 National Fire Protection Association, Quincy, MA, USA NFPA 70 - 2005 National Electrical Code, Ausgabe 2005 National Fire Protection Association, Quincy, MA, USA 2006 Canadian Electrical Code, 20. Ausgabe Canadian Standards Association, Etobicoke, ON, Canada 1996 National Electrical Code Review and Application Guide Killark Electric Manufacturing Company, St. Louis, MO, USA 1998 Canadian Electrical Code Review and Application Guide Hubbell Canada Inc. - Killark, Pickering, ON, Canada
Druckschrift Explosionsschutz - Grundlagen R. STAHL SCHALTGERÄTE GMBH, Waldenburg

UL-Zertifizierung

Die Produkthaftungsgesetze in den USA sind weitaus strenger als in Europa. Wer nach Nordamerika exportieren möchte ist gut beraten seine Produkte, insbesondere wenn es sich um Elektrogeräte handelt, nach UL zu zertifizieren. Was das bedeutet, auf was Sie dabei achten müssen und wie wir Sie hierbei mit umfassendem Know-how und einem breiten Portfolio an nach UL zertifizierter Niederspannungs-Schalttechnik unterstützen, erfahren Sie in diesem Kapitel.
UL und IEC unterscheiden sich grundlegend. Die IEC-Normen für den IEC-Markt legen lediglich die Mindestsicherheitsanforderungen eines Geräts oder Systems fest. Technische Details der konstruktiven Umsetzung der Sicherheitsanforderungen bleiben dem Hersteller überlassen. Die Richtlinien für den amerikanischen Markt dagegen sind weitaus detaillierter im Hinblick auf die Produktsicherheit und deren Anwendung. Je nach Norm kann es sein, dass der erforderliche Prozess, vom Produktdesign, der Produktherstellung über die Anwendung, die Montage, bis hin zum Betrieb überwacht wird.

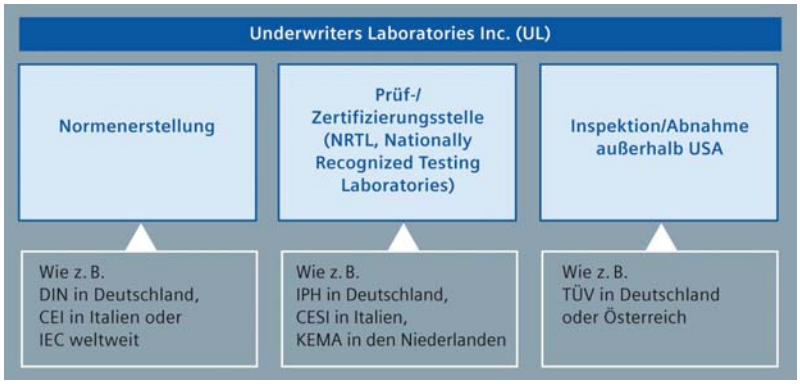
Hinweis:

UL (Underwriters Laboratories Inc.®) ist eine der weltweit führenden Organisationen für die Prüfung und Zertifizierung im Bereich der Produktsicherheit. Die unabhängige und gemeinnützige US-Organisation wurde auf Betreiben amerikanischer Feuerversicherungen im Jahr 1894 gegründet, um die Brandgefahren elektrisch betriebener Geräte zu untersuchen. Heute prüft und zertifiziert UL unterschiedlichste Materialien, Komponenten und Endprodukte auf ihre Betriebssicherheit, vor allem im Hinblick auf mögliche Personenschäden und die Entstehung von Bränden. In zahlreichen europäischen Ländern gibt es Niederlassungen. Detaillierte Informationen zu der US-Organisation sowie Kontaktmöglichkeiten zu den zahlreichen europäischen Niederlassungen finden Sie auch im Internet unter www.ul.com

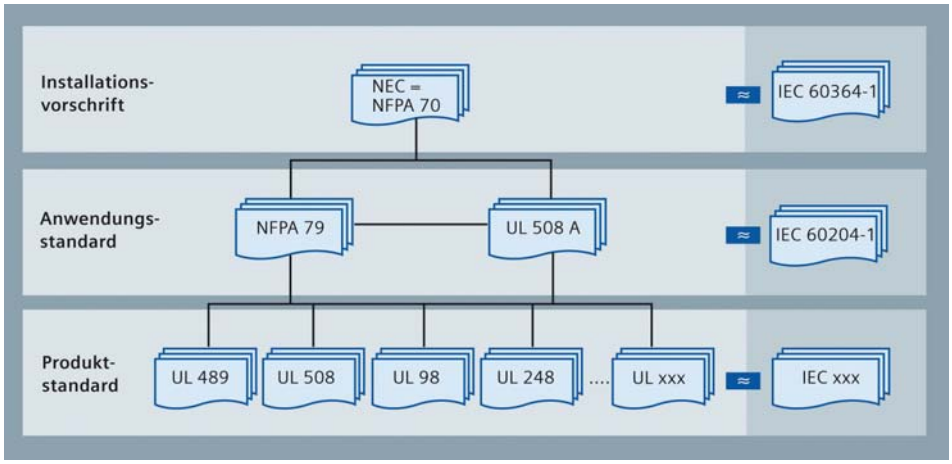


IEC- und UL-Märkte auf einen Blick.

Bei IEC-Anwendungen oder -Projektierungen ist es weitgehend ausreichend, wenn die Geräteeigenschaften (Gebrauchskategorie) mit der Last übereinstimmen.
In der UL ist zusätzlich von Bedeutung, in welcher Anwendung die Geräte eingesetzt werden. Verschiedene Anwendungen unterliegen verschiedenen Richtlinien. Ein Beispiel: Gemäß UL 508, dem maßgeblichen Standard für elektrische Schaltgeräte (Industrial Control Equipment), müssen Geräte zum Schutz von Steuertrafos mit dem Zusatz „Suitable for control transformer protection" versehen sein.
Auch in der grundsätzlichen Vorgehensweise sind IEC und UL nicht zu vergleichen. Denn die UL ist neben der Normenerstellung auch für die Approbation (generelle Drittzertifizierung) sowie die Abnahme vor Ort zuständig. Die Einhaltung der Normen wird strenger kontrolliert. So gibt es beispielsweise Werksinspektionen bei Geräteherstellern, die sicherstellen sollen, dass die mit der Zertifizierung festgelegten Rahmenbedingungen eingehalten werden. UL-Inspektoren besuchen natürlich auch regelmäßig die Siemens-Werke, z. B. in Amberg, Berlin, Regensburg, um die einwandfreie Herstellung von UL-konformen Produkten zu gewährleisten. Produktänderungen müssen vor Fertigungsbeginn durch die UL genehmigt werden.



Die drei Säulen der UL: Normenerstellung, Zertifizierungsstelle, Inspektion.



Zusammenspiel der wichtigsten US-Vorschriften.

Neben der UL gibt es in den USA eine ganze Reihe weiterer Organisationen, die sich der Förderung der technischen Sicherheit verschrieben haben. Welche Vorschriften und Richtlinien im Einzelfall zum Tragen kommen, lässt sich nur im Zusammenhang mit der jeweiligen Anwendung sicher beantworten.
Für den Maschinenbauer sind folgende Werke/Normen von wesentlicher Bedeutung:

- der UL-Standard für Produkte und Anwendungen,
- die NFPA 79 (Electrical Standard for Industrial Machinery) für Industriemaschinen und
- die NFPA 70 (NEC, National Electrical Code) für die elektrische Installation vor Ort.

Die NFPA 79 und die NFPA 70 (NEC) wurden von der NFPA (National Fire Protection Association), die ein umfangreiches Regelwerk für den Brandschutz herausgibt, verfasst. Die NFPA 70 (NEC) wird durch das US-Rechtssystem als Stand der Technik angesehen. Darüber hinaus müssen die örtlichen Gegebenheiten berücksichtigt werden.
Diese örtlichen Gegebenheiten werden über die OSHA (Occupational Safety and Health Administration), eine der wichtigsten Organisationen zur Durchsetzung sicherheitstechnischer Anforderungen, vorgegeben. Sie sorgt per Gesetz, das 1970 in Kraft trat, für sichere und gesunde Arbeitsbedingungen und den Schutz von Menschen an ihrem Arbeitsplatz. Die OSHA gibt in diesem Zusammenhang auch unterschiedlichste Normen zur Sicherheitstechnik an Maschinen und Anlagen heraus, die im jeweiligen Anwendungsfall zu berücksichtigen sind.

Beispiel:

Geht es um die Ausrüstung einer Weinabfüllanlage, ist die FDA (Food and Drug Administration) einzuschalten.
Bei der Abfüllung von Branntwein (Gefahr wegen brennbarer Flüssigkeiten oder explosiver Gase) müssen zusätzlich die Bedingungen für Explosionsschutz (Hazardous Locations) berücksichtigt werden.

TIPP:

Um sich unnötigen Ärger und zeit- sowie kostenintensiven Aufwand zu ersparen, ist man gut beraten, auf einen kompetenten Partner wie Siemens zu setzen. Bereits seit 1969 arbeitet Siemens im Amberger Werk, das die ganze Vielfalt an Niederspannungs-Schalttechnik entwickelt und fertigt, eng mit Underwriters Laboratories Inc. zusammen.

US-Standard			annähernder IEC-Standard [1)]
Produktstandards			
UL 489	Molded-Case Circuit-Breakers, Molded-Case Switches and Circuit-Breaker Enclosures	Vorschrift für Energieverteilungsgeräte (Distribution Equipment), z. B. Kompakt-leistungsschalter (Molded-Case Circuit-Breaker/ MCCB, Miniature Circuit-Breaker / MCB), Leistungstrennschalter (Molded-Case Switch) oder Leistungsschalter für Starterkombinationen (Instantaneous Trip Circuit-Breaker)	IEC 60947-2
UL 508	Industrial Control Equipment	Vorschrift für elektrische Schaltgeräte (Industrial Control Equipment), z. B. Schütze, Überlastrelais, SPS ...	IEC 60947-2, IEC 60947-4-1
UL 508C	Power Conversion Equipment	Vorschrift für frequenzabhängige Steuergeräte (Power Conversion Equipment), z. B. Umrichter	IEC 61800-5-1
UL 98	Enclosed and Dead Front Switches	Vorschrift für Trennschalter, Hauptschalter gekapselt	IEC 60947-3
UL 1077	Supplementary Protectors for Use in Electrical Equipment	Vorschrift für Leitungsschutzschalter (MCB), die nicht von UL 489 abgedeckt sind. Einsatz als „Supplementary Protectors“	IEC 60947-2, IEC 60934
UL 248	Low-Voltage Fuses	Vorschrift für Sicherungen mit Sicherungshalter UL 512	
UL XXX	Further Codes for devices used		
Anwendungsstandards			
NFPA 79	Electrical Standard for Industrial Machinery	Der „Electrical Standard for Industrial Machinery“ (Maschinenrichtlinie) wird hauptsächlich in der Automobil- und Werkzeugmaschinenindustrie verwendet	IEC 60204-1
UL 508A	Industrial Control Panels	Vorschrift für Schaltschränke (Industrial Control Panels)	IEC 60204-1
UL 1741	Inverters, Converters, Controllers and Interconnection System Equipment for Use with Distributed Energy Resources	Vorschrift für Installationen von Umrichtern und deren Schutz- und Steuergeräten. Sie gilt besonders für die Prüfung von Anlagen, die zur Energieeinspeisung in das öffentliche Netz dienen (grid connection) z. B. Windenergie, Photovoltaik etc.	IEC 60364-7-712
Allgemeine Installationsvorschriften			
NEC (NFPA 70)	National Electrical Code (NEC)	Installationsvorschrift für die USA. Alle Installationen müssen diesem Code entsprechen. Der NEC wird im Allgemeinen von lokalen Inspektoren (Authority Having Jurisdiction, AHJ) verwendet. Er wird alle 3 Jahre neu aufgelegt.	IEC 60364-1

Gegenüberstellung bestimmter UL- und IEC-Standards.

[1)] Die hier angegebenen IEC-Standards dienen zur Orientierung.
Ein 100-prozentiger Vergleich von IEC- und UL-Standards ist nicht möglich.

Die häufigsten UL-Prüfzeichen im Einzelnen	
	Das UL Listing-Prüfzeichen ist das am häufigsten verwendete Symbol. Geräte, die dieses Zeichen tragen (z.B. Waschmaschinen, Computer, elektrische Schaltanlagen, Feuerlöscher, Rettungsringe u.a.), erfüllen alle UL-Sicherheitsbestimmungen und können ohne Einschränkung der jeweiligen Anwendbarkeit universell und ohne weitere Instruktionen installiert werden. Innerhalb unseres Portfolios erhalten Sie z. B. Schütze nach UL 508 oder Leistungsschalter nach UL 489.
	C-UL Listing-Prüfzeichen: Produkte mit diesem Prüfzeichen wurden auf kanadische UL-Sicherheitsanforderungen geprüft. Das Prüfzeichen ist auf Haushaltsgeräten, Computerausrüstung, Verkaufsautomaten, Einbruchssicherungen, Beleuchtungsarmaturen und vielen weiteren Produkttypen zu sehen.
	C-UL US Listing Prüfzeichen: Das Anfang 1998 eingeführte Symbol tragen Geräte, die sowohl die CSA-Vorschriften für den kanadischen Markt als auch die UL-Vorschriften für die USA erfüllen. Dieses Kanada/US UL-Prüfzeichen ist optimal. UL ermuntert Hersteller, das kombinierte Prüfzeichen für Produkte mit beiden Approbationen zu verwenden. Die zwei autarken Prüfzeichen für Kanada und USA können aber auch weiterhin verwendet werden.
	Recognized Component Prüfzeichen: Mit diesem Symbol werden Komponenten oder Geräte versehen, die in Maschinen, Anlagen oder Produkten wie Waschmaschinen zum Einsatz kommen. Diese Komponenten könnten entweder technische oder konstruktive Einschränkungen haben. Zu Produkten mit dem UR-Prüfzeichen gehören Schalter, Stromversorgungsgeräte, Leiterplatten, einige Arten von Schalt- und Steuergeräten und viele weitere Produkttypen. Sie dürfen nur von Fachleuten eingebaut werden, da für diese Geräte stets die so genannten „Conditions of Acceptability (CoA)" zur Anwendung kommen. Das UR-Zeichen tragen z. B. unsere Leitungsschutzschalter nach UL 1077, unsere Zeitschaltuhren nach UL 917 oder SITOR Sicherungen.
	Canadian Recognized Component Prüfzeichen (ähnlich wie Recognized Component Prüfzeichen - siehe oben): Das Symbol für Komponenten, die für den kanadischen Markt zugelassen sind.
	Recognized Component Prüfzeichen für Kanada und die Vereinigten Staaten: Komponenten, die dieses 1998 eingeführte Symbol tragen, erfüllen die Vorschriften des amerikanischen sowie des kanadischen Marktes für Recognized Components. Urspünglich hat UL nicht geplant, ein kombiniertes Prüfzeichen einzuführen, aber der hohe Zuspruch für Kanada/UL Listing-Prüfzeichen bei Kunden hat zu diesem neuen Prüfzeichen geführt.

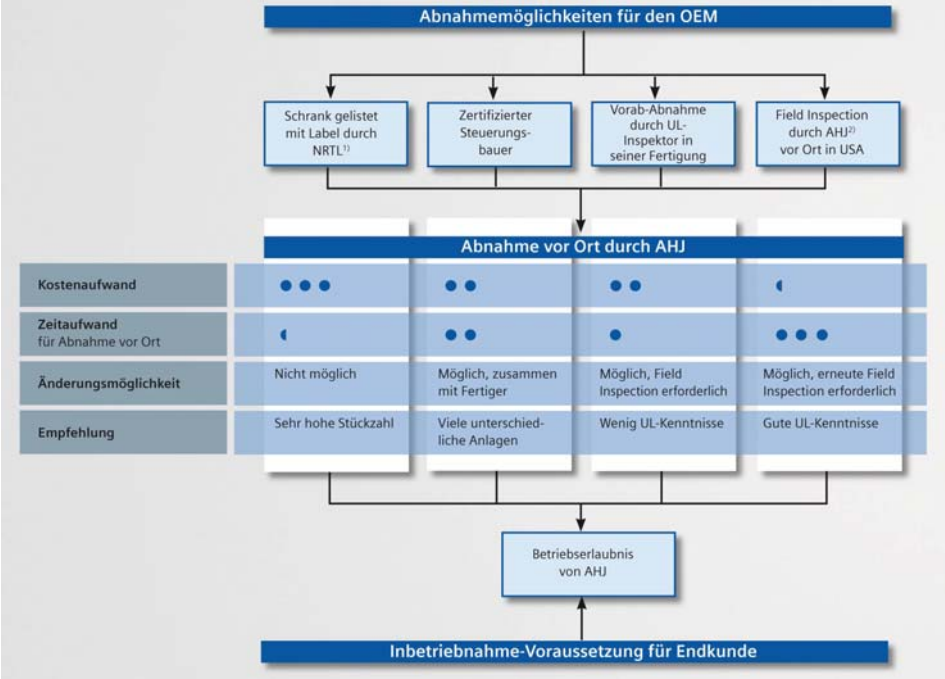
Bei der Kennzeichnung von UL-approbierten Produkten wird grundsätzlich zwischen zugelassenen Geräten, den Listed Devices, und zugelassenen Komponenten, den so genannten Recognized Components, unterschieden. Darüber hinaus gibt es Varianten für den kanadischen Markt.
Diese Approbationen werden von den so genannten NRTL (Nationally Recognized Testing Laboratories, d. h. Prüf- und Zertifizierungsstellen) nach bestandener Prüfung vergeben. Die OSHA hat Underwriters Laboratories als NRTL akkreditiert.

1995 hat das Gerätewerk Amberg die Qualifikation erworben, nach dem Client Test Data Program (CTDP) Einreichungen durchzuführen. Als CTDP-Kunde von UL kann das Gerätewerk selbst Prüfungen vornehmen und eigenständig Prüfberichte sowie UL-Reporte, welche die Produktbeschreibung enthalten, anfertigen. UL überprüft lediglich die Übereinstimmung von Prüfbericht und UL-Report mit den UL-Normen. Dadurch hat sich das Gerätewerk Amberg einen weit größeren Grad an Autonomie im Prüfungs- und Einreichungsprozess erworben. Um zu gewährleisten, dass die Produkte mit den UL-Anforderungen übereinstimmen, besuchen UL-Inspektoren im Rahmen des Follow-up-Service regelmäßig unser Werk in Amberg.
Follow-up-Service bedeutet, dass ein oder mehrere Geräte mit den UL-genehmigten in einem Report im Detail beschriebenen Unterlagen verglichen werden. UL-Inspektoren besuchen periodisch die Fertigungsstätten und kontrollieren, ob das Produkt wie beschrieben gefertigt wird (Beispiel: SIRIUS Schütze). Bei einigen Geräten werden zusätzlich in regelmäßigen Abständen Wiederholungsprüfungen durchgeführt.

Inspektion und Abnahme vor Ort
Jede elektrische Maschine oder Anlage in den USA wird vor ihrer Inbetriebnahme durch einen Inspektor, den so genannten AHJ (Authority Having Jurisdiction), überprüft. Basis für die Abnahme sind der NEC (National Electrical Code, auch NFPA 70 genannt), die jeweiligen anwendungsspezifischen Richtlinien, wie z. B. die NFPA 79 sowie lokale Standards oder Vorgaben. Die Abnahme ist in den USA gesetzlich vorgeschrieben. Betreiber, die ihre Maschinen oder Anlagen nicht durch einen AHJ überprüfen lassen, riskieren sowohl den Versicherungsschutz als auch die Energielieferung. Für die erfolgreiche Abnahme vor Ort ist eine korrekte Projektierung nach den erforderlichen Vorschriften ganz wesentlich. Die oben abgebildete Grafik beschreibt vier mögliche Wege, die Abnahme zu gestalten.

Beachte:

Zur Herstellung eines UL-gerechten Schaltschranks reicht der Einsatz UL-approbierter Produkte nicht aus. Entscheidend sind auch das Zusammenspiel der Geräte nach den jeweiligen Anwendungsstandards sowie die Abnahme des Schaltschranks in seinem tatsächlichen Anwendungsumfeld.

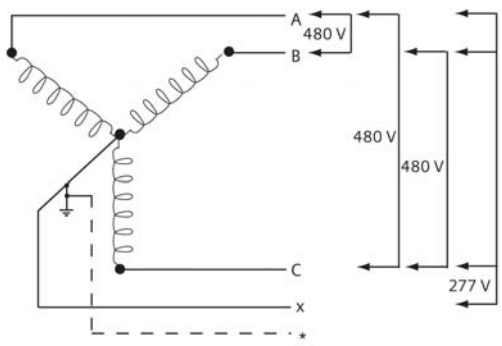


1) Nationally Recognized Testing Laboratories
2) Authority Having Jurisdiction

Besonderheiten des UL-Markts

Stromkreise mit "Straight"-Spannungen und mit "Slash"-Spannungen

In den USA werden die Spannungen von der EVU-Versorgungsseite oder der Sekundärseite der EVU-Transformatoren betrachtet. Die Schaltung des Stromkreises (Stern oder Dreieck) sowie die Methode der Erdung spielen dabei eine große Rolle. In Stromkreisen mit geerdetem Sternpunkt (Grounded Wye) schaltet der Leistungsschalter nur die volle Spannung zwischen den Phasen (z. B. 480 V). Die Spannung Phase-Erde ist hier nur 277 V, daher die "Slash"-Spannung 480Y/277 V. Schaltanlagen, in denen diese Geräte installiert sind, müssen mit folgender Aufschrift markiert werden:
"For use on a solidly grounded wye source only" (UL 508A Art 54.12).



Schaltungsbeispiel:
Geerdeter Stern, 480Y / 277 V, 3 Phasen, 4 Leiter
Grounded wye, 480Y / 277 V, 3 phase, 4 wire

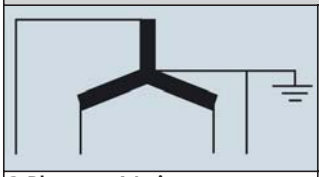
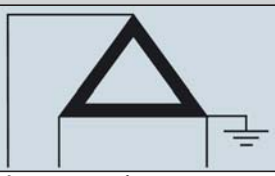
In ungeerdeten bzw. hochohmigen geerdeten Stern- oder Dreieckstromkreisen sowie in phasengeerdeten Dreieckstromkreisen dürfen nur Geräte (z. B. Leistungsschalter) eingesetzt werden, die mit einer "Straight"-Spannung markiert sind, wie 240 V, 480 V, 600 V. Diese Geräte müssen die volle Spannung zwischen den Phasen und einer Phase zur Erde schalten können.

Beachte:

Die Kombinationsstarter der Typen E und F (Self-Protected Combination Motor Controller Type E and F) sind auf Stromkreise mit geerdetem Sternpunkt beschränkt.

Niederspannungsnetze in den USA

Die in den USA üblichen Netzformen unterscheiden sich deutlich von europäischen Netzen. Anders als in der IEC gibt es neben dem mittelpunktgeerdeten Stern ("Solidly Grounded Wye"), das dem TN-S-Netz sehr ähnlich ist, auch ein phasengeerdetes Dreiecksnetz ("Corner Grounded Delta"). Um Verwirrung zu vermeiden, werden stets alle Spannungen angegeben, die in der jeweiligen Netzform vorkommen.

Industrie, Gebäude, Werke (Industry and Commercial)		Haushalt (Residential)
		
3 Phasen, 4 Leiter Solidly grounded wye, 3 phase, 4 wire Achtung: Der PE darf keinen Strom tragen. Es gibt keinen PEN-Leiter → N = "Grounded Conductor" (weiß oder grau); für PE und N sind getrennte Leiter zu verwenden. 600Y / 347 V1) 480Y / 277 V1) 240Y / 131 V1) 208Y / 120 V1)	**3 Phasen, 3 Leiter** Corner grounded delta, 3 phase, 3 wire 600 V 480 V 240 V	**1 Phase, 3 Leiter** Single Phase, 120 / 240 V Grounded midpoint Beispiel: Es werden 120 V an den Wandsteckdosen und 240 V für Haushaltsherde, Klimaanlagen und Wäschetrockner verwendet. 240 V-Außenleiter 120 V gegen Erde

[1] *Y beschreibt den "Solidly grounded circuit". Dabei gibt der Wert "Y" die Spannung zwischen den Phasen an (z.B. 480 V), der Wert nach dem Schrägstrich gibt die Spannung zwischen der Phase und der Erdung bzw. dem Neutralleiter an (z.B. 277 V bei 480 V Spannung zwischen den Phasen).*

Bei der Auswahl der Geräte ist sehr genau darauf zu achten, welche Netzform am Einsatzort vorhanden ist und für welche Netzform die einzelnen Geräte zugelassen sind. Die wesentlichen Formen in der Industrie und im Zweckbau sind 3-Phasen-Netze mit 240 V und 480 V sowie 3- und 4-Leiter-Systeme mit 480Y/277 V. Vor allem im Wohnungsbau (Residential) aber auch in Büroräumen von Industrie- und Zweckbauten findet man darüber hinaus häufig das Einphasensystem mit 120/240 V.

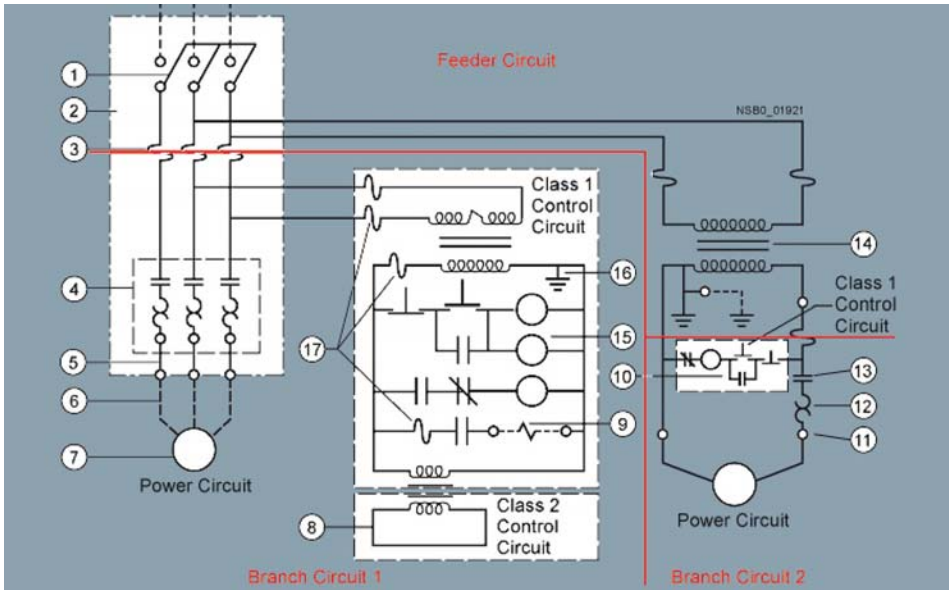
Kurzschlussstromfestigkeit des Schaltschrank-Hauptstromkreises
Ein Industrial Control Panel muss mit einem so genannten SCCR (Short Circuit Current Rating) gekennzeichnet werden. Dieser entspricht in der IEC in etwa dem I_{cw} Wert der Schaltanlage. Der NEC 2008 Art. 409 beschreibt die Bestimmungen der Kurzschlussfestigkeits-Markierungen an Schaltanlagen (unter Berufung auf die UL 508A, SB4).
Bei der Kurzschlussfestigkeit ist nicht nur das Kurzschlussschaltvermögen z. B. des Leistungsschalters relevant, sondern auch die Kurzschlussfestigkeit jedes einzelnen Geräts. Zu den SCCR-relevanten Komponenten im Hauptstromkreis zählen u. a. Leistungsschalter, Schütz, Überlastrelais, Halbleiterschaltgeräte aber auch Klemmen, Stromschienen, die Eingangsseite von Steuertrafos, Frequenzumrichter jedoch keine schaltschrankinterne Verdrahtung.
Der kleinste Wert gilt für den gesamten Schrank. Es darf kein höherer Kurzschlussstrom an den Eingangsklemmen des Schaltschranks entstehen.

Stromkreis und Schaltelemente einer Schaltanlage
Verteilerstromkreis (Feeder Circuit)
Ausgehend von der Last aller Produkte oberhalb des ersten "Überstrom"-Schutzorgans des Abzweigs (Branch Circuit Protective Device).
Abzweigstromkreis (Branch Circuit)
Alle Produkte ausgehend von der Last bis zum ersten "Überstrom"-Schutzorgan des Abzweiges (Branch Circuit Protective Device).
Hauptstromkreis (Power Circuit)
Der Hauptstromkreis kann sowohl direkt an der Zuleitung als auch über "Power Transformer" angeschlossen sein. Motorische Lasten werden meist als "Power Circuits" betrachtet. Hier sind entsprechende Schutzgeräte zu verwenden, z. B. Leistungsschalter nach UL 489.

Steuerstromkreis (Control Circuit)
Ein Stromkreis, der elektrische Signale zur Steuerung der Maschine/Anlage führt. Ein Steuerstromkreis ist normalerweise auf 15 A begrenzt. Steuerstromkreise können auf verschiedene Arten hergestellt werden:

- Direkter Abgriff vor dem Abzweigschutz (Branch Circuit Protective Device). Hier sind entsprechende Schutzgeräte zu verwenden, z. B. Leistungsschalter nach UL 489.
- Direkter Abgriff nach dem Abzweigschutz (Branch Circuit Protective Device). Hier können auch so genannte "Supplementary Protectors" vewendet werden, z. B. Leitungsschutzschalter nach UL 1077.
- Über Steuertransformatoren bzw. Gleichspannungsnetzgeräte. Vorsicht: Unter Umständen sind hier verschiedene Schutzgeräte nicht zugelassen.

Stromkreis und Geräte Klasse 2 (Class 2 Control Circuit)
Ein Stromkreis, dessen Einspeisung eine begrenzte Spannung (30 Vrms oder weniger) und eine begrenzte Leistung aufweist, wie z. B. die Sekundärseite eines Transformators Klasse 2 für Steuer- und Meldestromkreise Klasse 2.
Steuerstromkreis Klasse 1 (nach UL 508 A) (Class 1 Common Control Circuit)
Ein Steuerstromkreis auf der Lastseite eines Überstrom-Schutzorgans, bei dem die Spannung nicht 600 V überschreiten soll und bei dem der Strom nicht begrenzt ist oder ein Steuerstromkreis auf der Lastseite eines Transformators.
Abzweigschutzorgan (Branch Circuit Protection)
Überstromschutzeinrichtung mit einem Nennstrombereich – geeignet zum Schutz des Abzweigs (Geräte und Leitungen). Für einen Motorabzweig braucht diese Überstromschutzeinrichtung nur bei Kurzschluss und Erdschluss anzusprechen.
Verdrahtung im Feld (Field Wiring)
Die Verdrahtung im Feld kann von einem Elektriker ohne speziell vorbereitete Leiter durchgeführt werden.
Verdrahtung nur in der Fabrik (Factory Wiring)
Die Geräte dürfen nur werksseitig angeschlossen werden, wenn z. B. Löt- oder Crimpanschlüsse benötigt werden.
Overcurrent protection
Ein Gerät zum Schalten eines Stromkreises bei Überschreitung eines vorgegebenen Wertes. Die Strombelastbarkeit ist so ausgewählt, dass der Stromkreis ausgeschaltet wird, wenn die Strombelastbarkeit der Leiter oder der Anlage auf Grund von Überlastströmen, Kurzschlüssen oder Erdschlüssen überschritten ist. Der Begriff "Overcurrent" entspricht dem Überlaststrom (Overload), Kurzschlussstrom (Short Circuit) und Erdschlussstrom (Ground Fault).



Beispielschaltung für entsprechende Stromkreise:

1. *Lasttrennschalter mit Sicherungen nach UL 98, Leistungsschalter nach UL 489 oder Leitungsschutzschalter nach UL 489*
   Fused disconnect switch acc. to UL 98, circuit breaker acc. to UL 489 or miniature circuit breaker acc. to UL 489
2. *Motorabzweig (Combination Motor Controller)*
3. *Abzweigschutz (Branch Circuit Protection)*
4. *Starter (Starter)*
5. *Interne Verdrahtung (Internal Wiring)*
6. *Externe Verdrahtung (Field Wiring)*
7. *Last / Verbraucher (Load (provided in field))*
8. *Stromkreis Klasse 2 (Class 2 Circuit)*
9. *Spulen und andere Steuergeräte (Solenoid or other Control Devices) (provided in field)*
10. *Steuerstromkreis Klasse 1, direkt (Control Circuit / Class 1 Circuit / Common Control Circuit)*
11. *Anschlussklemmen (Field Wiring Terminals)*
12. *Überlastrelais (Overload Relay)*
13. *Schütz (Contactor / Controller)*
14. *Starkstromtransformator (Power Transformer – for Motor Load and Control Circuit)*
15. *Steuergeräte und -Stromkreise Klasse 1(Control Circuit Devices and Wiring Class 1 Circuit / Isolated Secondary Circuit)*
16. *Steuertransformator, Erdung (Control Transformer Ground) (for 1000 VA Max Control Transformer)*
17. *Leitungsschutzschalter nach UL 1077 als "Supplementary protector" Miniature Circuit-Breaker acc. to UL 1077 as supplementary protection*

Beispiele für Motorstarterkombinationen
Aufbaumöglichkeit des Motorabzweigstromkreises (Motor Branch Circuit)

Beachte:

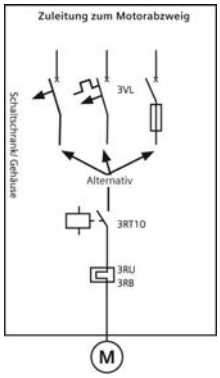
Die Möglichkeiten für Motorstarterkombinationen innerhalb der IEC unterscheiden sich grundlegend von denen für den UL-Markt. Motorstarterkombinationen nach IEC können UL-Inspektoren oder den AHJ zur Verhängung der sogenannten "red flag" veranlassen. Das heißt, die Maschine darf erst nach Umbau in Betrieb genommen werden.

Funktionen im Motorabzweig:
- Trennen (Disconnect)
- Kurzschlussschutz (Short-Circuit Protection / Branch Circuit Protection)
- Motor-Überlastschutz (Motor Overload Protection)
- Motorsteuerung (Motor Control)

Projektierungsarten eines Motorabzweigs:
- Magnetic oder Manual Motor Controller
- Magnetic oder Manual Motor Controller in group installation
- Manual Motor Controller in group installation suitable for tap conductor protection
- Manual Self-Protected Combination Motor Controller Type E
- Magnetic/Manual Self-Protected Combination Motor Controller Type F

Magnetic Motor Controller:
Anwendung:
- Bei dezentral aufgestellten Einzelmotoren (z. B. Lüfter in Fabrikhalle)
- Für einige wenige Motoren in der Maschine
- Motorenabzweige für hohe Spannungen

Aufbau:
- 1 Kurzschlussschutz-Gerät
- 1 Magnetic Motor Controller (Schütz zum Fernschalten eines Motors)
- 1 Überlastrelais



Magnetic Motor Controller					
Geräte	UL-Norm	Gerätefunktionen			
		Trennen	Kurzschluss-schutz	Motor-steuerung	Überlast-schutz
Leistungsschalter oder	UL 489	●	●		
Trennschalter / Sicherungen	UL 98 / UL 248	●	●		
Magnetic Motor Controller	UL 508			●	
Überlastrelais	UL 508				●

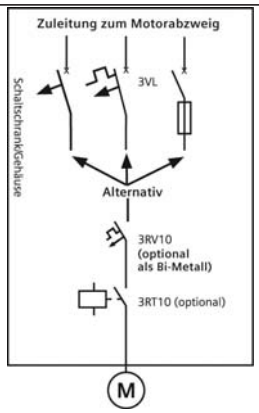
Manual Motor Controller (optional Magnetic mit Schütz):

Anwendung:

- Bei dezentral aufgestellten Einzelmotoren (Lüfter in Fabrikhalle)
- Für einige wenige Motoren in der Maschine
- Motorenabzweige für hohe Spannungen

Aufbau:

- 1 Kurzschlussschutz-Gerät
- 1 Manual Motor Controller (Motorschutzschalter zum manuellen Schalten und Überlastschutz eines Motors)
- Optional: 1 Steuerungsgerät (Schütz zum Fernschalten eines Motors)



Manual Motor Controller (optional Magnetic mit Schütz)					
Geräte	UL-Norm	Gerätefunktionen			
		Trennen	Kurzschluss-schutz	Motor-steuerung	Überlast-schutz
Leistungsschalter	UL 489	●	●		
oder					
Trennschalter /	UL 98 /	●			
Sicherungen	UL 248		●		
Manual Motor Controller	UL 508	●		●	●
Schütz (optional)	UL 508			●	

Magnetic oder Manual Motor Controller in Group Installation:

Anwendung:

- für Anlagen mit mehreren Motoren

Aufbau:

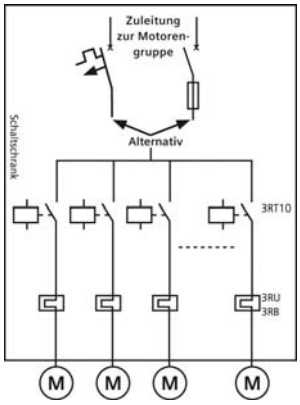
- 1 Kurzschlussschutz-Gerät als Gruppenabsicherung
- 1 Magnetic Motor Controller pro Motor (Schütz zum Fernschalten eines Motors)
- 1 Überlastrelais pro Motor

oder

- 1 Kurzschlussschutz-Gerät als Gruppenabsicherung
- 1 Manual Motor Controller pro Motor (Motorschutzschalter zum manuellen Schalten eines Motors)
- Optional: 1 Steuerungsgerät pro Motor (Schütz zum Fernschalten eines Motors)

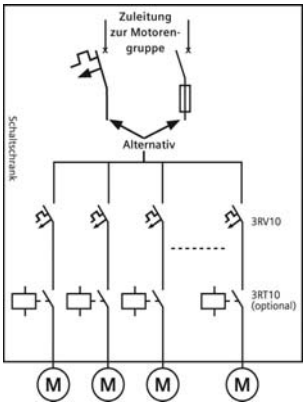
Hinweis:

- *Gängige Aufbauart, wenn keine Approbation als "Type E" oder "Suitable for tap conductor protection in group installation" vorliegt*
- *Aufgrund der Regel zur Leitungsdimensionierung in der Praxis oft unpraktisch*



Magnetic Motor Controller in Group Installation					
Geräte	UL-Norm	Gerätefunktionen			
		Trennen	Kurzschluss-schutz	Motor-steuerung	Überlast-schutz
Leistungsschalter oder	UL 489	●	●		
Trennschalter / Sicherungen	UL 98 / UL 248	●	●		
Magnetic Motor Controller	UL 508			●	
Überlastrelais	UL 508				●

oder



Manual Motor Controller in Group Installation (optional Magnetic mit Schütz)					
Geräte	UL-Norm	Gerätefunktionen			
		Trennen	Kurzschluss-schutz	Motor-steuerung	Überlast-schutz
Leistungsschalter oder	UL 489	●	●		
Trennschalter / Sicherungen	UL 98 / UL 248	●	●		
Manual Motor Controller	UL 508	●		●	●
Schütz (optional)	UL 508			●	

Manual Motor Controller in Group Installation suitable for tap conductor protection

Anwendung:

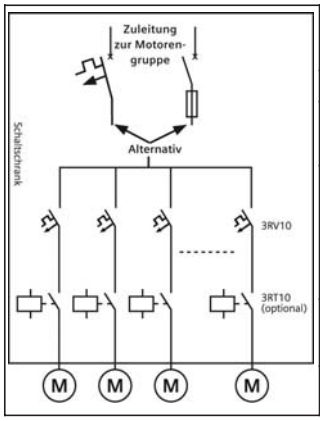
- für Anlagen mit mehreren Motoren

Aufbau:

- 1 Kurzschlussschutz-Gerät als Gruppenabsicherung
- 1 Manual Motor Controller pro Motor mit der Zulassung “suitable for tap conductor protection in group installation“ (Motorschutzschalter zum manuellen Schalten eines Motors)
- Optional: 1 Steuerungsgerät (Schütz zum Fernschalten eines Motors) pro Motor

Hinweis:

- *Im Vergleich zu “Standard Group Installation“ kleinere Leitungsquerschnitte erlaubt*
- *Im Vergleich zu Type E keine Adapter erforderlich*
- *Im Gegensatz zum “Manual Motor Controller in group installation“ wird der Leitungsschutz hier nicht durch das vorgeschaltete Kurzschlussorgan, sondern durch die Geräte selbst realisiert.*



Manual Motor Controller in Group Installation suitable for tap conductor protection					
Geräte	UL-Norm	Gerätefunktionen			
		Trennen	Kurzschluss-schutz	Motor-steuerung	Überlast-schutz
Leistungsschalter oder Trennschalter / Sicherungen	UL 489 UL 98 / UL 248	●	●		
Manual Motor Controller	UL 508	●	●	●	●
Schütz (optional)	UL 508			●	

Manual Self-Protected Combination Motor Controller Type E

Anwendung:

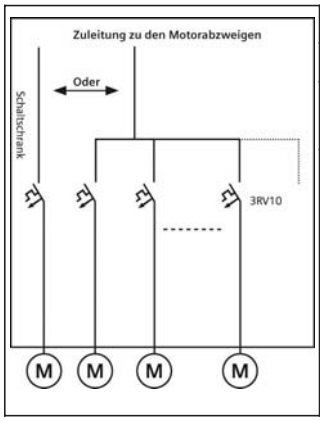
- für Anlagen mit einem oder mehreren Motoren

Aufbau:

- 1 Manual Self-Protected Combination Motor Controller Type E (Motorschutzschalter) pro Motor

Hinweis:

- *Vorgeordneter Circuit-Breaker oder Sicherungen sind nicht erforderlich*
- *Im Vergleich zu „Group Installation" kleinere Leitungsquerschnitte für Motorzuleitung erlaubt*
- *Type E Controller sind nur für den Schutz von Motoren zugelassen*
- *Type E Controller benötigen für UL auf der Einspeiseseite 1 Zoll Luft- und 2 Zoll Kriechstrecke*



Manual Self-Protected Combination Motor Controller Type E					
Geräte	UL-Norm	Gerätefunktionen			
		Trennen	Kurzschluss-schutz	Motor-steuerung	Überlast-schutz
Manual Self-Protected Combination Motor Controller	UL 508	●	●	●	●

Magnetic/Manual Self-Protected Combination Motor Controller Type F

Anwendung:

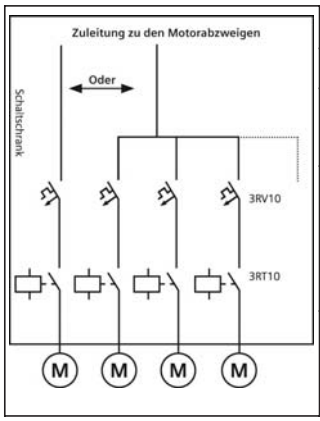
- für Anlagen mit einem oder mehreren Motoren

Aufbau:

- 1 Manual Self-Protected Combination Motor Controller (Motorschutzschalter) pro Motor
- 1 Magnetic Motor Controller pro Motor

Hinweis:

- *Vorgeordneter Circuit-Breaker oder Sicherungen sind nicht erforderlich*
- *Im Vergleich zu „Group Installation" kleinere Leitungsquerschnitte für Motorzuleitung erlaubt*
- *Type F Controller sind nur für den Schutz von Motoren zugelassen*
- *Type F Controller benötigen für UL auf der Einspeiseseite 1 Zoll Luft- und 2 Zoll Kriechstrecke*



Magnetic/Manual Self-Protected Combination Motor Controller Type F					
Geräte	UL-Norm	Gerätefunktionen			
		Trennen	Kurzschluss-schutz	Motor-steuerung	Überlast-schutz
Manual Self-Protected Combination Motor Controller	UL 508	●	●	●	●
Schütz (optional)	UL 508			●	

Vorteile von umfassendem UL-Know-how

Wirtschaftlicher Bau von Schalt- und Steuerschränken

Wirtschaftlichkeit

- Hohe Lösungsflexibilität durch umfassendes und abgestimmtes Produktportfolio, von der Einspeisung der Maschinensteuerung bis zum kleinsten Stellglied der Maschine
- Einfache Lagerhaltung von SENTRON und SIRIUS Schaltgeräten durch universelle Einsetzbarkeit der Produkte (IEC-UL/CSA)
- Einheitliches Bedien- und Wartungskonzept durch unser Standardsystem

Sicherheit
- Umfassendes UL-Know-how von Siemens durch langjährige enge Zusammenarbeit mit Underwriters Laboratories Inc.
- Sichere UL-Anbindung durch starkes und zuverlässiges Produkt- und Systemportfolio, das UL von der Entwicklung an berücksichtigt
- Einfachere und schnellere Inbetriebnahme durch kompetente UL-Beratung

Support
- Einfacher und schneller Zugriff auf Approbationen, Prüfbescheinigungen, technische Produktdetails über www.siemens.com/automation/service&support
- Weltweite Verfügbarkeit der Produkte durch Online-Bestellmöglichkeit über www.siemens.de/automation/mall
- Unterstützung vor Ort durch unsere weltweite Präsenz
- Schulungsangebote rund um UL

Wirtschaftlicher und sicherer Betrieb von Schalt- und Steuerschränken

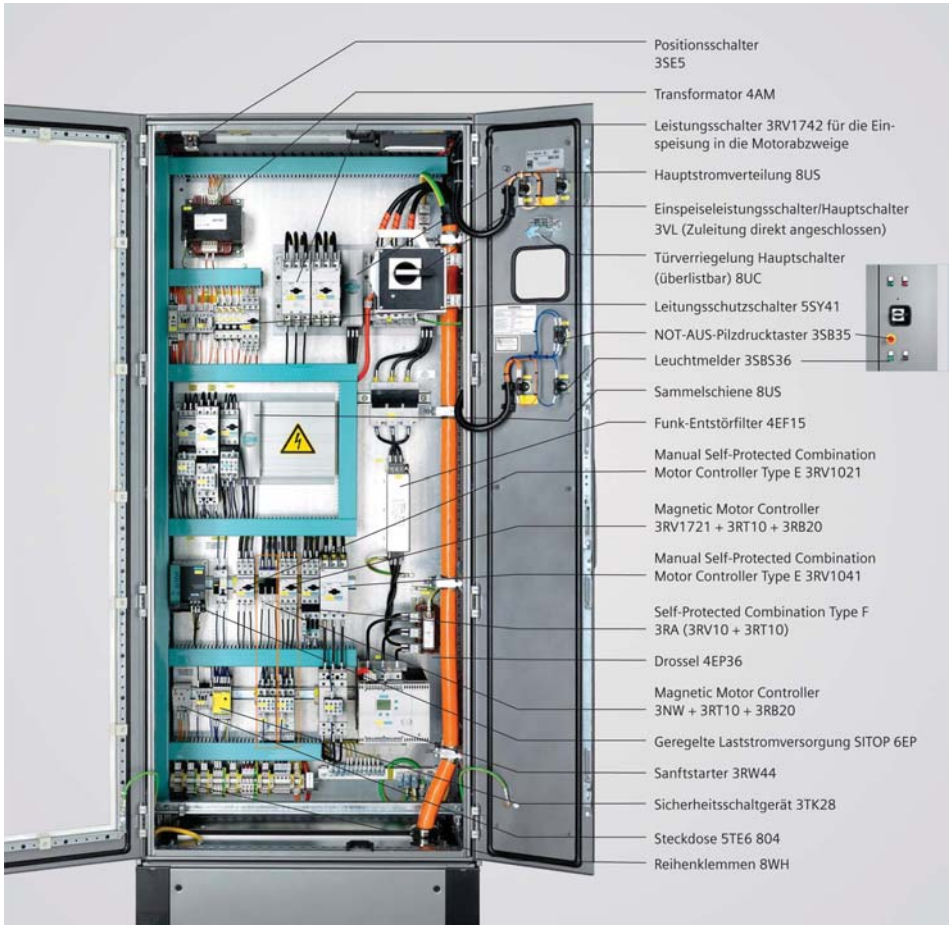
Wirtschaftlichkeit
- Reduzierte Kosten durch abgestimmte Produkt-Schnittstellen
- Einfache Erweiterung sowie Nachrüstung dank modularer Produkte und Systeme
- Minimaler Platzbedarf dank kompakter Bauweisen
- Komfortabler und effizienter Betrieb vor Ort durch einfache Bedienung

Sicherheit
- Umfassendes UL-Know-how sowie bewährtes UL-Portfolio durch langjährige enge Zusammenarbeit von Siemens mit Underwriters Laboratories Inc.
- Einfache Erweiterung und Nachrüstung durch weltweit verfügbare Produkte

Support
- Schnelle und kompetente Produktberatung durch weltweite Präsenz
- 24-Stunden-/7-Tage-Service über www.siemens.com/automation/service&support
- Vielfältiges Schulungsangebot rund um UL

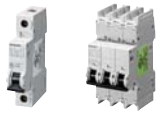
Umfassendes Angebot für Schalt- und Steuerschränke
Bereits in der Entwicklung der Produkte berücksichtigt Siemens nicht nur die Richtlinien der IEC, sondern auch die Normen der UL. Das Ergebnis ist ein breites Portfolio an UL-zertifizierten Produkten für die Niederspannungs-Schalt- und -Schutzschalttechnik.

Ob SENTRON Leistungsschalter, SIRIUS Schaltgeräte – vom Motorschutzschalter und -starter über das Schütz bis hin zum Überlastrelais –, SENTRON Lasttrennschalter oder SIRIUS Erfassungs- und Befehlsgeräte, ob Sammelschienensysteme, Klemmen, Leitungsschutzschalter, Sicherungen oder SIRIUS Transformatoren und Filter – mit dem Siemens-Angebot für die Niederspannungs-Schalttechnik sind Sie in puncto UL auf der sicheren Seite und erstellen Schaltschränke gemäß UL einfach und schnell.



Eine kleine Auswahl des großen Siemens-Portfolios an UL-Komponenten.

	Produkt	Bestell-Nr. Rumpf	UL-Standard	Erläuterung
	SENTRON Offene Leistungsschalter Air Circuit-Breakers (ACB)	3WL5	UL 489	Die SENTRON offenen Leistungsschalter 3WL sind besonders flexibel. Mit nur drei verschiedenen Baugrößen decken Sie ein Leistungsspektrum von 250 A bis 5000 A ab. Das macht sie unkompliziert und vielseitig einsetzbar. Alle Modelle verfügen über die gleiche Bauweise, Bedienung sowie das gleiche mechanische Zubehör. Ergebnis: einzigartige Planungssicherheit und weltweite Einsatzmöglichkeiten – mit einer einzigen Leistungsschalterfamilie!
	SENTRON Kompaktleistungsschalter Molded-Case Circuit-Breakers (MCCB)	3VL	UL 489	Im Spektrum von 20 A bis 1600 A sorgen SENTRON Kompaktleistungsschalter 3VL für optimale Sicherheit. Als Einspeise- und Abzweigschalter schützen sie z. B. Anlagen, Motoren oder Generatoren vor Kurzschluss und Überlast. Dabei überzeugen ihre vielseitigen Einbaumöglichkeiten in Schalt- und Steuerschränken ebenso wie ihre platzsparende Bauweise.
	SIRIUS Leistungsschalter Circuit-Breakers	3RV17, 3RV18	UL 489	Die SIRIUS Leistungsschalter 3RV sind kompakte, strombegrenzende Leistungsschalter. Sie garantieren ein sicheres Abschalten bei Kurzschluss und schützen Verbraucher und Anlage vor Überlast. Darüber hinaus eignen sie sich für das betriebsmäßige Schalten von Verbrauchern bei geringer Schalthäufigkeit sowie zur sicheren Trennung der Anlage vom Netz bei Wartungsarbeiten oder Änderungen.
	SIRIUS Motorschutzschalter Motor Starter Protectors / Manual Motor Controllers	3RV	UL 508	
	SIRIUS Schütze Contactors /Magnetic Motor Controllers	3RT, 3RH	UL 508	SIRIUS Schütze für das Schalten von Motoren sowie Hilfsschütze für den Steuer- und Hilfsstromkreis sind besonders robust und schalten mit hoher Kontaktzuverlässigkeit. Sie decken einen Leistungsbereich von 3 kW bis 250 kW bei 400 V für AC- oder DC-Ansteuerung ab und sind besonders zeit- und kostensparend anzuschließen. Selbst unter extremen Einsatzbedingungen überzeugen sie durch ihre lange Lebensdauer.
	SIRIUS thermische Überlastrelais Thermal Overload Relays	3RU	UL 508	Die Überlastrelais der SIRIUS Familie, die in thermischer und elektronischer Ausführung erhältlich sind, übernehmen im Hauptstromkreis den stromabhängigen Überlastschutz von Verbrauchern sowie der anderen Schalt- und Schutzgeräte in dem jeweiligen Verbraucherabzweig. Mit minimaler Varianz sorgen sie für durchgängigen Motorschutz in zahlreichen Anwendungen.
	SIRIUS elektronische Überlastrelais Solid-State Overload Relays	3RB	UL 508	
	SIRIUS Sanftstarter Soft Starters	3RW	UL 508	SIRIUS Sanftstarter 3RW bieten ein lückenloses Spektrum, das alle Standard- und High-Feature-Anwendungen des sanften An- und Auslaufs von Motoren abdeckt. Dank des sanften An- und Auslaufs ist ein ruckfreier Start bzw. Stopp möglich, der die Mechanik des Motors nachhaltig schont. Die Sanftstarter-Familie lässt sich flexibel an verschiedene Gegebenheiten vor Ort anpassen und ermöglicht so eine einfache und wirtschaftliche Realisierung optimaler Maschinenkonzepte.
	SIRIUS sicherungslose Verbraucherabzweige Fuseless Load Feeders	3RA	UL 508	SIRIUS sicherungslose Verbraucherabzweige 3RA setzen sich aus dem Leistungsschalter 3RV und dem Schütz 3RT zusammen. Dank integrierter Vorverdrahtung lassen sich die sicherungslosen Verbraucherabzweige schnell und einfach montieren. Insbesondere in dezentralen oder weit verstreuten Anlagenstrukturen sind sie die optimale Lösung.

	Produkt	Bestell-Nr. Rumpf	UL-Standard	Erläuterung
	Sammelschienensysteme Busbar System / Fast Bus	8US1	UL 508	Das Sammelschienensystem 8US ist ideal für den Einsatz im Schaltschrank, in Motor-Control-Centern sowie in Energieverteilungsanlagen. Mit Hilfe der Adapter, die unter anderem für SIRIUS und SENTRON Leistungsschalter sowie SENTRON Lasttrennschalter erhältlich sind, sind vielfältige Aufbauten möglich.
	SENTRON Motor- und Wartungsschalter Manual Motor Disconnect	3LD2	UL 508	Die besonders kompakten Motor- und Wartungsschalter 3LD2 werden zum Schalten von Haupt- und Hilfsstromkreisen, aber auch zum Schalten von Drehstrommotoren und anderen Verbrauchern im Fall der Wartung und der Reparatur eingesetzt. Sie erlauben unter anderem die nach UL vorgeschriebenen Kabel-Biegeradien.
	SENTRON Lasttrennschalter Manual Motor Controllers SENTRON Lasttrennschalter mit Sicherungen Manual Motor Controllers	3KA 3KL	UL 508 UL 508	SENTRON Lasttrennschalter in dreipoliger Ausführung übernehmen die Aufgaben „Trennen" und „Schalten unter Last" für den angegebenen Bemessungsstrom und garantieren Sicherheitstrennung in allen Niederspannungsnetzen. Damit sind sie prädestiniert als NOT-AUS-, Reparatur- oder Netzumschalter. (Gemäß UL nur mit SITOR Sicherungen einsetzbar – Special purpose fuse).
	SIRIUS Transformatoren Transformers SIRIUS Stromversorgungen Power Supplies	4AJ, 4AM, 4AP, 4AW 4AT, 4BT, 4AP, 4AU, 4BU 4AV	UL 506 UL 1561 UL 1012	SIRIUS Transformatoren bieten optimalen Schutz durch hohe zulässige Umgebungstemperaturen bis 40 °C bzw. 55 °C (104 °F bzw. 131 °F), hohe Kurzzeitleistung bei Steuertransformatoren, sicherungslose Bauweise und durch ihren Sicherheitsstandard „Safety inside" gemäß IEC 61558. Verwendung finden sie zur Spannungs- und Stromversorgung von Anlagen, Steuerungen und Großseriengeräten (Medizintechnik, Werkzeugmaschinenbau, Robotik und in Kompressoren). SIRIUS Stromversorgungen sind sicher, robust, kompakt und entsprechen neuesten Vorschriften.
	SIDAC Drosseln Reactors SIDAC Filter Filters	4EM, 4ET, 4EP, 4EU 4EV 4EF11 4EF15	UL 1561 UL 506 UL 508 UL 1283	SIDAC Drosseln und Filter können als Optionen zu drehzahlveränderbaren Antrieben in allen Branchen und Anwendungen eingesetzt werden. Sie verbessern Netzqualität und Effizienz von Anlagen, indem sie Oberschwingungen reduzieren, erhöhen die Zuverlässigkeit von Anwendungen und sichern damit die Verfügbarkeit von Anlagen und Systemen. Das Angebot umfasst Netz-, Kommutierungs-, Glättungs-, Ausgangs- und Filterkreisdrosseln sowie Funk-Entstör-, du/dt- und Sinusfilter.
	Leitungsschutzschalter Miniature Circuit Breakers (MCBs)	5SJ4...-.HG	UL 489	Die Leitungsschutzschalter 5SJ4...-.HG der BETA Niederspannungs-Schutzschalttechnik können für Schutzaufgaben in Abzweigen, in Verteilern, Schaltschränken und Steuerungen nach UL 508A als „Branch Protector" eingesetzt werden. Außerdem sind sie auch für den Schutz von Stromkreisen in Heizungs-, Klima- und Lüftungsanlagen (HACR) zugelassen.
	Leitungsschutzschalter Miniature Circuit Breakers (MCBs)	5SY4, 5SY6, 5SY7, 5SY8, 5SP4, 5SX2, 5ST30, 5SX9	UL 1077	Im Rahmen der Norm UL 1077 bieten wir Ihnen eine ganze Reihe an Leitungsschutzschaltern für verschiedenste Anwendungen im Wohn- und Zweckbau sowie der Industrie.

	Produkt	Bestell-Nr. Rumpf	UL-Standard	Erläuterung
	SIRIUS Motorstarter Motor Starters	3RK	UL 508	Ganz gleich ob zentral bzw. dezentral im Schaltschrank oder in hoher Schutzart im Feld – SIRIUS Motorstarter sind immer eine optimale und einfache Lösung. So eignen sich z. B. die Motorstarter des Systems ET 200S für den zentralen Aufbau im Schaltschrank oder für dezentrale Lösungen direkt im Feld. Das dezentrale Peripheriesystem SIMATIC ET 200pro ist dank seines modularen Aufbaus ideal für Komplettlösungen in hoher Schutzart. Auch für unsere dezentrale Systemlösung ECOFAST® bieten wir Ihnen Motorstarter, die mit standardisierter Anschlusstechnik für eine schnelle und wirtschaftliche Realisierung von dezentralen Automatisierungslösungen sorgen.
	Motormanagement und Steuergeräte SIMOCODE pro SIMOCODE pro Motor Management and Control Devices	3UF7	UL 508	SIMOCODE pro ist ein flexibles, modulares Motormanagement-System für Motoren mit konstanten Drehzahlen im Niederspannungsbereich. Es optimiert die Verbindung zwischen Leittechnik und Motorabzweig, erhöht die Anlagenverfügbarkeit und bringt gleichzeitig erhebliche Einsparungen beim Bau, bei der Inbetriebnahme, während des Betriebs und bei der Wartung einer Anlage.
	SIRIUS Koppelrelais Coupling Relays	3TX70, 3RS18	UL 508	Die besonders schmalen SIRIUS Relaiskoppler 3TX70 ermöglichen einen platzsparenden Aufbau im Schaltschrank und bieten ein umfassendes Programm an Ein- und Ausgangskoppelgliedern.
	SIRIUS Steckrelais Plug-In Relays	LZX	UL 508	SIRIUS Steckrelais LZX sind sowohl als Komplettgeräte als auch als Einzelmodule für den Selbstzusammenbau oder den Ersatzteilbedarf erhältlich. Anwendung finden die Geräte als Koppelrelais zum Koppeln zwischen Ein- und Ausgängen bei elektronischen Steuerungen, bei der Kontaktvervielfachung, beim Schalten kleiner Lasten und als Messwertumschalter.
	SIRIUS Powerrelais Power Relays	3TG10	UL 508	Mit einer Baubreite von nur 36 mm eignen sich die kompakten SIRIUS Powerrelais/Kleinschütze 3TG10 vor allem für Anwendungen mit geringem Platzangebot, z. B. für Klimageräte, Heizungen, Pumpen, Ventilatoren – sowie generell für einfache elektrische Steuerungen. Dank ihrer Brummfreiheit sind sie auch für den Einsatz in Hausgeräten oder Verteilungen in Büro- und Wohnbereichen einfach ideal.
	SIRIUS Halbleiterschaltgeräte Solid-State Switching Devices	3RF2	UL 508	SIRIUS Halbleiterschaltgeräte sind optimiert für häufiges Schalten von ohmschen Lasten und Motoren. Sie verfügen über keine mechanisch beweglichen Teile und schalten daher lautlos, verschleißfrei und nahezu unendlich. Ihre kompakte Bauweise ermöglicht einen platzsparenden Aufbau im Schaltschrank.
	SIRIUS Zeitrelais Timing Relays	3RP15, 3RP20	UL 508	Die elektronischen SIRIUS Zeitrelais 3RP werden für alle zeitverzögerten Schaltvorgänge in Steuer-, Anlass-, Schutz- und Regelschaltungen eingesetzt. Sie gewährleisten eine hohe Funktionalität sowie eine große Wiederholgenauigkeit der eingestellten Ablaufzeit.

	Produkt	Bestell-Nr. Rumpf	UL-Standard	Erläuterung
	SIRIUS Überwachungsrelais Monitoring Relays	3UG4	UL 508	Die elektronischen SIRIUS Überwachungsrelais 3UG4 ermöglichen einen maximalen Schutz für ortsveränderliche Maschinen und Anlagen – v. a. in instabilen Netzen. Netz- und Spannungsfehler können frühzeitig erkannt und behoben werden, bevor weit größere Folgeschäden auftreten.
	SIRIUS Temperaturüberwachungs-relais Temperature Monitoring Relays	3RS10, 3RS11	UL 508	Die SIRIUS Temperaturüberwachungsrelais 3RS10/3RS11, die in analoger und digitaler Ausführung erhältlich sind, messen Temperaturen in festen, flüssigen und gasförmigen Medien präzise und zuverlässig.
	SIRIUS Thermistormotorschutz Thermistor Motor Protection	3RN1	UL 508	SIRIUS Thermistormotorschutzgeräte 3RN1 erledigen den temperaturabhängigen Überlastschutz von Drehstrommotoren souverän und sicher.
	SIRIUS Schnittstellenwandler Interface Converters	3RS17	UL 508	SIRIUS Schnittstellenwandler 3RS17 übernehmen die Koppelfunktion für analoge Signale, sowohl auf der Eingangs- als auch auf der Ausgangsseite. Sie sind bei der Verarbeitung von analogen Werten mit elektronischen Steuerungen unentbehrlich.
	SIRIUS Positionsschalter Position Switches	3SE5	UL 508	SIRIUS Standard-Positionsschalter 3SE5 mit und ohne Zughaltung wandeln die mechanischen Positionen bewegter Maschinenteile in elektrische Signale um. Sie sind mit einer Vielzahl verschiedener Antriebsvarianten lieferbar.
	SIRIUS Magnetschalter Magnetically Operated Switches	3SE6	UL 508	SIRIUS Magnetschalter 3SE6 sind für den Anbau an bewegliche Schutzvorrichtungen vorgesehen. Die Auswertung erfolgt über ein Sicherheitsschaltgerät oder den Anschluss an ein Bussystem. Die berührungslosen, magnetischen Sicherheitsschalter 3SE6 zeichnen sich durch ihre geschlossene Bauform mit der hohen Schutzart IP67 aus.
	SIRIUS Seilzugschalter Cable-Operated Switches	3SE7	UL 508	SIRIUS Seilzugschalter werden zur Überwachung oder als NOT-HALT-/NOT-AUS-Einrichtung an besonders gefährdeten Anlagenteilen eingesetzt.

	Produkt	Bestell-Nr. Rumpf	UL-Standard	Erläuterung
	SIRIUS Drucktaster und Leuchtmelder Pushbutton Units and Indicator Lights	3SB	UL 508	SIRIUS Drucktaster und Leuchtmelder zeichnen sich durch höchste Funktionalität, ihr modernes und flaches Design sowie eine besondere Montagefreundlichkeit aus.
	SIRIUS Signalsäulen Signaling Columns	8WD4	UL 508	SIRIUS Signalsäulen 8WD4 werden zur Kontrolle komplexer Abläufe an Maschinen oder in automatisierten Prozessen eingesetzt und dienen als visuelle oder akustische Warneinrichtung.
	ALPHA 8HP Isolierstoff-Verteilersysteme Molded-Plastic Distribution Systems	8HP	UL 50	Das ALPHA 8HP Isolierstoff-Verteilersystem eignet sich zum Aufbau von Niederspannungs-Kleinverteilern, -Steuerungsverteilern sowie -Energieverteilern.
	ALPHA Fix Reihenklemmen Terminal Blocks	8WA, 8WH	UL 1059 (ganz oder teilweise)	Für den sicheren Anschluss bzw. die Verbindung von Drähten, Adern oder Leitungen ist ein komplettes Spektrum an Reihenklemmen in allen gängigen Anschlusstechniken erhältlich.
	NH-Sicherungsunterteile LV HRC fuse bases	3NH3, 3NH4	UL 512 (nur hinter dem Abzweig-schutz)	Für den zuverlässigen Schutz von Leistungshalbleitern sorgen die NH-Sicherungsunterteile der BETA Niederspannungs-Schutzschalttechnik in Kombination mit den SITOR-Sicherungseinsätzen.
	Zylindersicherungshalter und Class CC Sicherungshalter Cylindric fuse holders and Class CC fuse holders Class CC Sicherungseinsätze Class CC fuse links	3NW7 0xx/ 3NW7 1xx, 3NW7 5x3-0HG 3NW1 xxx-0HG, 3NW2 xxx-0HG, 3NW3 xxx-0HG	UL 512 UL 248-4	Unser Programm an Zylindersicherungen zeichnet sich vor allem durch hohes Schaltvermögen, hohe Strombegrenzung und kleinste Bauweisen aus.
	SITOR-Halbleiterschutzsicherungen Semiconductor Fuses	3NE, 3NC 3NC1 0, 3NC1 4, 3NC2 2	UL 248-13 UL 512	Die besonders kompakten und flexiblen SITOR-Sicherungen sind für den Halbleiterschutz in einer Vielzahl von industriellen Anwendungen geeignet.

	Produkt	Bestell-Nr. Rumpf	UL-Standard	Erläuterung
	Lasttrennschalter Switch Disconnectors	5TE1	UL 508	Die Lasttrennschalter 5TE1 sind von 100 A bis 200 A in 3- und 4-poliger Ausführung für den Einsatz als Hauptschalter, Reparaturschalter, Abgangsschalter aber auch als Notfall-Netz-Trenneinrichtung einsetzbar.
	Steckdosen Receptacles	5TE6 804	UL 498	Die Steckdosen 5TE werden zum Beispiel zum Anschluss von steckerfertigen Kommunikationsgeräten in Kommunikationsverteilern oder in Schaltanlagen für Wartungszwecke eingesetzt.
	Insta Schütze Insta Contactors	5TT5 7	UL 508	Insta Schütze 5TT5 7 sind ideal für das Schalten von Heizungen, Beleuchtungen und Motoren.
	Schaltuhren Time Switches	7LF4 4, 7LF5 3	UL 917	Die digitalen und mechanischen Schaltuhren 7LF der neuen Generation haben vielfältige Funktionen und sind einfach zu bedienen. Durch das digitale Zeitschalten von Prozessabläufen sorgen sie für willkommene Energieeinsparung.
	Zeit- und Impulszähler Time and Pulse Counters	7KT5 8	UL 863	Zeit- und Impulszähler werden zur zuverlässigen Erfassung von Produktions- und Servicezeiten eingesetzt. Produktionsabläufe, Wartungszyklen und Garantiezeiten können so exakter geplant und überwacht werden.

Zwangsgeführte Kontaktelemente von Hilfsschützen und Spiegelkontakte von Leistungsschützen

Bis vor einigen Jahren gab es für alle Hilfs- und Leistungsschütze nur den Normenbegriff "zwangsgeführte Kontakte". Dieser Begriff war bis zum Jahr 2000 in der Norm EN 60947-1 nicht eindeutig beschrieben. Mit der Normänderung A2:2000 (in der Norm EN 60947-5-1:1997 + A12:1999 + A1:1999 + A2:2000) wurde der Begriff "Zwangsgeführtes Kontaktelement" im Anhang L ausführlich erläutert. Zum ersten Mal wurde ein Symbol dafür festgelegt und es wurden Prüfungen zur Überprüfung der "zwangsgeführten Hilfsschützkontakte" beschrieben. Der Nachteil war, dass sich diese Eigenschaften der Zwangsführung nur auf die Kontakte im Hilfsschütz bezogen.

Für die Kontakteigenschaften der Leistungsschütze wurde zwei Jahre später der Anhang F in der EN 60947-4-1:2001 + A1:2002 + A2:2005 hinzugefügt. In diesem Normenteil wird der Begriff "Spiegelkontakt" oder auch "mirror contact" für Leistungsschütze definiert. Zusätzlich werden ein Symbol zur Bezeichnung eines Spiegelkontakts sowie Prüfungen zur Überprüfung der Spiegelkontakteigenschaft festgelegt.

Hinweis:

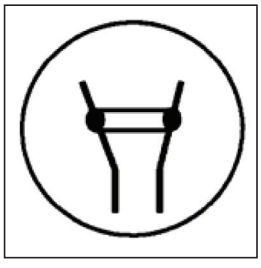
Beide Kontakteigenschaften, sowohl das zwangsgeführte Kontaktelement im Hilfsschütz als auch der Spiegelkontakt im Leistungsschütz sind absolut gleichwertig.

Zwangsgeführte Kontaktelemente nach EN 60947-5-1, Anhang L

Definition:

Kombination von n Schließern und m Öffnern, die so konstruiert sind, dass sie nicht gleichzeitig geschlossen sein können.

Für die Eigenschaft "Zwangsführung" kommen nur Hilfsschalterelemente in Frage, die in Schaltgeräten enthalten sind und bei denen die Betätigungskräfte intern erzeugt werden.



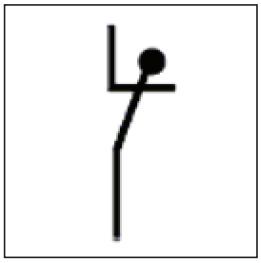
Symbol für zwangsgeführte Kontaktelemente im Schaltgerät. Beispiel dafür sind Sirius-Hilfsschütze 3RH1.

Spiegelkontakte nach EN 60947-4-1, Anhang F

Definition:

Hilfsöffner, der nicht gleichzeitig mit einem Schließer-Hauptkontakt geschlossen sein kann.

Symbol für Spiegelkontakte im Schaltgerät



Sirius Schütz-Zulassungen

Beispiel:

EN 60947-5-1

Alle Sirius-Hilfsschütze 3RH1 mit mindestens einem Öffner sind nach der EN 60947-5-1 geprüft und besitzen seit Produkteinführung zwangsgeführte Kontaktelemente (im Grundgerät bzw. im Grundgerät in Verbindung mit Hilfsschaltern). (siehe Tabelle 1)

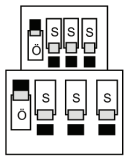
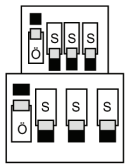
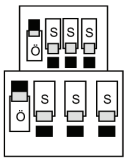
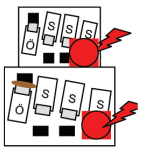
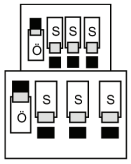
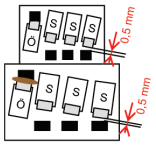
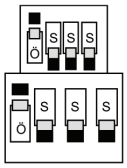
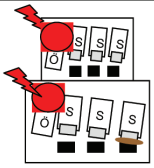
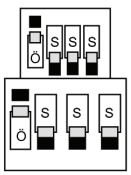
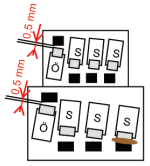
EN 60947-4-1

Alle Sirius-Motorschütze 3RT1 mit mindestens einem Öffner sind nach der EN 60947-4-1 geprüft und besitzen seit Produkteinführung Spiegelkontakteigenschaften in Verbindung mit Hilfsschaltern. (siehe Tabelle 2)

Legende zu Tabellen 1 und 2:

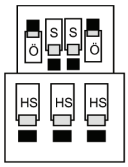
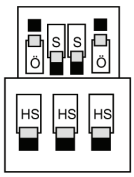
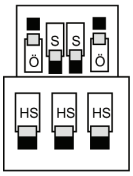
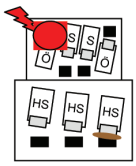
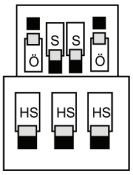
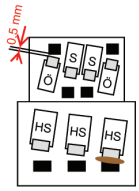
HS	Hauptschließer
S	Hilfsschließer
Ö	Hilfsöffner
	Bewegliches Schaltstück (Brücke)
	Festes Schaltstück
	Verschweißung
	Gefahrbringender Zustand

Tabelle 1: Darstellung der Zwangsführung von Hilfsschützen nach EN 60947-5-1

Ausgangszustand	Folgezustand	Erläuterung Folgezustand
Hilfsschütz ausgeschaltet 	**1. Ungestörter Betrieb** 	**„Start"-Anforderung** 1. Abfrage Rücklesesignal mit Ergebnis „Rückführkreis geschlossen", d.h. alle Ö sind geschlossen, alle S sind offen 2. Hilfsschütz wird unter Spannung gesetzt 3. Abfrage Rücklesesignal mit Ergebnis „Rückführkreis offen", d.h. alle Ö sind offen, alle S sind geschlossen - das Hilfsschütz ist eingeschaltet. **Fazit**: Keine Gefahr für die Anlage.
Hilfsschütz ausgeschaltet 	**2. Störung am Öffner[1]:** Prinzipdarstellung eines Hilfsschützes ohne Zwangsgeführte Kontakte 	**„Start"-Anforderung** 1. Abfrage Rücklesesignal mit Ergebnis „Rückführkreis geschlossen", d.h. alle Ö sind geschlossen, alle S sind offen 2. Hilfsschütz wird unter Spannung gesetzt 3. Abfrage Rücklesesignal mit Ergebnis „Rückführkreis geschlossen", d.h. alle Ö sind geschlossen, alle S sind offen – **das Ergebnis vom Rücklesesignal ist falsch!** Hilfsschütz ist in einem undefinierten Zustand, Ö sind geschlossen, aber auch einige S haben geschlossen! **Fazit**: Gefahr, dass Anlage anläuft! Hilfsschütz ist für Safety – Applikationen **nicht zulässig.**
Hilfsschütz ausgeschaltet 	**3. Störung am Öffner[1]:** **SIRIUS** Hilfsschütz 3RH mit 4-pol.-fronts. Hischa und Zwangsgeführten Kontakten 	**„Start"-Anforderung** 1. Abfrage Rücklesesignal mit Ergebnis „Rückführkreis geschlossen", d.h. alle Ö sind geschlossen, alle S sind offen 2. Hilfsschütz wird unter Spannung gesetzt 3. Abfrage Rücklesesignal mit Ergebnis „Rückführkreis geschlossen", d.h. alle Ö sind geschlossen, alle S sind offen (Mindestabstand zwischen den S-Kontaktstellen von 0,5 mm je Strombahn nach EN 60947-5-1 gewährleistet) 4. Die Hilfsschütz-Spannung wird weggenommen. 5. Einleitung von Beseitigung der Störung im Schütz **Fazit**: Keine Gefahr für die Anlage! Hilfsschütz ist für Safety - Applikationen **zulässig.**
Hilfsschütz eingeschaltet 	**4. Störung am Schließer[1]:** Prinzipdarstellung eines Hilfsschützes ohne Zwangsgeführten Kontakten 	**„Stop"-Anforderung** 1. Abfrage Rücklesesignal mit Ergebnis „Rückführkreis offen", d.h. alle Ö sind offen, alle S sind geschlossen 2. Die Hilfsschütz-Spannung wird weggenommen 3. Abfrage Rücklesesignal mit Ergebnis „Rückführkreis geschlossen", d.h. alle Ö sind geschlossen, alle S sind offen – **das Ergebnis vom Rücklesesignal ist falsch!** Hilfsschütz ist in einem undefinierten Zustand, Ö sind geschlossen, aber auch einige S sind noch geschlossen! **Fazit**: Gefahr, dass Anlage weiterläuft! Hilfsschütz ist für Safety - Applikationen **nicht zulässig.**
Hilfsschütz eingeschaltet 	**5. Störung am Schließer[1]:** **SIRIUS** Hilfsschütz 3RH mit 4-pol.-fronts. Hischa und Zwangsgeführten Kontakten 	**„Stop"-Anforderung** 1. Abfrage Rücklesesignal mit Ergebnis „Rückführkreis offen", d.h. alle Ö sind offen, alle S sind geschlossen 2. Die Hilfsschütz-Spannung wird weggenommen 3. Abfrage Rücklesesignal mit Ergebnis „Rückführkreis offen", d.h. alle Ö sind offen (Mindestabstand zwischen den Ö-Kontaktstellen von 0,5 mm je Strombahn nach EN 60947-5-1 gewährleistet) und die S sind noch geschlossen 4. Die Steuerung kann die Anlage mit einem übergeordneten Schaltgerät abschalten **Fazit:**. Keine Gefahr für die Anlage. Hilfsschütz für Safety - Applikationen **zulässig**

[1] *Beide Kontaktstellen der Brücke verschweißt (Hilfsschütz mit Doppelunterbrechung); dadurch Schiefstellung des Kontaktträgers.*

Tabelle 2: Darstellung Spiegelkontakte von Leistungsschützen nach EN 60947-4-1

Ausgangszustand	Folgezustand	Erläuterung Folgezustand
Leistungsschütz ausgeschaltet 	**1. Ungestörter Betrieb** 	**„Start"-Anforderung** 1. Abfrage Rücklesesignal mit Ergebnis „Rückführkreis geschlossen", d.h. alle Ö sind geschlossen, alle S sind offen 2. Leistungsschütz wird unter Spannung gesetzt 3. Abfrage Rücklesesignal mit Ergebnis „Rückführkreis offen", d.h. alle Ö sind offen, alle S sind geschlossen - das Leistungsschütz ist eingeschaltet. **Fazit**: Keine Gefahr für die Anlage.
Leistungsschütz eingeschaltet 	**2. Störung am Schließer[1]:** Prinzipdarstellung eines Leistungsschützes ohne Spiegelkontakte 	**„Stop"-Anforderung** 1. Abfrage Rücklesesignal mit Ergebnis „Rückführkreis offen", d.h. alle Ö sind offen, alle S sind geschlossen 2. Die Leistungsschütz-Spannung wird weggenommen 3. Abfrage Rücklesesignal mit Ergebnis „Rückführkreis geschlossen", d.h. alle Ö sind geschlossen, alle S sind offen – **das Ergebnis vom Rücklesesignal ist falsch!** Leistungssschütz ist in einem undefinierten Zustand, Ö sind geschlossen, aber auch einige S sind noch geschlossen! **Fazit**: Gefahr, dass Anlage weiterläuft! Leistungsschütz ist für Safety - Applikationen **nicht zulässig.**
Leistungsschütz eingeschaltet 	**3. Störung am Schließer[1]:** **SIRIUS** Leistungsschütz 3RT mit 4-pol.-fronts. Hischa und mit Spiegelkontakten 	**„Stop"-Anforderung** 1. Abfrage Rücklesesignal mit Ergebnis „Rückführkreis offen", d.h. alle Ö sind offen, alle S sind geschlossen 2. Die Leistungsschütz-Spannung wird weggenommen 3. Abfrage Rücklesesignal mit Ergebnis „Rückführkreis offen", d.h. alle Ö sind offen (Mindestabstand zwischen den Ö-Kontaktstellen von 0,5 mm je Strombahn nach EN 60947-5-1 gewährleistet) und die S sind noch geschlossen 4. Die Steuerung kann die Anlage mit einem übergeordneten Schaltgerät abschalten **Fazit:**. Keine Gefahr für die Anlage. Leistungsschütz für Safety - Applikationen **zulässig**

1) Beide Kontaktstellen der Brücke verschweißt (Hilfsschütz mit Doppelunterbrechung); dadurch Schiefstellung des Kontaktträgers.

Berufsgenossenschaften / SUVA

Bei Sicherheitsschaltungen für den Personenschutz sind die Forderungen der deutschen Berufsgenossenschaften bzw. der schweizerischen Unfallversicherungsanstalt (SUVA) relevant. Diese bestehen schon länger, gelten zusätzlich zu beiden Normen EN 60947-4-1, EN 60947-5-1 und haben noch strengere Anforderungen an Geräte mit Spiegelkontakten bzw. mit zwangsgeführten Kontaktelementen.
Die grundsätzliche SUVA-Forderung ist, dass alle Hilfsschalter werksseitig unlösbar auf dem Grundgerät montiert sein müssen, und es darf keine Betätigung des Schützes mit der Hand möglich sein.

Der SUVA - Bereich Arbeitssicherheit SuvaPro ist zuständig für das Verhüten von Berufsunfällen und Berufskrankheiten. Mit einer Baumusterbescheinigung der SUVAPro kann der Schaltgerätehersteller belegen, dass seine Produkte mit den grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen übereinstimmen und dass diese Übereinstimmung von einer akkreditierten und europäisch notifizierten Stelle begutachtet worden ist.

Beachte:

Die SUVA-Bescheinigung wird benötigt, wenn Produkte bzw. Anlagen in der Schweiz betrieben werden.

SUVA erkennt mittlerweile auch Zertifikate von anderen europäischen Zertifizierungsstellen wie z.B. die BG-PRÜFZERT-Zeichen des deutschen Berufsgenossenschaftlichen Instituts für Arbeitsschutz (BGIA) an.
Alle Sirius-Hilfsschütze 3RH1 (mit mind. 1 Ö) besitzen die SUVA-Baumusterbescheinigung.
Alle Sirius-Motorschütze 3RT1 (mit mind. 1Ö) können auf Anfrage gemäß SUVA-Anforderungen geliefert werden.

Typische Anwendungsbereiche

Sirius-Hilfsschütze 3RH

Im Allgemeinen werden Hilfsschütze mit zwangsgeführten Kontaktelementen für die Selbstüberwachung in Maschinensteuerkreisen eingesetzt.

Sirius-Leistungsschütze 3RT

Die Leistungsschütze mit Spiegelkontakten werden grundsätzlich in Steuerkreisen von Maschinen für eine zuverlässige Überwachung des Schützzustands eingebaut. Dabei definiert die Sicherheitsnorm EN 954-1:1996 (neu: ISO 13849-1:2006) das Schütz als ein sicherheitsbezogenes Teil einer Steuerung, das auf Eingangssignale anspricht und sicherheitsbezogene Ausgangssignale erzeugt. Gleichzeitig schreibt die EN 60947-4-1 vor, dass man sich nicht auf die Spiegelkontakte als einzige Sicherheitseinrichtung verlassen soll.
Zur Einhaltung der Kategorie 4 bedeutet das, dass man zusätzlich zu jedem Schütz mit Hilfsöffner als Spiegelkontakt für das Rücklesesignal ein weiteres Schütz mit den gleichen Eigenschaften redundant nachschalten sollte. Man geht dabei davon aus, dass die Wahrscheinlichkeit sehr gering ist, dass beide Schütze gleichzeitig verschweißen und somit ist die sichere Fehlererkennung gewährleistet.

Im Folgenden wird auf vorhandene Siemens - Funktionsbeispiele verwiesen, in welchen SIRIUS-Schütze in Kategorie 4 nach EN 954-1:1996 - Safety - Applikationen eingesetzt werden.

Safety Functional Examples sind funktionsfähige und getestete Automatisierungskonfigurationen auf Basis von A&D-Standardprodukten für die einfache, schnelle und kostengünstige Realisierung von Applikationen in der Sicherheitstechnik. Jedes der vorliegenden Safety Functional Examples deckt dabei eine häufig vorkommende Teilaufgabe einer typischen Kundenproblemstellung der Sicherheitstechnik ab.

TIPP:

Die Überführung der Sicherheitsnorm EN 954-1:1996 in die neue ISO 13849-1:2006 ist im Kapitel 2.7.5 "Funktionale Sicherheit" erläutert. Hierzu gibt es auch ein Fachbuch (Autor: Patrick Gehlen) mit der ISBN-13: 978-3-89578-281-7).

Nach dieser Sicherheitsnorm ist das Hilfs- bzw. das Leistungsschütz ein sicherheitsbezogenes Teil einer Steuerung, das auf Eingangssignale anspricht und sicherheitsbezogene Ausgangssignale erzeugt. Dabei sind die zwangsgeführten Kontaktelemente von Hilfsschützen bzw. die Spiegelkontakte von Leistungsschützen die technische Lösung von Siemens zur Erfüllung dieser Normforderung.

Zusammenfassung

Alle Sirius-Hilfsschütze 3RH1 (mit mind. 1Ö) sind geprüft nach der EN 60947-5-1 und besitzen seit Produkteinführung zwangsgeführte Kontaktelemente (im Grundgerät bzw. im Grundgerät in Verbindung mit Hilfsschaltern).
Zusätzlich besitzen alle Sirius-Hilfsschütze 3RH1 (mit mind. 1Ö) die SUVA-Baumusterbescheinigung.

Alle Sirius-Motorschütze 3RT1 (mit mind. 1Ö) sind geprüft nach der EN 60947-4-1 und besitzen seit Produkteinführung Spiegelkontakteigenschaften in Verbindung mit Hilfsschaltern.

Zusätzlich können alle Sirius-Motorschütze 3RT1 (mit mind. 1Ö) auf Anfrage gemäß SUVA-Anforderungen geliefert werden.

Funktionsbeispiele

Thema: Fehlersichere Steuerungen; SIMATIC Safety Integrated
"Einbindung des Rücklesesignals in eine Anwendung in Kategorie 4 nach EN 954-1"
http://support.automation.siemens.com/WW/view/de/21331098

Thema: "Not-Halt mit überwachtem Start, Schutztürüberwachung mit automatischem Start und Servicebetrieb; Kategorie 4 nach EN 954-1"
http://support.automation.siemens.com/WW/view/de/21677424

Thema: Sicherheitsgerichtete Schalttechnik; SIRIUS Safety Integrated
"Not-Halt mit überwachtem Start Kategorie 4 nach EN 954-1 mit / ohne betriebsmäßigem Schalten"
http://support.automation.siemens.com/WW/view/de/21671530

Literaturverzeichnis

[1] DIN EN 60947-4-1 (VDE 0660-102) "Niederspannungs-Schaltgeräte - Teil 4-1: Schütze und Motorstarter - Elektromechanische Schütze und Motorstarter" (IEC 60947-4-1:2000 + Corrigendum:2001 + A1:2002 + A2:2005) Stand April 2006

[2] IEC 60947-5-1 "Niederspannungs-Schaltgeräte - Teil 5-1: Steuergeräte und Schaltelemente - Elektromechanische Steuergeräte" (IEC 60947-5-1: 1997 + A1:1999 + A2:1999) Stand August 2000

[3] EN 954-1:1996 "Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen (neu: ISO 13849-1:2006)

[4] Siemens, Gehlen Patrick: "Funktionale Sicherheit von Maschinen und Anlagen - Umsetzung der europäischen Maschinenrichtlinie in der Praxis", 2007

Stern-Dreieck-Schalten von Drehstrommotoren

Durch einen günstigen Anschluss des Hauptstromkreises werden Ausgleichsströme und Stromspitzen beim Umschalten von der Stern- in die Dreieckschaltung reduziert.

Nach wie vor wird der Stern-Dreieck-Anlauf zum Einschalten von Drehstrom-Asynchronmotoren verwendet. Bei dieser Schaltungsart reduziert sich der Anlaufstrom auf 1/3 des Stroms gegenüber dem bei Direkteinschaltung.

Beachte:

Bei der Umschaltung von Stern in Dreieck können aber, verstärkt durch eine ungünstige Konstellation von Netzfrequenz und Läuferfeld, Ausgleichsvorgänge im Motor auftreten, die zu größeren Stromspitzen führen als beim direkten Zuschalten des stehenden Motors in Dreieckschaltung.

Im ungünstigen Fall ergeben sich folgende Probleme:

- Kurzschlusseinrichtungen lösen aus
- das Dreieckschütz verschweißt bzw. unterliegt hohem Kontaktabbrand
- der Motor unterliegt einer hohen dynamischen Beanspruchung

TIPP:

Durch eine entsprechende Vorzugsschaltung für Rechts- und Linkslauf lassen sich Umschaltstromspitzen verringern.

Funktion:

In den Stern-Dreieck-Starter-Schemata sind oft zwei verschiedene Anschlussarten des Motors angegeben: Einmal für Rechts- und zusätzlich für Linkslauf der Motoren. Bei der Installation sollte das beachtet werden, um die Umschaltstromspitze möglichst klein zu halten.

Beachte:

Es ist auf die richtige Verdrahtung am Motorklemmbrett zu achten.

Beschreibung der Funktionalität für Rechtslauf:

Verwendung der Vorzugsschaltung:

Das untenstehende Zeigerdiagramm zeigt die Spannungen in einem rechts laufenden Motor beim Umschalten von Stern auf Dreieck. Die Motorklemmen sind nach der Vorzugsschaltung richtig verbunden, das heißt Phase L1 mit Motorklemmen U1 und V2, L2 mit V1 und W2, L3 mit W1 und U2:

Bild 1: Richtige Verbindung der Motorphasen für Rechtslauf.

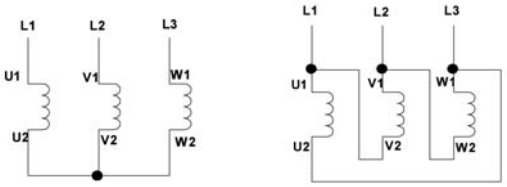
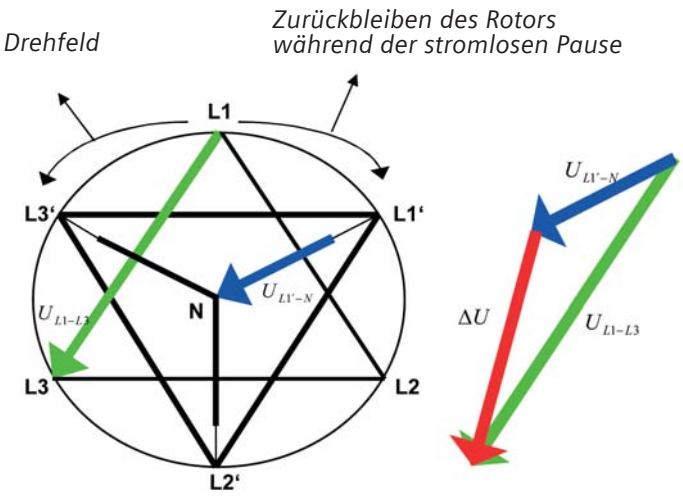


Bild 2: Zeigerdiagramm für Stern-Dreieck-Umschaltung bei Rechtslauf mit richtigen Verbindungen der Motorphasen.



Während der stromlosen Umschaltpause bleibt der Rotor gegenüber dem Drehfeld zurück. Sein magnetisches Feld induziert eine abklingende Restspannung, hier im Spannungszeiger-Diagramm für die Phase L1 eingetragen: $U_{L1'-N}$.

Beim Einschalten auf Dreieck (Bild 1 und Bild 2) wird die diese Restspannung führende Statorwicklung an die Netzspannung U_{L1-L3} gelegt. Die Differenzspannung ΔU ist dank der günstigen Vektorlage der Restspannung $U_{L1'-N}$ und der Netzspannung U_{L1-L3}, welche annähernd gleichgerichtet sind, relativ klein. Somit wird die von dieser resultierenden Spannung herrührende Stromspitze ebenfalls klein bleiben.

Keine Verwendung der Vorzugsschaltung:
Der Motor hat ebenfalls Rechtslauf, wenn die Motorklemmen wie folgt verbunden werden: Phase L1 mit Motorklemmen U1 und W2, L2 mit V1 und U2, L3 mit W1 und V2.

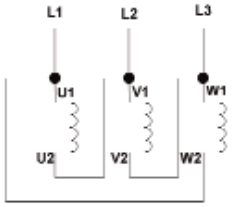


Bild 3: Falsche Verbindung der Motorphasen ergibt ebenfalls Rechtslauf.

Im Stator wirkt wieder die zurückbleibende und abklingende Restspannung. Die Phasenwicklung mit dem Zeiger $U_{L1'-N}$ wird jetzt beim Einschalten auf Dreieck an die Netzphase U_{L1-L2} gelegt. Diese beiden Spannungen haben jedoch ganz verschiedene vektorielle Richtungen, die Differenzspannung ΔU ist hoch und bewirkt eine entsprechend hohe Umschaltstromspitze.

Beim Umschalten von Stern auf Dreieck ergibt sich also folgendes Zeigerdiagramm:

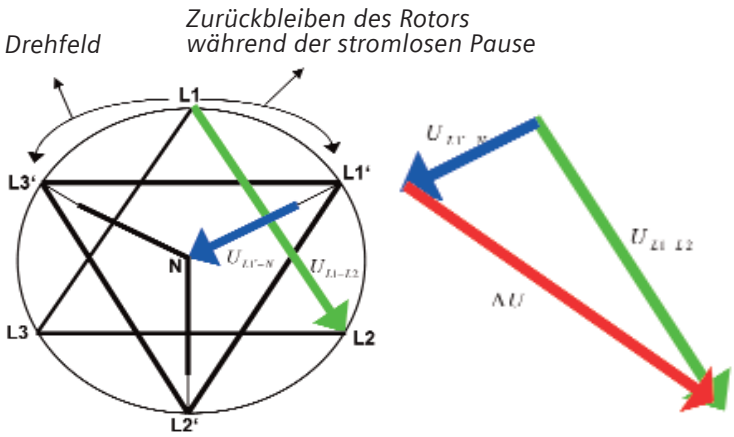


Bild 4: Zeigerdiagramm für Verbindungen der Motorphasen nach Bild 3, ergibt eine große Umschaltstromspitze

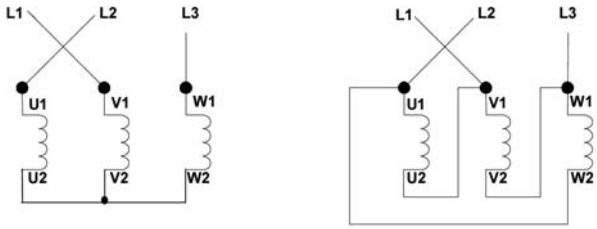
Änderung der Drehrichtung von Rechts- auf Linkslauf:

Beachte:

Bei Linkslauf des Motors genügt es nicht, nur an beliebiger Stelle zwei Phasen zu vertauschen. Damit ergäben sich die gleichen Verhältnisse wie bei Rechtslauf beschrieben.

Um auch hier die Umschaltstromspitze von Stern- auf Dreieck-Schaltung möglichst klein halten zu können, muss die Verdrahtung wie folgt realisiert werden:

Bild 5: Richtige Verbindung der Motorphasen für Linkslauf des Motors



Bemessung der Geräte bei Normanlauf

Sternschütz: $I_{e\ Motor}$ x 0,33
Netz- und Dreieckschütz: $I_{e\ Motor}$ x 0,58
Überlastrelais: $I_{e\ Motor}$ x 0,58

Günstige und ungünstige Schaltungen

Hier sind die verschiedenen Möglichkeiten der Schaltungen zusammengefasst und die Verdrahtung in der Dreieck-Schaltung aufgeführt.

umverdrahten

Ungünstige Varianten				⇒	Günstige Varianten			
Schaltung rechts ungünstig					**Schaltung rechts günstig**			
U1:	L1	U2:	L2	⇒	U1:	L1	U2:	L3
V1:	L2	V2:	L3		V1:	L2	V2:	L1
W1:	L3	W2:	L1		W1:	L3	W2:	L2
Schaltung rechts ungünstig					**Schaltung rechts günstig**			
U1:	L2	U2:	L3	⇒	U1:	L2	U2:	L1
V1:	L3	V2:	L1		V1:	L3	V2:	L2
W1:	L1	W2:	L2		W1:	L1	W2:	L3
Schaltung rechts ungünstig					**Schaltung rechts günstig**			
U1:	L3	U2:	L1	⇒	U1:	L3	U2:	L2
V1:	L1	V2:	L2		V1:	L1	V2:	L3
W1:	L2	W2:	L3		W1:	L2	W2:	L1
Schaltung links ungünstig					**Schaltung links günstig**			
U1:	L1	U2:	L2	⇒	U1:	L1	U2:	L3
V1:	L3	V2:	L1		V1:	L3	V2:	L2
W1:	L2	W2:	L3		W1:	L2	W2:	L1
Schaltung links ungünstig					**Schaltung links günstig**			
U1:	L3	U2:	L1	⇒	U1:	L3	U2:	L2
V1:	L2	V2:	L3		V1:	L2	V2:	L1
W1:	L1	W2:	L2		W1:	L1	W2:	L3
Schaltung links ungünstig					**Schaltung links günstig**			
U1:	L2	U2:	L3	⇒	U1:	L2	U2:	L1
V1:	L1	V2:	L2		V1:	L1	V2:	L3
W1:	L3	W2:	L1		W1:	L3	W2:	L2

Beachte:

Wenn zwei Phasen im Netz vertauscht werden, um die Drehrichtung zu ändern, wird automatisch die Schaltung von der günstigen in die ungünstige geändert bzw. umgekehrt.

φ = Umschaltstromfaktor = Umschaltstromspitze / Anlaufstromspitze

Der Umschaltstromfaktor hat in der Theorie den maximalen Wert 2.

z.B. gemessen: günstige Schaltung: φ = 0,8
ungünstige Schaltung: φ = 1,37

TIPP:

Siehe nachfolgenden Aufbau der Haupt- und Steuerstrom-Verdrahtung. Dort sind die Stromlaufpläne für Stern- Dreieck-Kombinationen mit Rechts- und Linkslauf in der Vorzugsschaltung dargestellt.

Der Hauptstromkreis in der Übersicht:

In der folgenden Grafik ist die Hauptstromverdrahtung, in der Vorzugsschaltung, für eine Stern-Dreieck-Schaltung für Rechts- und Linksanlauf dargestellt.

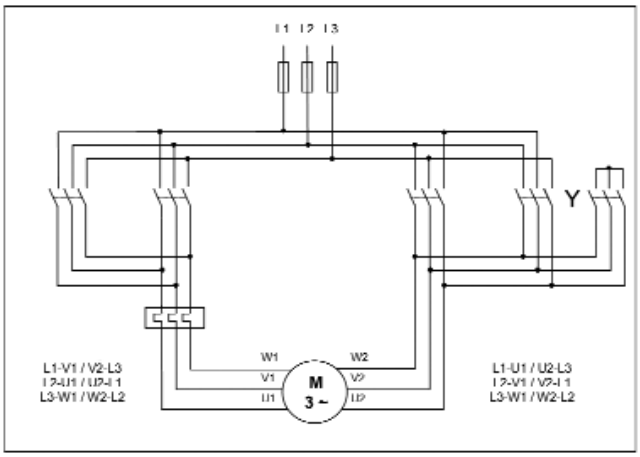


Bild 6: Hauptstromkreis Stern-Dreieck-Kombination

Der Steuerstromkreis in der Übersicht:

Unten ist der Steuerstromkreis für den oben gezeigten Hauptstromkreis dargestellt.

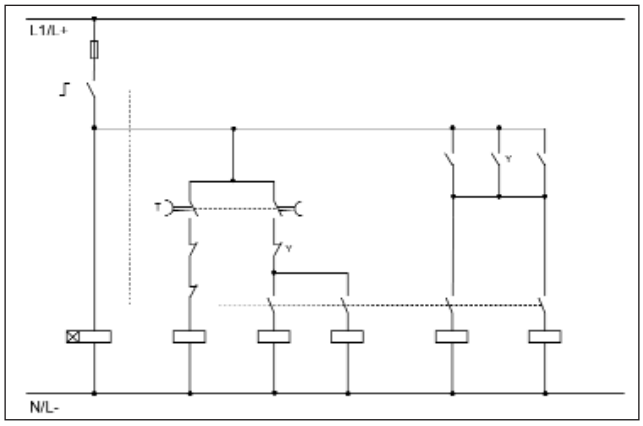


Bild 7: Steuerstromkreis Stern-Dreieck-Kombination

Verbraucherabzweige in sicherungsloser Bauweise

Für den einfachen Aufbau von Verbraucherabzweigen gibt es Standardkomponenten, die entsprechend den Anforderungen zu kombinieren sind. Dazu gehören Leistungsschalter, Schütze, Halbleiterschaltgeräte, Sanftstarter und Überlastrelais. Selbstverständlich können ergänzend Zubehörgeräte wie Hilfsschalter, Hilfsauslöser etc. verwendet werden. Wichtig ist in diesem Zusammenhang, mit möglichst wenig Baugrößen das gesamte Leistungsspektrum abzudecken. Die einzelnen Schaltgeräte können einfach mit Verbindungsbausteinen oder durch Direktanbau zu kompletten Verbraucherabzweigen montiert werden.

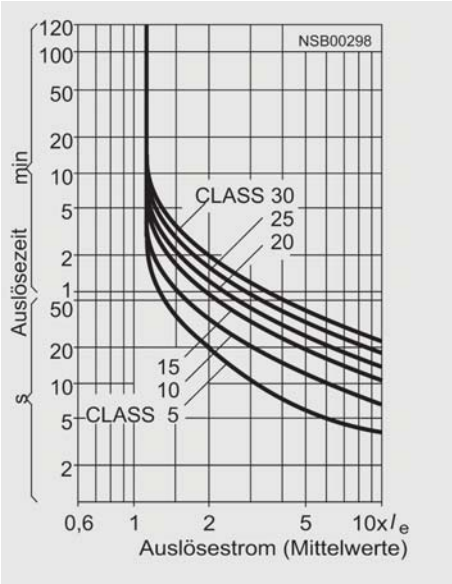
Beachte:

Beim Aufbau der Geräte sind bestimmte Lichtbogen-Ausblasräume zur sicheren Kurzschlussabschaltung einzuhalten.

Die Auslöseklassen gemäß IEC 60947-4-1 beschreiben Zeitintervalle, innerhalb derer die Schutzgeräte (Überlastauslöser von Leistungsschalter oder Überlastrelais) bei symmetrischer dreipoliger Belastung mit 7,2-fachem Einstellstrom I_e aus kaltem Zustand heraus auslösen müssen. Diese Auslösezeiten liegen bei

- CLASS 5 und CLASS 10 zwischen 2 s und 10 s,
- CLASS 20 zwischen 4 s und 20 s,
- CLASS 30 zwischen 9 s und 30 s,
- CLASS 40 zwischen 30 s und 40 s.

In der Praxis werden meist Geräte der Auslöseklasse CLASS 5 und CLASS 10 verwendet. Diese Geräte sind für Standardanwendungen konzipiert. CLASS 5 und CLASS 10 wird auch häufig als Normalanlauf bezeichnet.
Für Anwendungen, bei denen ein hoher Anlaufstrom über längere Zeit erforderlich ist, stehen die Kombinationen für CLASS 20, CLASS 30 und CLASS 40 zur Verfügung. Standardgeräte der CLASS 5 und CLASS 10 würden hier beim Anlauf zu einem ungewollten Auslösen führen. CLASS 20, CLASS 30 und CLASS 40 werden auch als Schweranlauf bezeichnet. Ein Beispiel für diese Anwendungen sind große Lüftermotoren.



Auslösekennlinien nach IEC 60947-4-1.

Beachte:

Neben den Überlastschutzgeräten selbst müssen auch die Schütze und die Kurzschlussabsicherungen für diese langen Anlaufzeiten ausgelegt sein. Deshalb sind die Kombinationen nach CLASS 5 und CLASS 10 in der Regel etwas wirtschaftlicher. CLASS 20, CLASS 30 und CLASS 40 wird meist nur dann eingesetzt, wenn dies die Anwendung auch wirklich erfordert.

Bei der Auswahl der Kombinationen kann in vielen Fällen zwischen den Zuordnungsarten 1 und 2 gewählt werden. Die Zuordnungsart beschreibt gemäß IEC 60947-4-1 den zulässigen Schädigungsgrad eines Geräts nach einem Kurzschluss.

Zuordnungsart 1
Der Starter darf nach einem Kurzschluss funktionsunfähig sein, insbesondere sind Beschädigungen an Schütz, Halbleiterschaltgeräten und Überlastrelais zulässig.

Zuordnungsart 2
Der Starter bleibt funktionsfähig. Es dürfen keine Beschädigungen an den Geräten auftreten, mit Ausnahme von leicht verschweißten Schützkontakten, wenn diese ohne nennenswerte Verformung wieder leicht zu trennen sind.

In beiden Fällen wird der Kurzschluss sicher abgeschaltet. Kombinationen der Zuordnungsart 2 sind somit hochwertiger, sie bieten nach einem Kurzschluss eine schnelle Wiederbereitschaftszeit. Für Kombinationen mit Halbleiterschaltgeräten gilt bei der Zuordnungsart 2 analog, dass die Kurzschlussabschaltung ohne Beschädigung der Leistungshalbleiter erfolgt. Die Kombinationen der Zuordnungsart 1 stellen in aller Regel die etwas kostengünstigere Lösung dar.

Hinweis:

Kombinationen der Zuordnungsart 2 erfüllen immer auch gleichzeitig die Zuordnungsart 1.

Für den einfachen Aufbau von Verbraucherabzweigen bietet der Sirius Systembaukasten modulare Standardkomponenten, die optimal aufeinander abgestimmt und ganz einfach zu kombinieren sind.

Neben den Kombinationen bestehend aus Leistungsschalter (für den Motorschutz) und Schütz werden auch Kombinationen mit Leistungsschalter (für den Starterschutz), Schütz und Überlastrelais angeboten.
Im ersten Fall übernimmt der Leistungsschalter die Doppelfunktion Überlastschutz und Kurzschlussschutz, während im zweiten Fall der Leistungsschalter nur den Kurzschlussschutz übernimmt und das Überlastrelais den Überlastschutz sicherstellt. Beide Lösungen sind bzgl. des Auslöseverhaltens bei Überlast und Kurzschluss technisch gleichwertig.

TIPP:

Bei Verbraucherabzweigen in sicherungsloser Bauweise mit elektronischen Überlastrelais, und speziell bei höheren Auslöseklassen wie CLASS 20, CLASS 30 und CLASS 40, kommt oft ein Motorschutzschalter statt einem Starterschutzschalter zum Einsatz.

Dies hat folgenden Hintergrund:
Starterschutzschalter sind bezüglich der thermischen Zerstörgrenzen in der Regel für CLASS 10 Motoranläufe ausgelegt. Die Stromerfassung von elektronischen Überlastrelais geht meist ab dem 10-fachen Nennstrom in Sättigung, so dass ein Eigenschutz des Leistungsschalters bei höheren Auslöseklassen nicht mehr gegeben ist. Um den thermischen Eigenschutz zu gewährleisten, wird ein Motorschutzschalter eingesetzt, der sich selbst über den Überlast-Auslöser schützt. Der Motorschutzschalter wird so gewählt, dass der Schnittpunkt der Überlastrelaiskennlinie mit der a-Auslösekennlinie des Motorschutzschalters über dem 10-fachen des Einstellstroms ist. Somit ist gewährleistet, dass bei Motorstörungen wie Überlast oder Blockierung immer das Überlastrelais anspricht und nicht der Leistungsschalter.

Die Kombinationen mit Leistungsschalter und Schütz stellen hier die wirtschaftlichere Lösung dar. Die Kombinationen mit Überlastrelais bieten aber für einige Anwendungen durchaus Vorteile:

- Mit den elektronischen Überlastrelais 3RB20/3RB21 und 3RB22/3RB23 oder auch Simocode 3UF7 können neben der Auslöseklasse CLASS 5 und CLASS 10 auch Lösungen für den Schweranlauf CLASS 20, CLASS 30 und CLASS 40 realisiert werden.
- Bei Verwendung von elektronischen Überlastrelais steht zur Motorstromeinstellung ein Weiteinstellbereich 1:4 oder 1:10 zur Verfügung. Dies bietet Vorteile bei der Projektierung (beispielsweise, wenn der Motorstrom noch nicht exakt bekannt ist) und dient der Variantenreduzierung.
- Überlastschutz und Kurzschlussschutz sind getrennt ausgeführt und können auch getrennt gemeldet werden. Alternativ kann für diese Option auch statt des Überlastrelais der Meldebaustein 3RV19 21-1M für die Leistungsschalter 3RV verwendet werden, der ebenfalls eine getrennte Meldung von Überlast und Kurzschluss bietet.

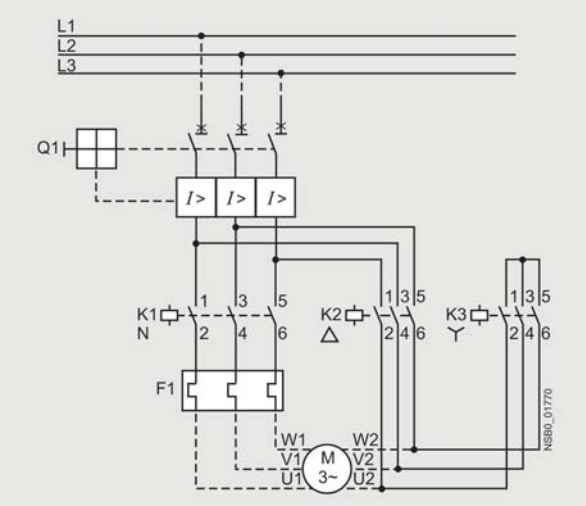
- Über die Einstellung des Überlastrelais auf "Automatik-Reset" kann bei einer Überlastauslösung der Gang zum Schaltschrank entfallen, da ein manuelles Wiedereinschalten im Schaltschrank nicht erforderlich ist. Diese Funktion kann alternativ auch mit dem "Leistungsschalter mit Überlastrelais-Funktion 3RV11" realisiert werden.

Stern(Y)-Dreieck(Δ)-Anlauf

Um Stromspitzen im Netz möglichst gering zu halten, werden zum Anlauf von Drehstrom-Motoren häufig Schutzkombinationen zum Stern-Dreieck-Anlassen eingesetzt. Voraussetzung für eine sinnvolle Anwendung des YΔ-Anlaufs ist ein kleines Lastmoment während des Anlaufs.
Nur dann kann der Motor in der Y-Stufe annähernd seine Bemessungsdrehzahl erreichen, bevor die Umschaltung auf den Δ-Betrieb erfolgt. Für den Überlastschutz des Motors ist ein Überlastrelais zu verwenden. Im Normalfall wird dieses, wie im Stromlaufplan ersichtlich, direkt in der Motorzuleitung U1, V1, W1 angeordnet. Bei dieser Anordnung ist der Überlastschutz in Y- und Δ-Schaltung wirksam.

TIPP:

Das Überlastrelais ist für 58 % des Motorbemessungsstroms auszuwählen.



Stromlaufplan Hauptstromkreis für eine Stern-Dreieck-Schaltung.

Für die Umschaltung von Y- auf Δ-Schaltung ist ein YΔ-Zeitrelais zu verwenden. Diese Zeitrelais sind speziell für diese Anwendung konzipiert und gewährleisten ein sicheres Umschalten. Die passenden Zeitrelais sind entsprechend den Katalogangaben der Hersteller auszuwählen.
Die in den Siemens-Unterlagen angegebenen Kombinationen sind für eine Hochlaufzeit im Y-Betrieb von 10 s ausgelegt. Um auch bei blockiertem Motor eine Beschädigung des Y-Schutzes zu vermeiden, sollte eine Umschaltung auf Δ-Betrieb nach spätestens 10 s erfolgen.

In den entsprechenden Tabellen werden Leistungsschalter für Starterkombinationen (ohne Überlastauslöser) verwendet. Es können aber auch an deren Stelle bemessungsstromgleiche Leistungsschalter für den Motorschutz 3RV10 eingesetzt werden. In diesem Fall ist der Motorbemessungsstrom des Leistungsschalters auf den Maximalwert einzustellen. Dadurch wird ein gleichzeitiges Auslösen von Leistungsschalter und Überlastrelais vermieden.

Weitere INFOS

Sanftanlauf mit Sanftstartern

Sanftstarter begrenzen den Anlaufstrom und das Anlaufmoment. So lassen sich sowohl mechanische Belastungen als auch Netzspannungseinbrüche zuverlässig vermeiden. Die Motorspannung wird dabei durch Phasenanschnitt reduziert und innerhalb einer Rampenzeit von einer einstellbaren Startspannung bis auf die Netzspannung angehoben. So schont der sanfte An- und Auslauf die angeschlossenen Geräte und sorgt für einen reibungslosen Produktionsablauf und reduzierten Wartungsaufwand.

http://www.siemens.de/sanftstarter

Verschiedene Siemens-Sanftstartertypen erfüllen unterschiedliche Anforderungen:

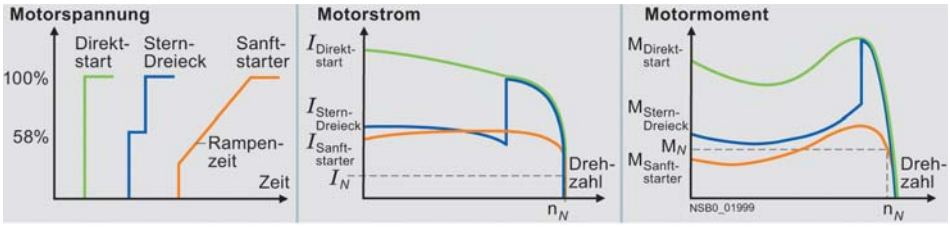
- Sanftstarter 3RW30 zum sanften Starten von Drehstromasynchronmotoren bei einfachen Anwendungen
  - Leistungsbereich: bis 55 kW bei 400 V (75 hp bei 460 V)
- Sanftstarter 3RW40 mit den integrierten Funktionen elektronischer Motorüberlast- und Geräteeigenschutz und einstellbare Strombegrenzung
  - Leistungsbereich: bis 250 kW bei 400 V (300 hp bei 460 V)
- Die elektronischen Sanftstarter 3RW44 bieten
  - Sanftan- und -auslauf
  - elektronischer Motorüberlast- und Geräteeigenschutz
  - einstellbare Strombegrenzung
  - optionale Kommunikation über Profibus
  - zahlreiche Funktionen für gehobene Anforderungen wie z. B. Pumpenauslauf und Anzeige von Messwerten
  - Leistungsbereich: bis 710 kW bei 400 V in Standardschaltung bis 1.200 kW bei 400 V (1.700 hp bei 460 V) in Wurzel-3-Schaltung

Weitere INFOS

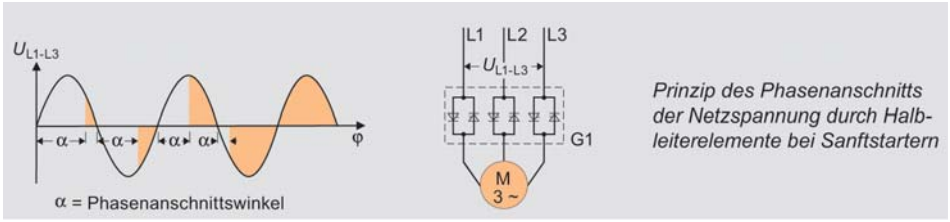
TIPP:

Zur optimalen Auslegung gibt es das Auswahl- und Simulationsprogramm "Win-Soft Starter".
Download unter http://www.siemens.de/lowvoltage/demosoftware

http://www.siemens.de/lowvoltage/demosoftware



Gegenüberstellung der Startarten Direkt-, Stern-Dreieck- und Sanftstart über dem Strom- und Drehmomentverlauf.



Funktionsprinzip Sanftstarter: Regelung der Motorspannung mittels Phasenanschnitt über die Thyristoren.

TIPP:

Alternativ zu den Stern-Dreieck-Kombinationen können auch Sanftstarter verwendet werden, um Stromspitzen im Netz zu vermeiden.
Die Sanftstarter 3RW4 haben standardmäßig ein elektronisches Überlastrelais integriert. Für die sicherungslose Kombination wird somit nur ein Leistungsschalter für den Kurzschlussschutz benötigt. Beim Sanftstarter 3RW30 muss der Überlastschutz vom Leistungsschalter gewährleistet sein.

Verbraucherabzweige als Sanftstarter

Sanftstarter begrenzen den Anlaufstrom und das Anlaufmoment. So lassen sich sowohl mechanische Belastungen als auch Netzspannungseinbrüche zuverlässig vermeiden. Die Motorspannung wird dabei durch Phasenanschnitt reduziert und innerhalb einer Rampenzeit von einer einstellbaren Startspannung bis auf die Netzspannung angehoben. Durch die stufenlose Steuerung der Spannungsversorgung wird der Drehstrommotor an das Lastverhalten der Arbeitsmaschine angepasst. Mechanische Betriebsmittel werden besonders schonend beschleunigt, ihr Betriebsverhalten positiv beeinflusst und ihre Lebensdauer verlängert. Kurzum: Der sanfte An- und Auslauf schont die angeschlossenen Geräte und sorgt für einen reibungslosen Produktionsablauf.

Mit nur sieben Baugrößen decken die Siemens-Sanftstarter den gesamten Leistungsbereich bis 250 kW ab. Selbst die Kommunikation über Profibus DP ist möglich.

Sicherungslose Verbraucherabzweige von geringer Größe lassen sich problemlos mit Leistungsschaltern, z. B. mit dem SIRIUS 3RV, aufbauen. Dank integrierter Überlastrelais-Funktionalität können auch sicherungsbehaftete Abzweige schnell und platzsparend realisiert werden.

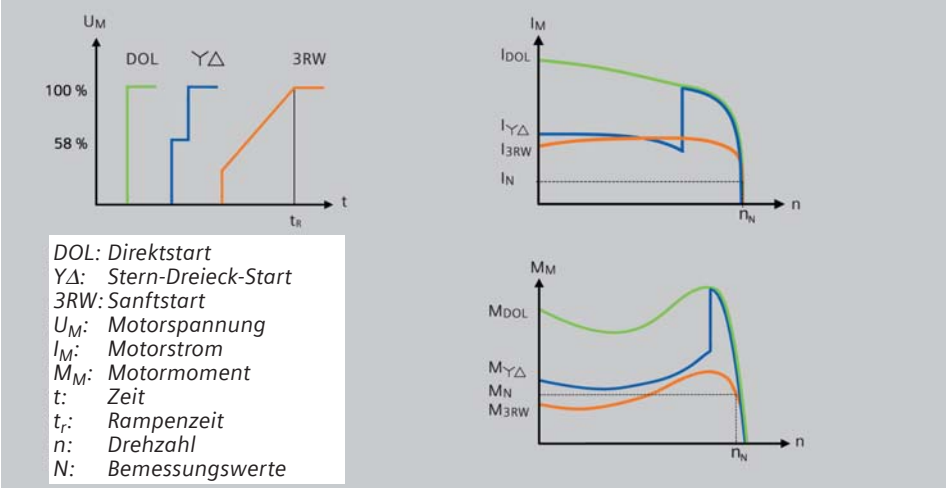
TIPP:

High-Feature-Sanftstarter mit einem Kommunikationsmodul für den Profibus DP.

Bei Standard-Sanftstartern lassen sich in der Regel Anlaufzeit, Startspannung und Auslaufzeit bequem über Potentiometer einstellen. Bei den Sanftstartern mit Motorüberlastschutz gilt dies auch für den Motornennstrom, die Auswahl der Auslöseklasse und die einstellbare Strombegrenzung. Die vielfältigen Funktionen solcher High-Feature-Sanftstarter werden unter anderem über das integrierte Keypad mit menügeführtem grafischem Display eingestellt. Damit sind auch Inbetriebnahme und Diagnose einfach durchführbar. Zur komfortablen Inbetriebnahme steht eigens für die High-Feature-Reihe die Engineering-Software Soft Starter ES zur Verfügung.

Hinweis:

Durch die Integration des Motorüberlastschutzes entfällt der Aufwand für zusätzliche Verdrahtung und der Sanftstarter selbst ist auch noch gegen Überlast geschützt.

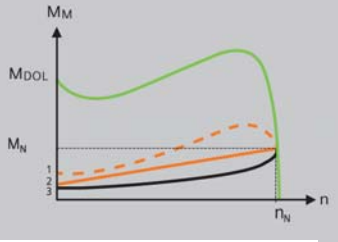


DOL: Direktstart
YΔ: Stern-Dreieck-Start
3RW: Sanftstart
U_M: Motorspannung
I_M: Motorstrom
M_M: Motormoment
t: Zeit
t_r: Rampenzeit
n: Drehzahl
N: Bemessungswerte

Direktstart, Stern-Dreieck-Start und Sanftstart im direkten Vergleich.

Vorteile von Sanftstartern gegenüber konventionellen Motorabzweigen:

- Sanfter An- und Auslauf
- Stufenloses Starten
- Reduzierung von Stromspitzen
- Vermeiden von Netzspannungsschwankungen während des Anlaufes
- Entlastung des Stromversorgungsnetzes
- Verringerung der mechanischen Belastung im Antrieb, im Getriebe und der Last
- Erhebliche Platz- und Verdrahtungsersparnis gegenüber konventionellen Startern
- Einfache Handhabung und Inbetriebsetzung



1 M_{3RW} mit Spannungsrampe
2 M_{3RW} mit Drehmomentregelung
3 M_L Last (z. B. Pumpe)

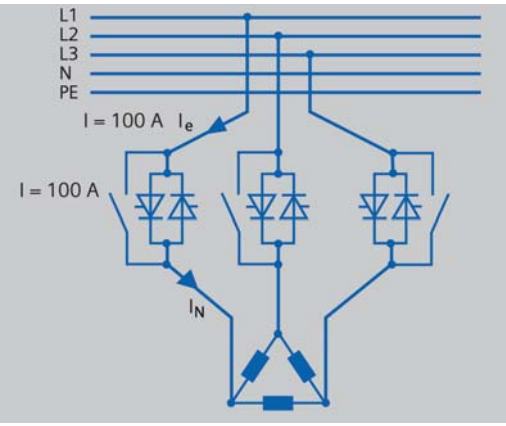
Abrupte Drehmomentschwankungen belasten Maschinen und Motoren. High-Feature-Sanftstarter bieten dagegen zusätzlich eine Drehmomentregelung zum verbesserten Motoran- und -auslauf.

Die Sanftstarter von Siemens besitzen ein integriertes Überbrückungskontaktsystem. Nach erfolgtem Motorhochlauf sind die Thyristoren voll durchgesteuert, und somit liegt die komplette Netzspannung an den Motorklemmen an. Da im Betrieb keine Regelung der Motorspannung nötig ist, werden die Thyristoren durch die intern eingebauten Bypasskontakte überbrückt. Somit wird während des Dauerbetriebs die entstehende Abwärme vermindert, die durch die Verlustleistung (typischerweise drei Watt je fließendem Ampere) des Thyristors hervorgerufen wird. Eine Aufheizung der Schaltgeräteumgebung z. B. im Schaltschrank wird somit vermindert.
Immer mehr Stromversorgungsunternehmen fordern die Einhaltung bestimmter Strom-Grenzwerte beim Starten, um die Belastung der Netze durch hohe Anlaufströme niedrig zu halten. Deshalb ist es sinnvoll, eine einstellbare Strombegrenzung in die Sanftstarter zu integrieren. Moderne Geräte wie die Produkte innerhalb der Sirius-Baureihe von Siemens besitzen diese Möglichkeit.
Zur Reduzierung der Baugröße und der Gerätekosten gibt es zudem die Wurzel-3-Schaltung bei der High-Feature-Sanftstarterreihe. Bei dieser Schaltungsart werden die Phasen des Sanftstarters in Reihe mit den einzelnen Motorwicklungen geschaltet. Dann muss der Sanftstarter nur noch den Strangstrom, also etwa 58 Prozent des Motornennstroms (Leiterstrom) führen. Dann müssen jedoch sechs Leitungen zum Motor geführt werden wie bei Stern-Dreieck-Startern.

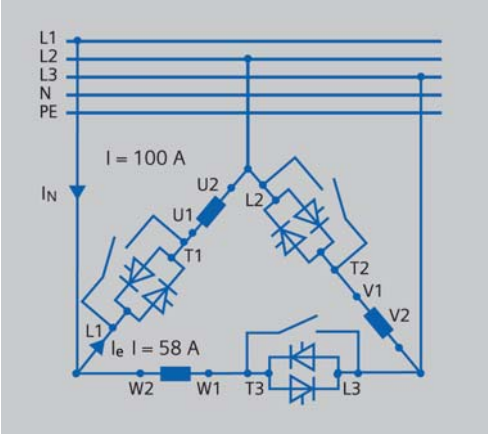
Bei Einsatz der Standardschaltung (drei Leitungen zum Motor) ergibt sich der geringste Verdrahtungsaufwand. Bei langen Sanftstarter-Motor-Verbindungen ist diese Schaltung vorzuziehen.
Bei der Wurzel-3-Schaltung ist der Aufwand doppelt so hoch, dabei kann jedoch bei gleicher Leistung eine kleinere Gerätegröße eingesetzt werden.
Durch die Wahlmöglichkeit der Betriebsart zwischen Standardschaltung und Wurzel-3-Schaltung kann jederzeit die günstigere Lösung gewählt werden.

TIPP:

Die Wurzel-3-Schaltung wird von den Siemens-Sanftstartern selbstständig erkannt und erlaubt den Einsatz von zum Teil wesentlich kleineren Geräten.



Standard-Schaltung eines Sanftstarters:
Der Bemessungsstrom I_e des Starters entspricht dem Motornennstrom I_N. Dabei werden drei Leitungen zum Motor geführt.



Wurzel-3-Schaltung eines Sanftstarters:
Der Bemessungsstrom I_e des Starters entspricht 58 Prozent des Motornennstroms I_N.
Bei dieser Variante müssen wie bei einer Stern-Dreieck-Schaltung sechs Leitungen zum Motor geführt werden.

Weitere INFOS

Software zur einfachen Parametrierung, Überwachung und Diagnose

Weil immer mehr Geräte auf Mikroelektronik basieren, steigt auch die Notwendigkeit, Software-Tools einzusetzen. Diese erleichtern den Umgang mit Niederspannungs-Schaltgeräten. Für die Hight-Feature-Sanftstarter aus der Sirius-Familie von Siemens gibt es das Software-Tool "Soft Starter ES".
Dieses ist in drei Varianten, nämlich Basic, Standard oder Premium erhältlich. Sie unterscheiden sich in Bedienkomfort, Funktionsumfang sowie im Preis.

siemens.de/sirius-engineering

Für Geräte mit geringen Unterschieden, die zentrale Änderung weniger Parameter in vielen gleichartigen Geräten oder für die einfache Parametrierung gleicher Applikationen bietet Soft Starter ES ein leistungsfähiges Werkzeug zur vereinfachten Erstellung von Parameterdateien. Die Vorlagendatei enthält sämtliche möglichen Parameter, die alle durch den Anwender beeinflussbar sind. Die Dateien lassen sich einfach und schnell auch auf andere Geräte übertragen.
Für die bequeme Parametrierung vieler Geräte oder Applikationen gleichen Typs bietet die Software Soft Starter ES eine Gruppenfunktion, die die Parametrierungen aus einer Gruppe von Geräten ausliest und automatisch in jeweils einer eigenen Datei abspeichert bzw. die Parameter aus einer Gruppe von Dateien in die zugehörigen Gerätegruppen überträgt.
Die Premium-Varianten von Soft Starter ES unterstützen den Einsatz des MPI-Teleservice zur Ferndiagnose der Geräte. Das erleichtert Diagnose und Wartung bzw. verkürzt die Reaktionszeit im Servicefall. Die Software erleichtert auch die Maschinendokumentation. Sie ermöglicht den Ausdruck der Parametrierung gemäß DIN EN ISO 7200. Die zu druckenden Elemente lassen sich einfach auswählen und je nach Bedarf zusammenstellen.

TIPP:

Das Software-Tool Soft Starter ES (Standard und Premium) besitzt eine Oszilloskop-Funktion (Trace), um Messwerte und Ereignisse aufzuzeichnen.

Niederspannungs-Schaltgeräte in Kombination mit Frequenzumrichtern

Hinweis:

Generell gilt: Frequenzumrichter beinhalten Zwischenkreiskondensatoren, die hohe Einschaltstromspitzen verursachen, sofern keine umrichterinternen Bedämpfungsmaßnahmen mit Drosseln oder Vorladewiderständen getroffen wurden. Der ungedämpfte Ladestrom bedeutet fast einen Kurzschluss und somit eine starke Belastung der Schaltstücke.

Schütze (z. B. Sirius 3RT)

Einsatz auf der Primärseite des FU:

Wenn diese Stromspitzen höher sind als das Einschaltvermögen der Schütze, so können Schützkontakte abheben (prellen). Durch die hierbei entstehenden Lichtbögen verflüssigt sich das Kontaktmaterial mit anschließender Kontaktverklebung bzw. -verschweißung.
Da die Höhe der tatsächlichen Stromspitzen an der Einbaustelle des Frequenzumrichters im Wesentlichen von der Vorimpedanz des Netzes und vom Einschaltzeitpunkt abhängt, ist zur Auswahl eines geeigneten Schützes Nachfolgendes zu beachten:

1. Umrichter ohne Vorladewiderstände

a) bei Kenntnis des Stromspitzen-Werts:
Auswahl des Schützes 3RT10 gemäß dessen Einschaltvermögen (10 x Ie AC-3). Dieses Einschaltvermögen darf nicht geringer sein als die Stromspitzen.

b) bei Unkenntnis des Stromspitzenwerts:
Verwendung eines Kondensatorschützes 3RT16. Kondensatorschütze 3RT16 enthalten Vorladewiderstände. Hierdurch werden Einschaltstromspitzen auf unkritische Werte gedämpft. Aufgrund der vergleichsweise geringen Einschaltgeschwindigkeit von DC-Magnetsystemen sind Kondensatorschütze 3RT16 nur mit AC-Betätigung verfügbar. Folgende Kondensatorschütze 3RT16 eignen sich zum Einsatz auf der Primärseite von Frequenzumrichtern:

- 3RT1617: Geeignet für Leistungsbereich bis 5,5 kW / 400 V
- 3RT1627: Geeignet für Leistungsbereich von 7,5 kW bis 11 kW / 400 V
- 3RT1647: Geeignet für Leistungsbereich von 22 kW bis 45 kW / 400 V

2. Umrichter mit Vorladewiderständen

Siemens Umrichter (SINAMICS/Masterdrive) besitzen Vorladewiderstände, deshalb wird der Ladestrom auf den Nennstrom des Umrichters begrenzt. Aus diesem Grund kann das Schütz selbst nach der Gebrauchskategorie AC-1 (ohmsche Last) ausgelegt werden.

Beispielsweise finden Sie im Katalog DA 65.10 2003/2004 auf Seite 3/47 die empfohlene Systemkomponenten - unter anderem auch der Leistungsschütze für die Masterdrives Umrichter.

Letztlich verbleibt die Verantwortung zur Nennung von Kriterien zur Schützauswahl beim Hersteller des Frequenzumrichters, da nur dieser das Betriebsverhalten seines Produktes so genau kennt, dass er verantwortlich Produktempfehlungen oder Produktanforderungen für Schütze treffen kann.

Einsatz auf der Sekundärseite des FU:

Ein Ausgangsschütz ist in der Regel primär nicht erforderlich. Nur wenn vom Kunden ausdrücklich gewünscht, sollte ein Ausgangsschütz vorgesehen werden. Ein Ausgangsschütz ist beispielsweise erforderlich,

- wenn eine Bypass-Schaltung vorgesehen ist,
- wenn der Motor bei NOT-AUS spannungsfrei geschaltet werden soll, oder
- wenn ein Umrichter für mehrere Motoren vorgesehen ist, die wahlweise zugeschaltet werden sollen.

Auf der Ausgangsseite von Frequenzumrichtern (FU) werden Schütze üblicherweise nach Gebrauchskategorie AC-3 entsprechend des Motor-Bemessungsstroms und der dazugehörigen Spannung (wie bei Direktstart) ausgelegt. Da bei FU Spannung und Frequenz praktisch immer proportional sind, ist auch das Ausschalten der Last bei niedrigen Frequenzen für das Schütz unkritisch.

Beispiel: Bezogen auf ein Netz 400 V, 50 Hz würde bei 5 Hz nur ein Spannungswert von 40 V zutreffen. Dieser wird von einem nach AC-3 bemessenen Schütz während des Ausschaltvorgangs problemlos beherrscht.

Beachte:

Die o.g. Aussagen gelten nicht für Vakuumschütze, die zum Schalten von niedrigen Frequenzen nicht geeignet sind.

Vorgehensweise beim Abschalten von Siemens Umrichtern:

1. Not-Aus (Antrieb schnellstmöglich spannungsfrei schalten)
   Bevor das Schütz geöffnet wird, muss der Umrichter über die Wechselrichter-Freigabe / Impulssperre abgeschaltet werden (Befehl Aus 2).
2. Not-Halt (Antrieb geregelt herunterfahren)
   Soll ein Schnellhalt erfolgen, so wird der Antrieb nach einer Rampe heruntergefahren (Befehl Aus 3). Vor dem Öffnen des Schützes sollte die Impulssperre erfolgen (Befehl Aus 2).

Leistungsschalter (z. B. 3RV)

Primärseite eines Frequenzumrichters

Situation: Die Zuleitung des FU wird entweder durch Sicherungen oder durch Leistungsschalter gegen Kurzschluss und Überlast abgesichert. Hierfür sind die Schutzorgane Kurzschluss und Überlast getrennt zu betrachten:

Unverzögerte Kurzschlussauslöser (n-Auslöser)

1. Umrichter ohne Vorladewiderstände
   Wenn die Stromspitzen beim Einschalten größer sind als der Ansprechwert der Kurzschlussauslöser, wird der Leistungsschalter unverzögert abschalten. Der Leistungsschalter ist für den Einschaltstrom zu dimensionieren. Leistungsschalter für den Motorschutz beherrschen in der Regel den 11-fachen Nennstrom.
2. Umrichter mit Vorladewiderständen
   Auswahl des Leistungsschalters nach dem Nennstrom des FU.

Thermisch verzögerte Überlastauslöser (a-Auslöser)

(gilt sowohl für FU mit und ohne Vorladewiderstände)

Frequenzumrichter generieren Oberwellen, die mehr oder weniger gut gefiltert auch auf die Primärseite rückwirken können. Diese Oberwellen überlagern die Netzfrequenz und führen zu erhöhter thermischer Belastung der Überlastauslöser und Leitungen. Relevant ist der Effektivwert des Stroms. Dieser lässt sich mit Messwerkzeugen ermitteln, die für hohe Wechsel- oder Mischströme, deren Kurvenformen vom Sinus-Wechselstrom abweichen, geeignet sind (z. B. Dreheisen-Messwerke, die unabhängig von Kurvenform und Frequenz arbeiten).

TIPP:

Deshalb sollte sich der FU-Nennstrom im unteren Teil des Einstellbereichs befinden, so dass bei der Inbetriebnahme noch Einstellkorrekturen nach oben vorgenommen werden können.

Sekundärseite eines Frequenzumrichters

Beschreibung des Auslöseverhaltens bei unterschiedlichen Frequenzen von 0 Hz bis 400 Hz:

Unverzögerte Kurzschlussauslöser (n-Auslöser)

Unterschiedliche Frequenzen bewirken unterschiedliche Energiemengen in den Halbwellen. Deshalb ändert sich der Ansprechwert der unverzögerten n-Auslöser wie folgt:

- bei f =50/60 Hz: siehe technische Daten bzw. Auswahl- und Bestelldaten
- bei f = 5 Hz: - 9 %
- bei f = 25 Hz: Standard-Ansprechwert - 5 %
- bei f = 100 Hz: Standard-Ansprechwert + 10 %
- bei f = 200 Hz: Standard-Ansprechwert + 20 %
- bei f = 300 Hz: Standard-Ansprechwert + 30 %
- bei f = 400 Hz: Standard-Ansprechwert + 40 %
- bei DC: Standard-Ansprechwert + 30 %

(da bei DC nur der Effektivwert vorhanden ist).

Hinweis:

Diese Veränderungen der Ansprechwerte sind jedoch in der Praxis nicht relevant, da der n-Auslöser erst beim 11-fachen Nennstrom anspricht.

Thermisch verzögerte Überlastauslöser (a-Auslöser)
Das Auslöseverhalten ändert sich nicht in nennenswertem Umfang. Da in Frequenzumrichterkreisen Oberschwingungen vorhanden sind, die den tatsächlichen Strom-Effektivwert erhöhen, und weil erhöhte Erwärmung bedingt durch eine hohe Taktfrequenz auftritt, sollten Leistungsschalter so ausgewählt werden, dass sich der einzustellende Motor-Bemessungsstrom im unteren Bereich der Einstellskala befindet. Hierdurch werden Korrekturen während der Inbetriebnahme ohne Austausch des Leistungsschalters in den nächst höheren Einstellbereich ermöglicht.

Thermische Überlastrelais (z. B. 3RU)
Primärseite eines Frequenzumrichters
Die Zuleitung des FU wird entweder durch Sicherungen oder durch Leistungsschalter gegen Kurzschluss und Überlast abgesichert. Da Überlastrelais die angeschlossene Leitung / den Verbraucher nur gegen Überlast und nicht gegen Kurzschluss schützen, sind sie hierfür nicht geeignet.

Sekundärseite eines Frequenzumrichters
Einsatz: Wird pro Umrichter nur ein Motor angeschlossen, so wird dieser durch den FU gegen Kurzschluss und Überlast geschützt. Werden mehrere Motoren von einem Umrichter angesteuert, so muss jeder Motor einzeln gegen Überlastung geschützt sein. Hierfür sind Überlastrelais einzusetzen.
Situation: Die thermisch verzögerten Überlastrelais 3RU1 können für Frequenzen bis 400 Hz eingesetzt werden. Es muss jedoch bei der Planung beachtet werden, dass durch den Umrichter erzeugte Oberwellen den tatsächlichen Strom-Effektivwert erhöhen.

TIPP:

Deshalb sollte sich der Motor-Bemessungsstrom im unteren Teil des Einstellbereichs befinden, so dass bei der Inbetriebnahme noch Einstellkorrekturen nach oben vorgenommen werden können. Elektronische Überlastrelais können wegen der internen Stromwandler von 50 / 60 Hz abweichende Frequenzen nicht genau erfassen und sind somit ungeeignet.

Wichtige Maßnahmen gegen das ungewollte Auslösen von Leistungsschaltern und Überlastrelais
Bei Einsatz von thermischen Motorschutzgeräten hinter Frequenzumrichtern/Wechselrichtern bei gepulster Spannung ergeben sich Einflüsse auf die Schaltgeräte, die zu ungewolltem Auslösen dieser Geräte führen können. Im Folgenden werden praktische Projektierungshinweise für solche Anwendungsfälle gegeben.

Einflüsse hochfrequenter Ströme auf den thermischen Überlastauslöser von Leistungsschaltern (3RV, 3VU) und Überlastrelais (3RU, 3UA)

Der thermische Überlastauslöser von Leistungsschaltern und Überlastrelais besteht in der Regel aus einem Bimetall und einer Heizwicklung, die vom Motorstrom durchflossen und somit erwärmt werden. Bei zu großer Auslenkung des Bimetalls (zu hoher Motorstrom) erfolgt die Abschaltung des Motorstroms. Justiert werden derartige Auslöser mit einem 50 Hz Wechselstrom. Somit liegt der Auslösepunkt auch nur für Ströme, deren Wärmewirkung (Effektivwert) gleich oder ähnlich diesem Justierstrom ist, im geforderten Normbereich. Dies ist für Wechselströme von 0 bis 400 Hz und für Gleichströme der Fall.

Bei hochfrequenten Strömen, wie sie hinter Umrichtern auftreten, wird das Bimetall zusätzlich erwärmt. Dies ist zum einen auf die durch Oberwellen induzierten Wirbelströme und zum anderen auf den Skineffekt in der Heizwicklung zurückzuführen. Beides führt zu einem Ansprechen des Überlastauslösers auch bei kleineren Strömen (ungewollte Frühauslösung!).

Die Einflüsse sind von der Frequenz des Stromes abhängig. Je höher die Frequenz des Umrichters und je kleiner der Einstellbereich/Nennstrom, desto größer die Absenkung des Auslösestromes. Damit die Auslösegrenzen wieder im Normbereich liegen, muss die Einstellung des Überlastauslösers korrigiert werden. Die folgende Tabelle zeigt die Einstellkorrekturfaktoren für die unterschiedlichen Einstellbereiche in Abhängigkeit von der Pulsfrequenz des Umrichters.

Einstellbereich/ Nennstrom	Pulsfrequenz (kHz)								
	0	2	4	6	8	10	12	14	16
3,2 - 50 A	1,00	1,07	1,12	1,16	1,18	1,19	1,21	1,22	1,23
0,5 - 2,5 A	1,00	1,08	1,13	1,17	1,21	1,24	1,26	1,28	1,29
0,32 - 0,4 A	1,00	1,09	1,15	1,21	1,25	1,29	1,33	1,35	1,37
0,16 - 0,25 A	1,00	1,10	1,17	1,24	1,28	1,33	1,38	1,42	1,46

Einsatzbeispiel:

Leistungsschalter mit Einstellbereich 1,1-1,6 A hinter einem Frequenzumrichter mit Pulsfrequenz von 8 kHz und Effektivwert des Motorstromes bei Nennlast: 1,2 A.
Einstellung auf: 1,2 A x 1,21 = 1,45 A
Damit sind die Einflüsse der hochfrequenten Ströme ausgeglichen.

Einfluss langer Steuerleitungen auf das Schaltverhalten von Schützen

Sind für Steuerstromkreise von Schützen oder Relais lange Steuerleitungen erforderlich, kann es beim Schalten unter bestimmten Bedingungen zu Fehlfunktionen kommen. Diese können bewirken, dass die Schütze nicht ein- oder ausschalten.

Einschalten

Aufgrund des Spannungsfalls in langen Steuerleitungen ist es möglich, dass die anliegende Steuerspannung am Schütz unter den Schwellwert sinkt, bei dem das Schütz einschaltet. Dies betrifft sowohl gleichstrom- als auch wechselstrombetätigte Schütze.

Folgende Gegenmaßnahmen können hier erfolgen:

- Änderung der Schaltungstopologie, so dass kürze Steuerleitungen eingesetzt werden,
- Erhöhung des Leitungsquerschnitts,
- Erhöhung der Steuerspannung,
- Einsatz eines Schützes mit geringerer Anzugsleistung der Magnetspule.

Berechnung der maximalen Leitungslänge:
Die maximal zulässige einfache Leitungslänge l_{zul} lässt sich mit folgenden Gleichungen näherungsweise berechnen.

Bei Wechselspannung:

$$l_{zul} = \frac{5 \cdot U_S^2 \cdot u_{SL}}{R_{SL} \cdot S_{ein} \cdot \cos\varphi} \quad \text{(in m)}$$

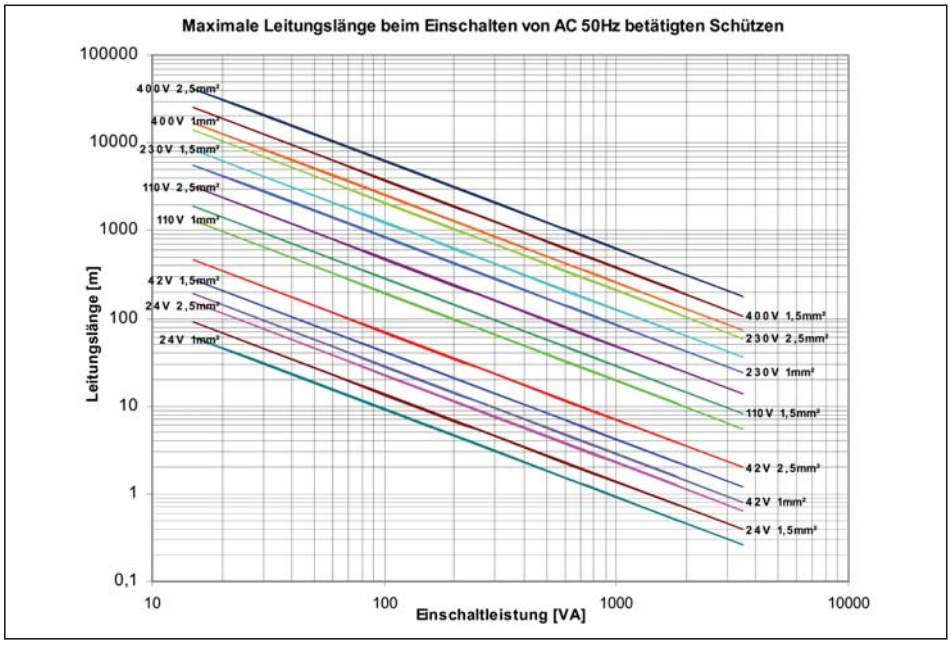
Bei Gleichspannung:

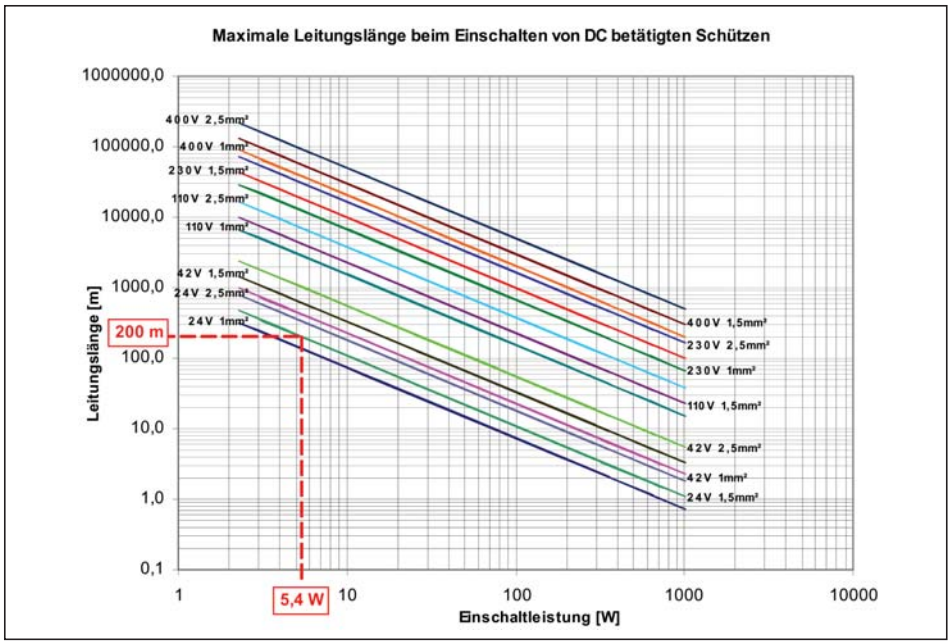
$$l_{zul} = \frac{5 \cdot U_S^2 \cdot u_{SL}}{R_{SL} \cdot P_{ein}} \quad \text{(in m)}$$

U_S	Bemessungssteuerspannung in V
R_{SL}	ohmscher Widerstand je Leiter und km der Steuerleitung in Ω/km
u_{SL}	Spannungsfall auf der Steuerleitung in %
S_{ein}, P_{ein}	Einschaltleistung des Schützes in VA/W
$\cos\varphi_{ein}$	Leistungsfaktor der Schützspule beim Einschalten

Hinweis:

Für unsere Geräte lassen wir einen maximalen Leitungsspannungsfall von u_{SL} = 5 % zu.





Beispiel:
Schütz 3RT102*, gleichstrombetätigt, 5,4 W Einschaltleistung,
Querschnitt der Steuerleitung 1,5 mm^2
Maximal zulässige Länge der Steuerleitung: 200 m bei 24 V

Ausschalten
Beim Ausschalten von wechselstrombetätigten Schützen kann es Aufgrund einer zu großen Leitungskapazität der Steuerleitung dazu kommen, dass das Schütz nicht mehr ausschaltet, wenn der Steuerstromkreis unterbrochen wird.

Folgende Gegenmaßnahmen können hier erfolgen:

- Einsatz von gleichstrombetätigten Schützen,
- Änderung der Schaltungstopologie, so dass kürze Steuerleitungen eingesetzt werden,
- Verringerung der Steuerspannung,
- Einsatz ein Schützes mit größerer Halteleistung der Magnetspule,
- Parallelschaltung eines RC - Gliedes (besondere Dimensionierung erforderlich)
- Parallelschaltung eines ohmschen Widerstandes zur Erhöhung der Halteleistung.

Bemessung des Parallelwiderstands: $R_P = \frac{1000}{C_L}$ (in Ω)

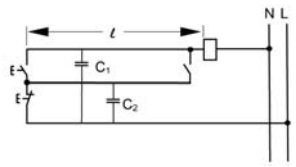
Die Leistung des Zusatzwiderstands: $P_P = \frac{U_S^2}{R_P}$ (in W),

wobei aus wirtschaftlichen Gründen $P_P < 10$ W sein sollte

Berechnung der maximalen Leitungslänge

- Bei Tasterbetätigung:

Bei der Tasterbetätigung mit einer dreiadrigen Leitung kann mit einer Leitungskapazität von 0,6 µF/km (2x 0,3 µF/km) gerechnet werden.



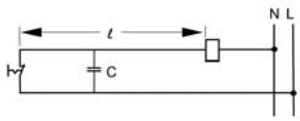
Schaltbild:
Tasterbetätigung mit einem 3-adrigen Kabel

$$l_{zul} = \frac{500 \cdot S_H}{2 \cdot 0{,}3 \cdot U_S^2} 10^3 \quad \text{(in m)}$$

U_S Bemessungssteuerspannung in V
S_H Halteleistung des Schützes in VA

- Bei Dauerkontaktgabe:

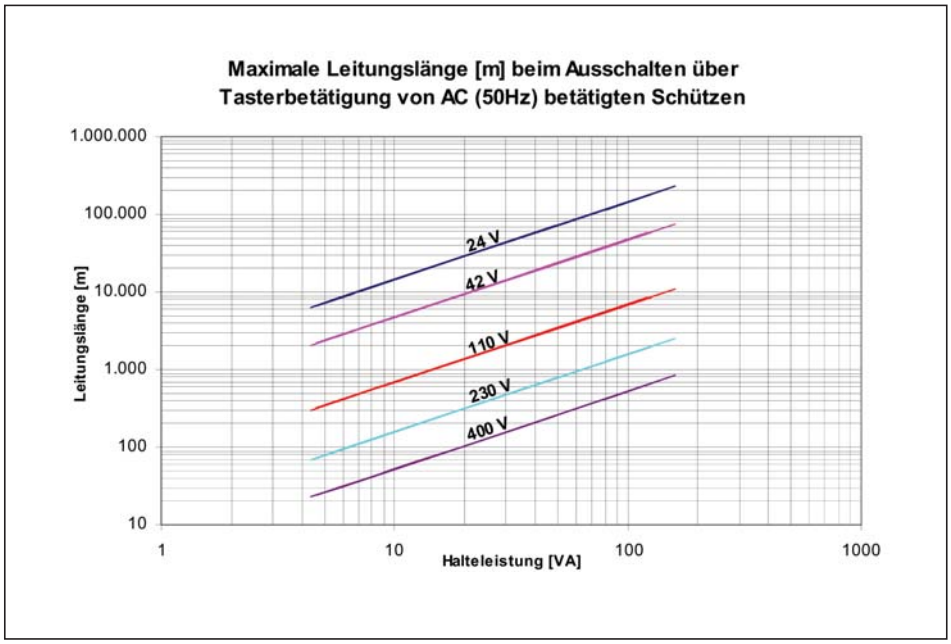
Bei der Dauerkontaktgabe mit einer zweiadrigen Leitung kann mit einer Leitungskapazität von 0,3 µF/km gerechnet werden.

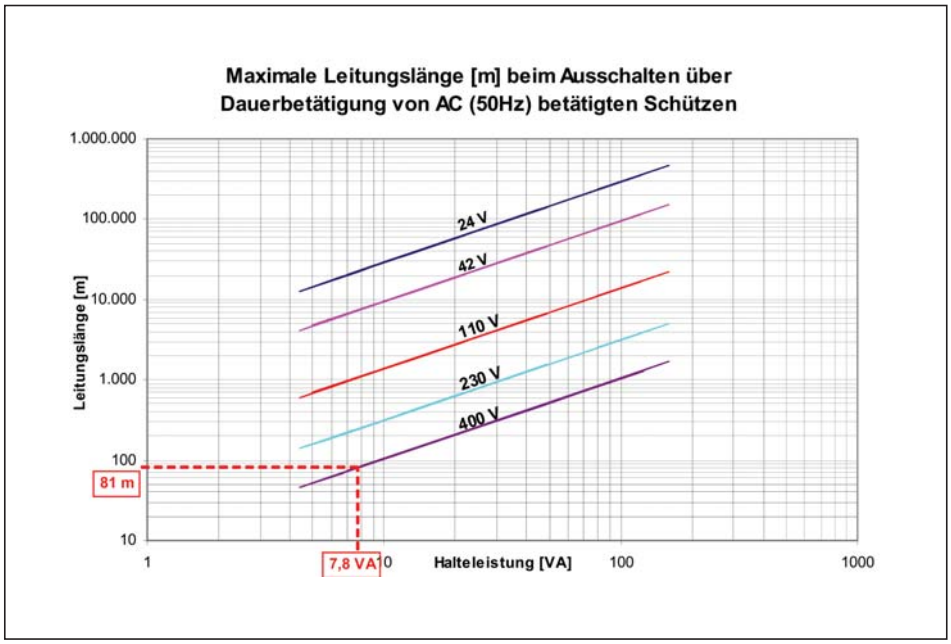


Schaltbild:
Dauerbetätigung mit einem 2-adrigen Kabel

$$l_{zul} = \frac{500 \cdot S_H}{0{,}3 \cdot U_S^2} 10^3 \quad \text{(in m)}$$

U_S Bemessungssteuerspannung in V
S_H Halteleistung des Schützes in VA





Beispiel:
Schütz 3RT102*, wechselstrombetätigt, 7,8 W Halteleistung,
Steuerspannung 400 VAC
Maximal zulässige Länge der Steuerleitung: 81 m

Automatische Drehrichtungskorrektur durch intelligente Netzüberwachung

Intelligente Netzüberwachung mit automatischer Korrektur der Drehrichtung.

Eine häufige Ursache, gerade bei ortveränderlichen Anlagen, die zum nicht Einschalten der Anlage führt, ist ein falsches Drehfeld. Mit einem Sirius-Überwachungsgerät 3UG4 kann eine falsche Phasenfolge automatisch korrigiert werden. Ein Maschinenanlauf mit falscher Drehrichtung wird vermieden und eine zeit- sowie kostenintensive Umpolung der Anschlussklemmen durch einen Installateur oder Servicetechniker kann entfallen.

Der Verbraucher wird über eine Schütz-Wende-Kombination angesteuert, welche von einem Überwachungsrelais gesteuert wird. Das Überwachungsrelais wird einfach an den drei Phasen des Versorgungsnetzes angeschlossen. Je nach Phasenlage wird automatisch das richtige Schütz angesteuert, um die korrekte Drehrichtung am Verbraucher zu erhalten.

Das Gerät kann darüber hinaus folgende Netzfehler erkennen und anzeigen: Phasenausfall, Phasenfolge, Phasenasymmetrie, Unterspannung und Überspannung.

Hinweis:

Durch die gleichzeitige Versorgung des 3UG4 Überwachungsrelais aus allen drei Phasen bleibt die volle Funktionsfähigkeit auch bei Ausfall einer beliebigen Phase erhalten.

In diesem Beispiel wird nur auf die Funktion des Überwachungsrelais eingegangen. Das betriebsmäßige Schalten des Verbrauchers erfolgt durch zwei Schütz-Ansteuerungs-Ausgänge.

Vorteile:

- Automatische Korrektur der Drehrichtung bei falscher Phasenfolge
- Frei parametrierbare Verzögerungszeiten und Resetverhalten
- Weltweiter Einsatz dank Weitspannungsversorgung (160 V-690 V)
- Schnelle Diagnose durch permanente Anzeige von Istwert und Fehlerart
- Diagnosemöglichkeit bleibt erhalten auch bei Ausfall einer Phase
- Abnehmbare Klemme mit Schraubanschluss oder alternativ mit innovativer Federzugtechnik
- Platzersparnis im Schaltschrank dank 22,5 mm Baubreite

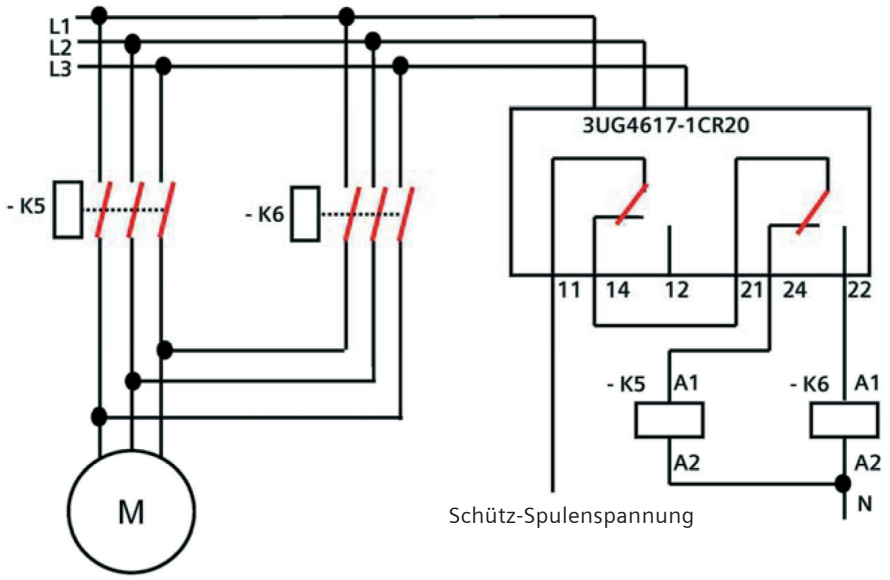


Bild 1: Das Überwachungsrelais 3UG4 wird direkt an die drei Phasen angeschlossen. An die Eingangsklemme 11 wird die notwendige Spulenspannung zur Schütz-Steuerung gelegt. Über den noch freien Ausgang 12 kann zur Fehlermeldung eine Lampe oder Hupe angesteuert werden. Der Ausgang 14 wird mit Eingang 21 verbunden.
Die beiden, vom zweiten Wechsler angesteuerten Schütze bilden die Schützwendekombination.

TIPP:

Das Schütz, das die Phasen vertauscht, muss an Ausgangsklemme 22 angeschlossen werden.

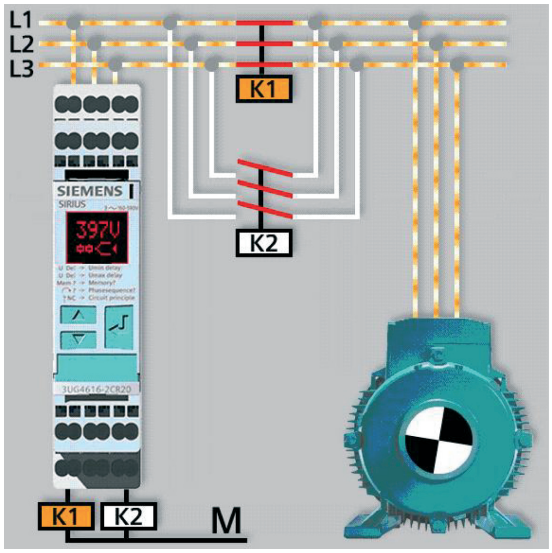


Bild 2: Fall 1 ist der Normalfall: Es liegt kein Netzfehler und keine falsche Phasenfolge vor.

Fazit:
Der Betrieb läuft normal.

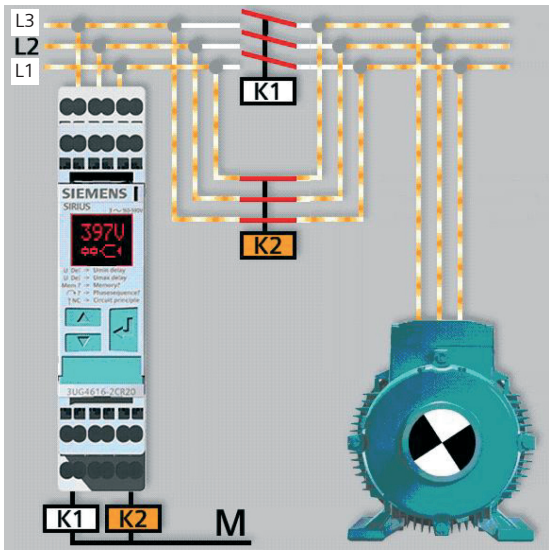


Bild 3: Fall 2 behandelt die falsche Phasenfolge: Das Gerät erkennt eine falsche Phasenfolge und korrigiert diese automatisch, sobald die Anlage ans Netz angeschlossen wird.

Fazit:
Ein Motorstart mit falscher Drehrichtung wird vermieden.

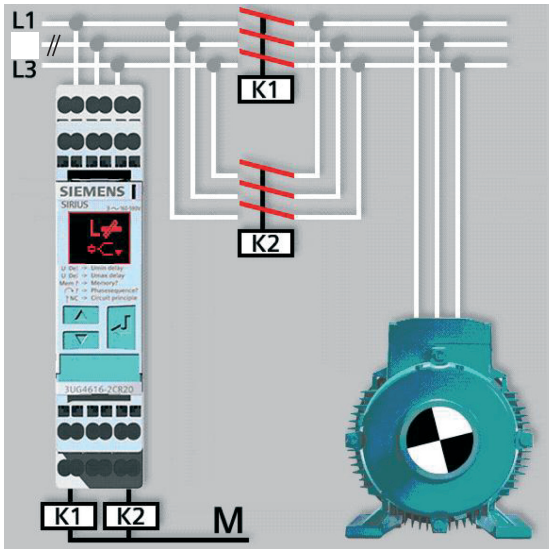


Bild 4: Fall 3 behandelt den Netzfehler:
Ein Netzfehler, in diesem Fall der Ausfall einer Phase, wird von dem Gerät erkannt und es schaltet die Schütze automatisch ab.

Fazit:
Die Diagnosemöglichkeit am Gerät bleibt trotz Ausfall einer Phase erhalten.

Überspannungsbedämpfung von Schützen

Bei Schützen ist es üblich die Schaltüberspannungen der Schützspulen durch eine Schutzbeschaltung zu bedämpfen.

Die wichtigste Ursache für das Entstehen von Überspannungen sind Schaltvorgänge in induktiven Stromkreisen, z.B. Schützspulen. Diese Überspannungen, Spannungsspitzen bis 4 kV, können sehr schnell hohe Werte erreichen; die Folgen daraus sind:

- Starker Abbrand der Kontakte und damit frühzeitiger Verschleiß der Kontakte, die die Spule schalten.
- Es können Störsignale eingekoppelt werden, die unter Umständen Fehlsignale in elektronischen Steuerungen hervorrufen und zur Zerstörung von elektronischen Baugruppen führen.

Entstehung von Überspannungen

Beim Abschalten der Schützspule entsteht die Überspannung dadurch, dass die Induktivität der Spule den Stromfluss im Moment des Ausschaltens weiter zu führen versucht, wobei sich der Stromkreis über die Eigenkapazität der Magnetspule schließt.

Strom und Spannung würden bei ausreichender Spannungsfestigkeit des Stromkreises in Form einer gedämpften Schwingung verlaufen. Aufgrund des hohen Resonanzwiderstands der abgeschalteten Spule liegen die Schwingungsamplituden im Bereich bis zu einigen kV und die Spannungsanstiege in der Größenordnung 1 kV/µs.

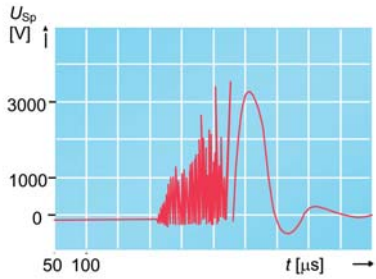


Bild 1: Abschaltüberspannung einer unbeschalteten Hilfsschütz-Magnetspule 230 V, 50 Hz, 10 VA

Das Bild 1 zeigt das Oszillogramm eines Abschaltvorgangs einer Hilfsschütz-Magnetspule, die zu einer "Schauerentladung" führt. Nach einer Schauerentladungsphase von etwa 250 µs Dauer bildet sich eine gedämpfte Schwingung mit einem Scheitelwert von ca. 3,5 kV aus. Die Schauerentladungen bewirken auch einen starken Abbrand des mechanischen Schaltkontaktes.

Ferner können wegen der großen Steilheit der entstehenden Spannungsformen auf kapazitivem Wege erhebliche Störsignale in benachbarte Systeme eingekoppelt werden. Sie machen eine Beschaltung, direkt am Entstehungsort, d.h. an der Schützspule, der Störquelle erforderlich. Somit werden auch die Überspannungen direkt am Entstehungsort verhindert und die spannungsempfindlichen elektronischen Bauelemente geschützt. Auch die kapazitive Einkopplung von Störsignalen in Steuerleitungen elektronischer Schaltungen wird vermieden.

Hinweis:

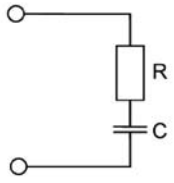
Zur Überspannungsbedämpfung sind im wesentlichen folgende Beschaltungsglieder gebräuchlich, die parallel zur Schützspule geschaltet werden:

- *RC-Glied (Widerstand und Kondensator in Reihe)*
- *Freilaufdiode, Diodenkombination*
- *Varistoren*

Beschaltung mit RC-Gliedern:

RC-Glieder werden überwiegend zur Beschaltung von wechselstrombetätigten Schützen verwendet. Der Einsatz bei gleichstrombetätigten Schützen ist auch möglich.

Bild 2: Prinzipschaltbild RC-Glied



Die Erhöhung der an der Spule wirksamen Kapazität verringert die Amplitude, auf das zwei bis dreifache der Steuerspannung sowie die Steilheit der Schaltüberspannung, so dass keine Schauerentladungen mehr auftreten. Die Spannung schwingt kurzzeitig auf 400 V und läuft dann langsam aus.
Die RC-Beschaltung schützt damit speziell *du/dt*-empfindliche Ausgangsstufen vor ungewolltem Durchschalten.

Hinweis:

Richtig ausgewählte RC-Glieder beeinflussen die Schaltzeiten der Schütze nur unwesentlich - Ausschaltzeitverzögerung unter 1 ms.

Eine optimale Bedämpfung erfordert aber eine Anpassung an die jeweilige Bemessungssteuerspannung und Bemessungsfrequenz. Deshalb müssen die RC-Glieder gemäß Katalog ausgewählt werden.

In Bild 3 ist der Spannungsverlauf bei der beschalteten Hilfsschütz-Magnetspule, aus Bild 1, mit einem passenden RC-Glied dargestellt.

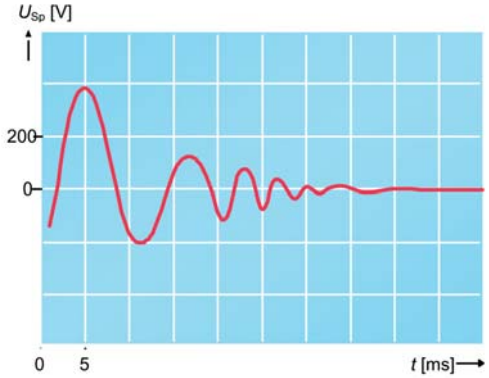


Bild 3: Abschaltüberspannung einer Hilfsschütz-Magnetspule 230 V, 50 Hz, 10 VA bei einer Beschaltung mit RC-Glied 110 Ω, 0,22 µF.

Beschaltung mit Dioden:

TIPP:

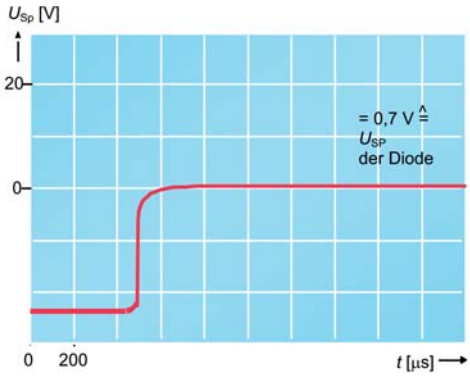
Durch Diodenbeschaltung lassen sich nur bei gleichstrombetätigten Schützen die Ausschaltüberspannungen vermeiden. Beim Anschluss ist auf die richtige Polarität zu achten.

Beschaltung mit einer Freilaufdiode:

Durch die Beschaltung mit einer Diode entstehen keine Schaltüberspannungen mehr, die Diode begrenzt auf 0,7 V. Dioden verursachen allerdings eine Verlängerung des Ausschaltverzugs, der Ausschaltzeit, um den Faktor 6 bis 9. Diese Eigenschaft kann vorteilhaft genutzt werden, wenn z.B. kurzzeitige Spannungseinbrüche im Bereich einiger Millisekunden zu überbrücken sind.
Bei Schützen ab der Baugröße 0/S0, größer als 5,5 kW, können Freilaufdioden zu einem zweistufigen Abschalten des Magnetsystems führen, was im schlimmsten Fall Kontaktverschweißungen verursachen kann. Deshalb werden Freilaufdioden hier nicht mehr empfohlen.

Bild 4: Hier ist der Spannungsverlauf bei der beschalteten Hilfsschütz-Magnetspule aus Bild 1 mit einer passenden Freilaufdiode dargestellt.

***Beispiel:** Abschaltüberspannung einer Hilfsschütz-Magnetspule 24 V DC, 3 W bei einer Beschaltung mit einer Freilaufdiode.*



Beschaltung mit einer Diodenkombination Diode/Zenerdiode:

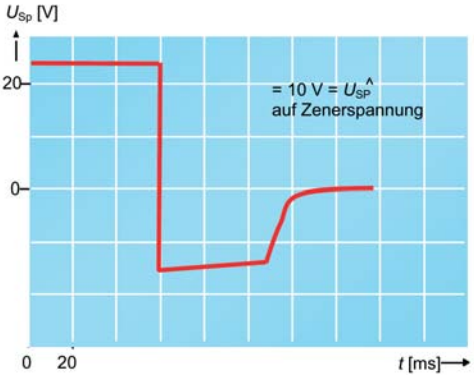
Auch bei der Beschaltung der Schützspule mit einer Diodenkombination, bestehend aus Diode und Zenerdiode, entstehen keine Schaltüberspannungen mehr; die Diodenkombination begrenzt die Spannung auf 10 V.

Hinweis:

Die Verwendung einer Diodenkombination führt allerdings zur Verlängerung des Ausschaltverzugs, der Ausschaltzeit, um den Faktor 2 bis 6.

In Bild 5 ist der Spannungsverlauf bei der beschalteten Hilfsschütz-Magnetspule aus Bild 1 mit einer passenden Diodenkombination dargestellt.

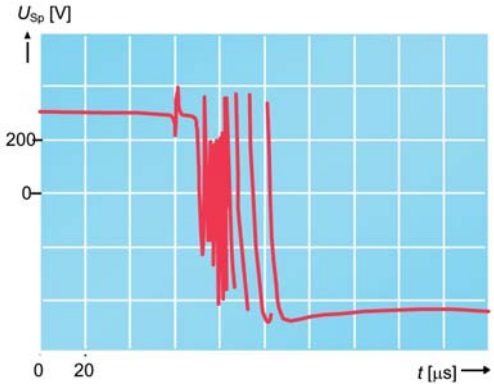
***Beispiel:** Abschaltüberspannung einer Hilfsschütz-Magnetspule 24 V DC, 3 W bei einer Beschaltung mit einer Diodenkombination.*



Beschaltung mit Varistoren:

Varistoren, spannungsabhängige Widerstände, parallel zur Spule geschaltet, begrenzen die maximale Höhe der Überspannung, da sie ab einer bestimmten Schwellenspannung leitfähig werden. Bis dahin treten Schauerentladungen, ähnlich wie bei der unbeschalteten Magnetspule auf, jedoch mit kürzerer Gesamtdauer.

Im Unterschied zum RC-Glied verringern sie nicht die Steilheit des Spannungsanstiegs. Sie sind für gleich- und wechselstrombetätigte Schütze verwendbar und beeinflussen die Schaltzeiten nur unwesentlich.



In Bild 6 ist der Spannungsverlauf bei der beschalteten Hilfsschütz-Magnetspule aus Bild 1 mit einem passenden Varistor dargestellt.

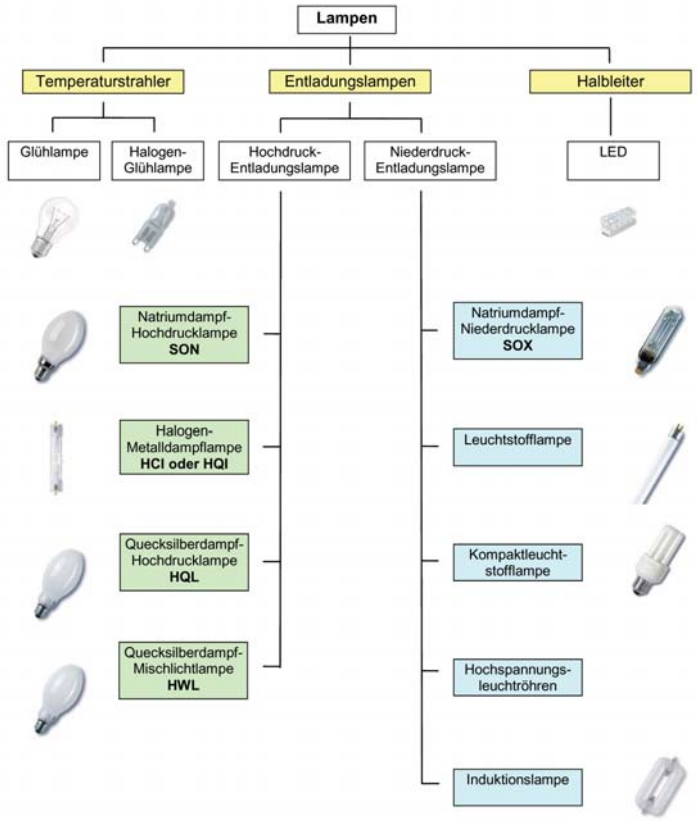
***Beispiel:** Abschaltüberspannung einer Hilfsschütz-Magnetspule 230 V, 50 Hz, 10 VA bei einer Beschaltung mit 275-V Varistor (Anfangsbereich: die Spannung wird nach etwa 3 ms zu Null).*

Tabelle 1: Übersicht mit Vor- und Nachteilen der Beschaltungsvarianten

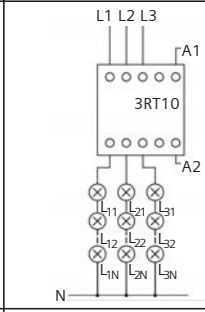
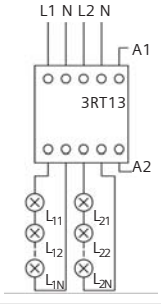
Beschaltung der Last	Steuerspeise-Spannung	zusätzliche Abfallver-zögerung	definierte Induktions-spannungs-begrenzung	Vorteile /Nachteile		bevorzugte Anwendung
Diode	DC	groß	ja (U_D)	Vorteile:	• Einfache Realisierung • Zuverlässig • Unkritische Dimensionierung • Kleine Induktionsspannung	Instabile Steuerbefehle / Steuerspeisespannung
				Nachteile:	• Hohe Abfallverzögerung • Nur für Baugröße 00 / S00 geeignet	
Dioden-kombination	DC	mittel	ja (U_{ZD})	Vorteile	• Unkritische Dimensionierung	EMV-kritische Komponenten im Umfeld
				Nachteile:	• Bedämpfung nur oberhalb von U_{ZD} (10V)	
Varistor	AC / DC	Klein 2 – 5 ms	ja (U_{VDR})	Vorteile:	• Energie – Absorption • Unkritische Dimensionierung • Einfache Realisierung	Passend für die meisten Standardanwendungen, z.B. im Umfeld von SIMATIC
				Nachteile:	• Bedämpfung nur oberhalb von U_{VDR}	
RC-Glied	AC / DC	sehr klein 1 ms	nein	Vorteile:	• HF-Dämpfung durch Energiespeicherung • Gut für Wechselspannung geeignet • Pegelunabhängige Bedämpfung	Bei kritischen Schaltzeiten
				Nachteile:	• Hoher Einschaltstrom • Empfindlich bei Oberwellen	

Lampenschalten mit Schützen

Beim Schalten von Lampen werden an die Schaltgeräte unterschiedliche Anforderungen - je nach Lampenart - gestellt. Diesem Faktor wird auch die Niederspannungs-Schaltgerätenorm DIN EN 60947 gerecht, wo beispielsweise in unterschiedliche Gebrauchskategorien zum Schalten von Gasentladungslampen [AC 5a] und zum Schalten von Glühlampen [AC 5b] unterschieden wird. Demzufolge sind bei der Projektierung von Beleuchtungsanlagen die jeweiligen Schalteigenschaften der verwendeten Leuchten zu berücksichtigen und darauf hin die Niederspannungs-Schaltgeräte auszuwählen.



Darstellung der unterschiedlichen Lampenarten.

	3-poliges Schütz	4-poliges Schütz
Schaltung		
Schütz - Varianten (Bestell-Nr.)	3RT101*; 3RT102* 3RT103*; 3RT104*	3RT131*; 3RT132* 3RT133...-4AA0 3RT134...-4AA0

Schaltungs-beispiele zum Schalten von Lampen mit Schützen.

Schalten von Temperaturstrahlern

Hinweis:

Als Temperaturstrahler werden Glühlampen und Halogenglühlampen bezeichnet.

Schalten von Glühlampen (Allgebrauchslampen)
Aufbau:
Eine Glühlampe besteht aus einem Sockel, üblicherweise mit einem Edisongewinde, einem Glaskolben und einer im Glaskolben befindlichen Glühwendel. Die Glühwendel ist ein dünner Wolframdraht. Lampen kleiner Leistung, bis 40 W, haben eine Einfachwendel und Lampen größerer Leistung, ab 40 W, eine Doppelwendel.
Um das Verbrennen der Glühwendel zu verhindern, ist der Glaskolben entweder luftleer (Vakuum) bei Lampen bis 25 W oder mit einem Schutzgas (z. B. Stickstoff-Argon) bei Lampen größer 25 W gefüllt.
Wirkungsweise:
Bei der Glühlampe wird das Licht durch Glühemission erzeugt. D.h. ein sehr dünner Wolframdraht, einige hundertstel Millimeter stark, wird durch Stromfluss auf eine Temperatur von ca. 2.700 °K gebracht und leuchtet.

Beachte:

Da die Glühwendel im kalten Zustand einen sehr kleinen ohmschen Widerstand hat, entsteht im Moment des Einschaltens eine Stromspitze, die bis zum 15-fachen Nennstrom betragen kann. Diese Einschaltstromspitze klingt innerhalb weniger Millisekunden auf den Nennstrom ab.

Schalten mit Siemens-Schützen (Gebrauchskat. AC-5b):
*Die Tabelle gibt Auskunft über die maximale Anzahl von **Glühlampen** - für Netzspannung 230 V pro Strombahn.*

Lampendaten			Schütz - Bestell-Nr.:													
P	I_e	C	3RT10..; 3RT13..							3RT10..; 3RT13...-4AA0						
[W]	[A]	[µF]	15	16	17	23	24	25	26	34	35	36	44	45	46	
25	0,11	--	53	68	68	114	114	129	190	243	305	381	495	610	724	
40	0,17	--	33	42	56	71	71	81	119	152	190	238	309	381	453	
60	0,26	--	22	28	37	47	47	54	79	101	127	159	206	254	302	
75	0,33	--	17	22	30	38	38	43	63	81	101	127	165	203	241	
100	0,43	--	13	17	22	28	28	32	47	60	76	95	123	152	181	
150	0,65	--	8	11	15	19	19	21	31	40	50	63	82	101	120	
200	0,87	--	6	8	11	14	14	16	23	30	38	47	61	76	90	
300	1,30	--	4	5	7	9	9	10	15	20	25	31	41	50	60	
500	2,17	--	2	3	4	5	5	6	9	12	15	19	24	30	36	
750	3,26	--	1	2	3	3	3	4	6	8	10	12	16	20	24	
1000	4,35	--	1	1	2	2	2	3	4	6	7	9	12	15	18	

Schaltverhalten:
Das Schaltgerät/Schütz muss in der Lage sein, den hohen Einschaltstrom der Glühlampe führen zu können. Demzufolge muss das Einschaltvermögen des Schützes größer als die Einschaltstromspitze der Glühlampe sein.

Schalten von Halogenglühlampen
Aufbau:
Der Aufbau der Halogenglühlampe ist der gleiche wie bei der normalen Glühlampe. Allerdings ist dem Schutzgas Jod oder Brom, beides Halogene, zugefügt.
Mittlerweile werden diese Lampen auch in 230 V-Ausführung angeboten.

Wirkungsweise:
Auch die Wirkungsweise gleicht der der Glühlampe. Die Zugabe des Halogens, Jod oder Brom, bewirkt aber eine Steigerung der Lebensdauer auf 2.000 bis 4.000 Stunden bei einer Betriebstemperatur von ca. 3.100 °K.

Die Vorteile gegenüber der Glühlampe sind:
- höherer Lichtstrom
- höhere Lebensdauer (2.000 h anstatt 1.000 h)
- kaum feststellbarer Lichtstromrückgang während der Alterung.
- darüber hinaus ist das Licht der Halogen-Glühlampe brillanter.

Schaltverhalten:
Gleiches Schaltverhalten wie die normale Glühlampe; das heißt auch hier kann eine Stromspitze bis zum 15-fachen des Nennstroms betragen.

Schalten mit Siemens-Schützen (Gebrauchskat. AC-5b):
*Die Tabelle gibt Auskunft über die maximale Anzahl von **Halogenglühlampen** - für Netzspannung 230 V pro Strombahn.*

Lampendaten			Schütz - Bestell-Nr.:													
P	I_e	C	3RT10..; 3RT13..							3RT10..; 3RT13...-4AA0						
[W]	[A]	[µF]	15	16	17	23	24	25	26	34	35	36	44	45	46	
25	0,11	--	53	68	68	114	114	129	190	243	305	381	495	610	724	
40	0,17	--	33	42	56	71	71	81	119	152	190	238	309	381	453	
60	0,26	--	22	28	37	47	47	54	79	101	127	159	206	254	302	
75	0,33	--	17	22	30	38	38	43	63	81	101	127	165	203	241	
100	0,43	--	13	17	22	28	28	32	47	60	76	95	123	152	181	
150	0,65	--	8	11	15	19	19	21	31	40	50	63	82	101	120	
200	0,87	--	6	8	11	14	14	16	23	30	38	47	61	76	90	
300	1,30	--	4	5	7	9	9	10	15	20	25	31	41	50	60	
500	2,17	--	2	3	4	5	5	6	9	12	15	19	24	30	36	
750	3,26	--	1	2	3	3	3	4	6	8	10	12	16	20	24	
1000	4,35	--	1	1	2	2	2	3	4	6	7	9	12	15	18	
1500	6,52	--	0	1	1	1	1	2	3	4	5	6	8	10	12	
2000	8,70	--	0	0	0	1	1	1	2	3	3	4	6	7	9	

Schalten von Gasentladungslampen

Aufbau:
Alle Gasentladungslampen bestehen aus einem Entladungsgefäß, meist röhrenförmig. Dieses ist aus Glas bei Niederdrucklampen, Quarzglas oder Aluminiumoxid-Keramik bei Hochdrucklampen.
An den beiden Enden des Entladungsgefäßes befinden sich Elektroden zwischen denen ein elektrisches Feld aufgebaut wird.

Bezüglich des Betriebsdrucks im Entladungsgefäß unterscheidet man in:

- Niederdruck-Entladungslampen mit einem Druck bis 1 Pa (10^{-5} bar); Leuchtstofflampe, Kompaktleuchtstofflampe, Induktionslampe, Natriumdampf-Niederdrucklampe

- Hochdruck-Entladungslampen mit einem Druck bis 1 MPa (10 bar); Halogen-Metalldampflampe, Natriumdampf- und Quecksilberdampf-Hochdrucklampe.

Wirkungsweise:
Alle Gasentladungslampen funktionieren nach dem gleichen Prinzip. Das Licht wird durch einen Entladungsvorgang in ionisierten Gasen, meist Metalldämpfe und/oder Edelgase in einem Entladungsgefäß erzeugt.

Üblicherweise werden Entladungslampen mit Wechselstrom betrieben, wobei theoretisch auch ein Gleichstrombetrieb möglich wäre. Aufgrund eines einseitigen Elektrodenabbrandes sowie hoher Verluste am Gleichstrom-Vorschaltgerät wird der Gleichstrombetrieb von Entladungslampen jedoch nicht angewendet, Ausnahme: elektronische Vorschaltgeräte mit einem Brückengleichrichter eingangsseitig.

Hinweis:

Da Entladungslampen eine negative Strom-Spannungs-Kennlinie haben, müssen sie mit einem Vorschaltgerät betrieben werden.
Dieses Vorschaltgerät muss folgende Funktionen erfüllen:

- *Ausreichende Vorheizung der Lampenelektroden erlauben.*
- *Zum Zünden eine ausreichend große Spannungsspitze erzeugen, meist mit Hilfe eines Starters (Niederdruck-Entladungslampen).*
- *Einstellen des richtigen Lampenstroms.*

Zusätzlich benötigen einige Gasentladungslampen ein Zündgerät, mit dem eine Spannungsspitze zum Zünden der Gasentladung erzeugt wird.

Schalten von Leuchtstofflampen

Man unterscheidet hier prinzipiell zwei verschiedene Vorschaltgeräte, das konventionelle [KVG], das verlustarme [VVG] und das elektronische [EVG] Vorschaltgerät.

1. KVG - konventionelles Vorschaltgerät (induktives Vorschaltgerät für Einzelbetrieb)
   Das Hauptelement eines konventionellen Vorschaltgeräts (KVG) für Leuchtstofflampen ist eine Drossel, ein mit Kupferdraht umwickelter geblechter Eisenkern.
   Um den Strom zu begrenzen, ist das KVG in Reihe zur Leuchtstofflampe geschaltet. Zusätzlich wird bei Leuchtstofflampen auch noch ein Starter, parallel zur Leuchte, benötigt. Dieser Starter, meist ein Glimmstarter, heizt die Glühkathoden beim Start vor. Nach einer kurzen Zeit, wenn die Glühkathoden aufgeheizt sind, öffnet der Kontakt des Glimmstarters und es wird in der Drosselspule eine hohe Induktionsspannung zum Zünden der Lampe erzeugt.

2. VVG - verlustarmes Vorschaltgerät (induktives Vorschaltgerät für Einzelbetrieb)
   Die Funktionsweise gleicht dem des KVGs. Der Unterschied zum KVG ist, dass die Verluste der Drosselspule durch den Einsatz von verlustarmem Eisen und mehr Kupfer um ca. 35 % gesenkt werden können.

Schalten mit Siemens-Schützen (Gebrauchskat. AC-5a):
*Die Tabelle gibt Auskunft über die maximale Anzahl von **Leuchten** für eine Netzspannung von 220 V - 230 V (**DC-Betrieb**) mit drei Strombahnen in Reihe.*

Lampendaten			Schütz - Bestell-Nr.:													
P	I_e	C	3RT10..; 3RT13..							3RT10..; 3RT13...-4AA0						
[W]	[A]	[µF]	15	16	17	23	24	25	26	34	35	36	44	45	46
EVG, einlampig																
18	0,09	6,8	54	70	70	116	116	132	194	248	311	388	505	622	728
36	0,18	6,8	27	35	35	58	58	66	97	124	155	194	252	311	369
58	0,29	10	16	21	21	36	36	41	60	77	96	120	156	193	229
80	0,43	10	11	14	14	24	24	27	40	52	65	81	105	130	154
EVG, zweilampig																
2x 18	0,18	10	27	35	35	58	58	66	97	124	155	194	252	311	369
2x 36	0,35	10	14	18	18	30	30	34	50	64	80	100	130	160	190
2x 58	0,57	22	8	11	11	18	18	20	30	39	49	61	79	98	116
2x 80	0,86	22	5	7	7	12	12	13	20	26	32	40	52	65	77

Beachte:

Der Verkauf von KVG mit der Energieklasse D ist in der EU seit dem 21. Mai 2002 verboten, der von Geräten aus Klasse C seit dem 21. Nov. 2005. Somit ist nur noch der Vertrieb von Geräten der Klassen B1/B2 , verlustarme Vorschaltgeräte, erlaubt.

3. EVG - Elektronisches Vorschaltgerät
   Das elektronische Vorschaltgerät ist heute das Standard-Vorschaltgerät für Leuchtstofflampen. Durch den Einsatz moderner Leistungselektronik sind die elektronischen Vorschaltgeräte besonders verlustarm.

Schalten mit Siemens-Schützen (Gebrauchskat. AC-5a):
*Die Tabelle gibt Auskunft über die maximale Anzahl von **Leuchten** für eine Netzspannung von 230 V/50 Hz (**AC-Betrieb**) pro Strombahn.*

Lampendaten			Schütz - Bestell-Nr.:													
P	I_e	C	3RT10..; 3RT13..							3RT10..; 3RT13...-4AA0						
[W]	[A]	[µF]	15	16	17	23	24	25	26	34	35	36	44	45	46	
KVG unkompensiert, einlampig																
18	0,37	--	54	59	59	108	108	108	108	135	162	162	270	324	324	
36	0,43	--	46	51	51	93	93	93	93	116	139	139	232	279	279	
58	0,67	--	29	32	32	59	59	59	59	74	89	89	149	179	179	
80	0,79	--	25	27	27	50	50	50	50	63	75	75	126	151	151	
KVG parallelkompensiert, einlampig																
11	0,08	4,5	17	22	22	37	37	41	61	78	98	123	160	197	234	
18	0,11	4,5	17	22	22	37	37	41	61	78	98	123	160	197	234	
36	0,21	4,5	15	21	21	30	30	30	51	78	98	123	160	197	234	
58	0,32	7	10	14	14	20	20	20	33	50	63	79	103	126	150	
80	0,49	7	6	9	9	13	13	13	22	50	63	73	103	126	146	
KVG Duoschaltung (= Reihenkompensation), zweilampig																
2x 11	0,15	--	133	146	146	266	266	266	266	333	400	400	666	800	800	
2x 18	0,22	--	90	100	100	181	181	181	181	227	272	272	454	545	545	
2x 36	0,42	--	47	52	52	95	95	95	95	119	142	142	238	285	285	
2x 58	0,63	--	31	34	34	63	63	63	63	79	95	95	158	190	190	
2x 80	0,87	--	22	25	25	45	45	45	45	57	68	68	114	137	137	
EVG, einlampig																
18	0,10	6,8	49	63	63	105	105	119	175	224	280	350	455	560	665	
36	0,18	6,8	27	35	35	58	58	66	97	124	155	194	252	311	369	
58	0,29	10	16	21	21	36	36	41	60	77	96	120	156	193	229	
80	0,43	10	11	14	14	24	24	27	40	52	65	81	105	130	154	
EVG, zweilampig																
2x 18	0,18	10	27	25	25	58	58	66	97	124	155	194	252	311	369	
2x 36	0,35	10	14	18	18	30	30	34	50	64	80	100	130	160	190	
2x 58	0,52	22	9	12	12	20	20	22	33	43	53	67	87	107	127	
2x 80	0,86	22	5	7	7	12	12	13	20	26	32	40	52	65	77	

Die Vorteile der Elektronischen Vorschaltgeräte gegenüber KVG/VVG sind:
- Geringere Leistungsaufnahme gegenüber konventionellem Betrieb.
- Längere Lebensdauer durch definierten Startbetrieb.
- Geringerer Lichtstromrückgang während der Lebensdauer.
- Gleichstrombetrieb möglich, dadurch problemloser Einsatz für Notbetrieb.
- Keine Kompensation notwendig, da der Leistungsfaktor cos $\varphi \approx 0{,}95$ kapazitiv ist.

Schaltverhalten:
Kurzzeitige Einschaltstromspitze, 210 µs, bis zum 10-fachen des Nennstroms, bedingt durch den Speicherkondensator.

Schalten von Kompaktleuchtstofflampen

Kompaktleuchtstofflampen, umgangssprachlich auch Energiesparlampen genannt, verdrängen mehr und mehr die klassischen Glühlampen bei der Allgemeinbeleuchtung im Privathaushalt, Gewerbe sowie in der Industrie. Möglich wird dies durch die Anpassung der elektronischen Vorschaltgeräte an besondere Betriebsbedingungen. So entwickelte zum Beispiel Osram eine spezielle Kompaktleuchtstofflampe [DULUX EL FACILITY] als Treppenhausbeleuchtung, die für diesen Einsatzzweck besondere Eigenschaften besitzt:
- Eine lange Lebensdauer (15.000 h),
- Schneller Lichtstromanlauf,
- Für sehr hohe Schalthäufigkeit ausgelegt,
- Keine Beachtung von Schaltzyklen notwendig,
- Uneingeschränkt auch für Gleichspannungsanwendungen (Notstrom) anwendbar.

Da die Kompaktleuchtstofflampe ein integriertes EVG und auch ein Edisongewinde E14 oder E27 besitzt, kann sie direkt gegen Glühlampen getauscht werden.
Heute werden Kompaktleuchtstofflampen in zwei Ausführungen geliefert.
1) Die Kompaktleuchtstofflampe und das EVG sind in einem Gehäuse integriert und besitzen in der Regel ein Edisongewinde.
2) Die Kompaktleuchtstofflampe und das Vorschaltgerät sind zwei getrennte Einheiten. Hier ist ein Austausch der Leuchtröhre möglich.

Schaltverhalten:
Das Einschaltverhalten der Kompaktleuchtstofflampen ist vergleichbar mit Leuchtstofflampen mit EVG; das heißt kurzzeitige, 210 µs, Einschaltstromspitze bis zum 10-fachen des Nennstroms, bedingt durch den Speicherkondensator.

Schalten mit Siemens-Schützen (Gebrauchskat. AC-5a):
Die Tabelle gibt Auskunft über die maximale Anzahl von ***Leuchten*** *für eine Netzspannung von 230 V / 50 Hz (AC-Betrieb) pro Strombahn.*

Lampendaten			Schütz - Bestell-Nr.:													
P	I_e	C	3RT10..; 3RT13..							3RT10..; 3RT13...-4AA0						
[W]	[A]	[µF]	15	16	17	23	24	25	26	34	35	36	44	45	46	
DULUX EL, EVG integriert																
5	0,04	--	122	157	157	262	262	297	437	560	700	875	1137	1400	1662	
7	0,05	--	89	114	114	190	190	216	318	407	509	636	827	1018	1209	
11	0,09	--	54	70	70	116	116	132	194	248	311	388	505	622	738	
15	0,12	--	40	52	52	87	87	99	145	186	233	291	379	466	554	
20	0,16	--	30	39	39	65	65	74	109	140	175	218	284	350	415	
23	0,18	--	26	34	34	56	56	64	94	121	151	189	245	302	359	
DULUX L, System aus Kompaktleuchtstofflampe plus Vorschaltgerät																
18	0,09	--	54	70	70	116	116	132	194	248	311	388	505	622	738	
24	0,12	--	40	52	52	87	87	99	145	186	233	291	379	466	554	
36	0,15	--	32	42	42	70	70	79	116	149	186	233	303	373	443	
40	0,19	--	25	33	33	55	55	62	92	117	147	184	239	294	350	
55	0,28	--	17	22	22	37	37	42	62	80	100	125	162	200	237	
80	0,37	--	13	17	17	28	28	32	17	60	75	94	122	151	179	
DULUX F, System aus Kompaktleuchtstofflampe plus Vorschaltgerät																
18	0,09	--	54	70	70	116	116	132	194	248	311	388	505	622	738	
24	0,12	--	40	52	52	87	87	99	145	186	233	291	379	466	554	
36	0,15	--	32	42	42	70	70	79	116	149	186	233	303	373	443	
DULUX T/E PLUS, System aus Kompaktleuchtstofflampe plus Vorschaltgerät																
13	0,07	--	70	90	90	150	150	170	250	320	400	500	650	800	950	
18	0,10	--	49	63	63	105	105	119	175	224	280	350	455	560	665	
26	0,12	--	40	52	52	87	87	99	145	186	233	291	379	466	554	
32	0,15	--	32	42	42	70	70	79	116	149	186	233	303	373	443	
42	0,20	--	24	31	31	52	52	59	87	112	140	175	227	280	332	
57	0,28	--	17	22	22	37	37	42	62	80	100	125	162	200	237	
70	0,35	--	14	18	18	30	30	34	50	64	80	100	130	160	190	
DULUX S/E, System aus Kompaktleuchtstofflampe plus Vorschaltgerät																
5	0,04	--	132	170	170	283	283	321	472	605	756	945	1229	1513	1797	
7	0,04	--	111	143	143	238	238	270	397	509	636	795	1034	1272	1511	
9	0,05	--	102	131	131	218	218	247	364	466	583	729	947	1166	1385	
11	0,06	--	77	100	100	166	166	188	277	355	444	555	722	888	1055	
DULUX D/E, System aus Kompaktleuchtstofflampe plus Vorschaltgerät																
10	0,06	--	81	105	105	175	175	198	291	373	466	583	758	933	1108	
13	0,07	--	70	90	90	150	150	170	250	320	400	500	650	800	950	
18	0,10	--	49	63	63	105	105	119	175	224	280	350	455	560	665	
26	0,12	--	40	52	52	87	87	99	145	186	233	291	379	466	554	

Schalten von Hochdruck - Entladungslampen

Zu den Hochdruck-Entladungslampen gehören Natriumdampf- und Quecksilberdampf-Hochdrucklampen sowie Halogen-Metalldampflampen. Hochdruck-Entladungslampen arbeiten in ihrem kleinvolumigen Entladungsgefäß (Brenner) mit Drücken von 0,3 bar bis 10 bar. Der hohe Druck wird erreicht durch den schnellen Temperaturanstieg im Inneren des Entladungsgefäßes, was zum Verdampfen der Füllbestandteile führt. Ausgelöst wird dieser Prozess durch eine hohe Stromdichte an den Elektroden-Enden, was dazu führt, dass die Niederdruck-Entladung beim Start direkt in eine Bogenentladung übergeht.

Schalten von Natriumdampf-Hochdrucklampen, SON

Natriumdampf-Hochdrucklampen haben mit die höchste Lichtausbeute unter allen Hochdruck-Gasentladungslampen, bis zu 150 lm/W. Mittlerweile gibt es spezielle Ausführungen, bei welchen in der Lampe bereits ein elektronisches Vorschaltgerät, EVG, integriert ist. Andere Ausführungen sind speziell für die Pflanzenaufzucht optimiert, sie enthalten einen höheren Blaulichtanteil.

Schalten mit Siemens-Schützen (Gebrauchskat. AC-5a):
*Die Tabelle gibt Auskunft über die maximale Anzahl von **Leuchten** für eine Netzspannung von 230 V / 50 Hz (AC-Betrieb) pro Strombahn.*

Lampendaten			Schütz - Bestell-Nr.:													
P	I_e	C	3RT10..; 3RT13..							3RT10..; 3RT13...-4AA0						
[W]	[A]	[µF]	15	16	17	23	24	25	26	34	35	36	44	45	46	
Natriumdampf-Hochdrucklampe, unkompensiert																
50	0,80	--	12	13	13	25	25	25	25	31	37	37	62	75	75	
70	0,98	--	10	11	11	20	20	20	20	25	30	30	51	61	61	
100	1,20	--	8	9	9	16	16	16	16	20	25	25	41	50	50	
150	1,80	--	5	6	6	11	11	11	11	13	16	16	27	33	33	
250	3,00	--	3	3	3	6	6	6	6	8	10	10	16	20	20	
400	4,45	--	2	2	2	4	4	4	4	5	6	6	11	13	13	
600	6,20	--	0	1	1	3	3	3	3	4	4	4	8	9	9	
1000	10,3	--	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	4	5	5	
Natriumdampf-Hochdrucklampe, parallelkompensiert und Leuchten mit EVG																
50	0,50	10	7	9	9	16	16	18	27	35	44	55	72	88	105	
70	0,60	12	6	8	8	13	13	15	23	29	37	46	60	74	87	
100	0,70	12	6	8	8	13	13	15	23	29	37	42	60	74	85	
150	1,00	20	3	4	4	8	8	9	13	17	22	27	36	44	52	
250	1,50	32	2	3	3	5	5	5	8	11	13	17	22	27	32	
400	2,50	45	1	2	2	3	3	4	6	7	9	12	16	19	23	
600	3,30	65	1	1	1	2	2	2	4	5	6	8	11	13	16	
1000	6,00	100	0	0	0	1	1	1	2	3	4	5	7	8	10	

Schaltverhalten:
Während des 6 bis 10-minütigen Anlaufs fließt ein Anlaufstrom der ca. 25 % über dem Nennstrom liegt.

Ausführung	Beschreibung	Eigenschaften
Natriumdampf-Hochdrucklampe, ellipsoidform	Ellipsoidform mit beschichtetem Außenkolben	• 50 W bis 1.000 W • Lichtausbeute 135 lm/W • Edisongewinde E27 bzw. E40
Natriumdampf-Hochdrucklampe, soffittenform	Soffittenform mit klarem Kolben	• 70 W bis 400 W • Lichtausbeute bis 120 lm/W • Zweiseitig gesockelt
Natriumdampf-Hochdrucklampe, röhrenform	Röhrenform mit klarem Kolben	• 50 W bis 1.000 W • Lichtausbeute bis 150 lm/W • Edisongewinde E27 bzw. E40

Ausführung, Beschreibung und Eigenschaften von Natrium-Hochdrucklampen, SON.

Schalten von Quecksilberdampf - Hochdrucklampen, HQL

Schalten mit Siemens-Schützen (Gebrauchskat. AC-5a):
*Die Tabelle gibt Auskunft über die maximale Anzahl von **Leuchten** für eine Netzspannung von 230 V / 50 Hz (AC-Betrieb) pro Strombahn.*

Lampendaten			Schütz - Bestell-Nr.:													
P	I_e	C	3RT10..; 3RT13..							3RT10..; 3RT13...-4AA0						
[W]	[A]	[µF]	15	16	17	23	24	25	26	34	35	36	44	45	46	
Quecksilberdampf-Hochdrucklampe, unkompensiert																
50	0,61	--	16	18	18	32	32	32	32	40	49	49	81	98	98	
80	0,80	--	12	13	13	25	25	25	25	31	37	37	62	75	75	
125	1,15	--	8	9	9	17	17	17	17	21	26	26	43	52	52	
250	2,15	--	4	5	5	9	9	9	9	11	13	13	23	27	27	
400	3,25	--	3	3	3	6	6	6	6	7	9	9	15	18	18	
700	5,40	--	1	2	2	3	3	3	3	4	5	5	9	11	11	
1000	7,50	--	0	1	1	2	2	2	2	3	4	4	6	8	8	
Quecksilberdampf-Hochdrucklampe, parallelkompensiert und Leuchten mit EVG																
50	0,27	7	11	14	14	23	23	26	39	50	63	79	103	126	150	
80	0,41	8	9	12	12	20	20	23	34	44	55	69	90	111	131	
125	0,62	10	7	9	9	16	16	18	27	35	44	48	72	88	96	
250	1,21	18	4	5	5	9	9	10	15	19	24	24	40	49	49	
400	1,93	25	3	3	3	6	6	7	10	12	15	15	25	31	31	
700	3,34	40	0	2	2	4	4	4	5	7	8	8	14	17	17	
1000	4,75	60	0	0	0	2	2	3	4	5	6	6	10	12	12	

Quecksilberdampf - Hochdrucklampen zeichnen sich durch eine lange Lebensdauer sowie einer relativ hohen Lichtausbeute, bis 60 lm/W, aus. Da sie kein separates Zündgerät benötigen, ist die Installation relativ einfach.

Schaltverhalten:
Während des zirka 5-minütigen Anlaufs fließt ein Anlaufstrom, der ca. 40 % über dem Nennstrom liegt.

Schalten von Halogen-Metalldampflampen, HCI / HQI

Die Halogen-Metalldampflampen sind eine Weiterentwicklung der Quecksilberdampf-Hochdrucklampen. Halogen-Metalldampflampen zeichnen sich durch sehr gute Farbwiedergabeeigenschaften sowie eine hohe Lichtausbeute, bis 100 lm/W, aus.

Schaltverhalten:
Während des 3- bis 5-minütigen Anlaufs fließt ein Anlaufstrom, der 40 % über dem Nennstrom liegt.

Schalten mit Siemens-Schützen (Gebrauchskat. AC-5a):
Die Tabelle gibt Auskunft über die maximale Anzahl von ***Leuchten*** *für eine Netzspannung von 230 V / 50 Hz (AC-Betrieb) pro Strombahn.*

Lampendaten			Schütz - Bestell-Nr.:													
P	I_e	C	3RT10..; 3RT13..							3RT10..; 3RT13...-4AA0						
[W]	[A]	[µF]	15	16	17	23	24	25	26	34	35	36	44	45	46	
Halogen-Metalldampflampe, unkompensiert																
35	0,50	--	20	22	22	40	40	40	40	50	60	60	100	120	120	
70	1,00	--	10	11	11	20	20	20	20	25	30	30	50	60	60	
100	1,10	--	9	10	10	18	18	18	18	22	27	27	45	54	54	
150	1,80	--	5	6	6	11	11	11	11	13	16	16	27	33	33	
250	3,00	--	3	3	3	6	6	6	6	8	10	10	16	20	20	
400	3,50	--	2	3	3	5	5	5	5	7	8	8	14	17	17	
1000	9,50	--	0	0	0	2	2	2	2	2	3	3	5	6	6	
Halogen-Metalldampflampe, parallelkompensiert und Leuchten mit EVG																
35	0,30	6	12	16	16	27	27	31	46	59	74	92	120	148	175	
70	0,50	12	6	8	8	13	13	15	23	29	37	46	60	74	87	
100	0,60	16	4	6	6	10	10	11	17	22	27	34	45	55	65	
150	1,00	20	3	4	4	8	8	9	13	17	22	27	36	44	52	
250	1,50	32	2	3	3	5	5	5	8	11	13	17	22	27	32	
400	1,75	35	2	2	2	4	4	5	7	10	12	15	20	25	30	
1000	6,00	85	0	0	0	1	1	2	3	4	5	5	8	10	10	

Ausführung	Beschreibung	Eigenschaften
Halogen-Metalldampflampe, kompaktform	Kompaktform	• 35 W bis 400 W • Lichtausbeute 100 lm/W • Stecksockel GU6,5, G8,5 G12 oder G22
Halogen-Metalldampflampe, ellipsoidform	Ellipsoidform mit beschichtetem oder klarem Außenkolben	• 35 W bis 1.000 W • Lichtausbeute 100 lm/W • Edisongewinde E27 bzw. E40
Halogen-Metalldampflampe, soffittenform	Soffittenform mit klarem Kolben	• 70 W bis 2.000 W • Lichtausbeute bis 100 lm/W • Zweiseitig gesockelt
Halogen-Metalldampflampe, röhrenform	Röhrenform mit klarem Kolben	• 70 W bis 2.000 W • Lichtausbeute bis 100 lm/W • Edisongewinde E27 bzw. E40

Bei Halogen-Metalldampflampen gibt es unterschiedliche Ausführungen.

Schalten von Mischlichtlampen, HWL

Mischlichtlampen sind eine Sonderform der Quecksilberdampf-Hochdrucklampen. Bei diesen Lampen ist eine Glühwendel dem Brenner, in Reihe, vorgeschaltet. Da die Glühwendel die Funktion des Vorschaltgeräts zur Strombegrenzung übernimmt, ist ein Vorschaltgerät nicht erforderlich. Somit können die Mischlichtlampen direkt an 230 V betrieben werden.

Schaltverhalten:
Gleiches Schaltverhalten wie die normale Glühlampe, das heißt auch hier kann eine Stromspitze bis zum 15-fachen Nennstrom betragen.

Schalten mit Siemens-Schützen (Gebrauchskat. AC-5b):
*Die Tabelle gibt Auskunft über die maximale Anzahl von **Mischlichtlampen** für eine Netzspannung von 230 V pro Strombahn.*

Lampendaten			Schütz - Bestell-Nr.:													
P	I_e	C	3RT10..; 3RT13..							3RT10..; 3RT13...-4AA0						
[W]	[A]	[µF]	15	16	17	23	24	25	26	34	35	36	44	45	46
160	0,8	--	7	9	9	15	15	17	25	33	41	51	67	83	98
250	1,2	--	4	6	6	10	10	11	17	22	27	34	44	55	65
500	2,4	--	1	3	3	5	5	5	8	11	13	17	22	27	32

Lampenart	Anwendung	Beispiel Osram
Glühlampe	private Haushalte, allgemeine Beleuchtung	CLAS A CL75
Halogenglühlampe	meist als 12 V - Ausführung für Spotbeleuchtung von definierten Bereichen, neuerdings auch für 230 V erhältlich	HALOPAR®
Leuchtstofflampe	Beleuchtung in Büro, Fertigung und Verkauf	LUMILUX® T5
Kompaktleuchtstofflampe	private Haushalte, allgemeine Beleuchtung	DULUX®
Hochspannungsleuchtstoffröhren	Reklame “Neonwerbung”	--
Induktionslampen	Außenbeleuchtung, Tunnelbeleuchtung	ENDURA
Natriumdampf-Niederdrucklampe	Beleuchtung von Tunnel, Wasserstraßen und Schleusen	SOX
Natriumdampf-Hochdrucklampe	Straßenbeleuchtung, Tunnelbeleuchtung, Anstrahlung von Gebäuden	SON
Halogen-Metalldampflampe	Straßenbeleuchtung, Flutlichtanlagen, Anstrahlung von Bauwerken, Beleuchtung großer Hallen	HPI oder HCI
Quecksilberdampf-Hochdrucklampe	Straßenbeleuchtung, Werkshallenbeleuchtung	HQL®
Quecksilberdampf-Mischlichtlampe	Werkshallenbeleuchtung	HWL
LED	Lichtwerbung, Verkehrssignalisierung, Markierung von Fluchtwegen	DRAGONpuck®

Typische Anwendungsgebiete von Lampen.

Temperaturverhalten von Niederspannungs-Schaltgeräten im Schaltschrank

Probleme und Fragen bezüglich der Temperaturen im Schaltschrank werden mit zunehmender Packungsdichte verstärkt wahrgenommen. Mit neuen und modernen Komponenten, sowie den Kontrollmöglichkeiten wie sie die Thermografie ermöglicht, können die Fehler bei der Planung sowie Defekte und Überlastungen leicht aufgedeckt werden. Leider wird die Thermografie bei nicht sachgerechter Anwendung und entsprechender Fehlinterpretation zu einem Werkzeug, welches die tatsächlichen Mängel und deren Ergebnisse verfälschen kann.

Hinweis:

Bei einer Anlageninspektion mit Thermografiekamera ist die richtige Ausbildung des Personals und die Einhaltung der Norm DIN 54191 erforderlich.

Zur korrekten Bewertung der Messwerte geben wir eine Hilfestellung bezüglich der Übertemperaturen gemäß der derzeit gültigen Gerätenormen der DIN EN 60947 bzw. IEC 60947. Es wird anhand der Normwerte für berührbare Teile, sowie Anschlussstellen von Schaltgeräten erläutert, welche Temperaturen zulässig sind und welche Besonderheiten bei Umständen, die nicht den Normbedingungen entsprechen, auftreten können.

Zulässige Oberflächentemperaturen von Niederspannungsschaltgeräten im Schaltschrank

Die Übertemperaturen, die in den folgenden Punkten genannt werden, beziehen sich immer auf die Angaben der DIN EN 60947. In dieser Norm wird zwischen den Geräten der Niederspannungsschalttechnik eine Unterscheidung getroffen. Ein Teil der Vorschrift (DIN EN 60947-1) befasst sich mit der Großzahl der elektromechanischen Schaltgeräte der Niederspannungs-Schalttechnik (in deren jeweiligen Gerätenormen kein Bezug auf Übertemperaturen genommen wird), der zweite und dritte Teil (DIN EN 60947-2 und DIN EN 60947-3) befasst sich explizit mit Leistungs-schaltern und Lasttrennschaltern, deren Übertemperaturen laut Norm jedoch identisch sind, und somit gemeinsam betrachtet werden.
Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass die Temperaturen der Geräte sehr stark von der Umgebungstemperatur im Schaltschrank abhängig sind. Diese Umgebungstemperatur darf laut Norm ein Mittel von +35 °C über einen Zeitraum von 24 Stunden nicht übersteigen, und darf maximal + 40 °C betragen. Der untere Grenzwert der genormten Umgebungsbedingungen liegt bei -5 °C.

Die hier aufgeführten Übertemperaturen beziehen sich auf die Angaben der DIN EN 60947.

Zulässige Temperaturen an berührbaren Teilen

Die Norm trennt den Begriff "berührbare Teile" in drei Unterpunkte, die bezüglich ihrer maximalen Temperaturen jeweils zwischen Metall- und nicht Metalloberflächen unterschieden werden.
Diese drei Unterpunkte lauten wie folgt:

- Bedienelemente die per Hand betätigt werden.
- Teile, die berührt, jedoch nicht in die Hand genommen werden.
- Teile, die bei üblicher Betätigung nicht berührt werden müssen; hier ist zu beachten, dass die Geräte lediglich gegen Berührung mit brennbarem Material oder gegen versehentliches Berühren durch Personen geschützt werden müssen.

Die hierfür in den einzelnen Normen aufgeführten maximalen Grenzübertemperaturen werden nun im Folgenden für die jeweiligen Gerätegruppen betrachtet.

Zulässige Temperaturen nach DIN EN 60947-1 (Allgemein)

Die zulässigen Temperaturen nach DIN EN 60947-1 sind nur für neue und saubere Geräte gültig. Die Verschmutzung und der Verschleiß der Geräte im Betrieb werden nicht berücksichtigt.
Wie aufgrund der erwähnten Unterteilung in Unterpunkte zu erwarten ist, gibt es für berührbare Teile mehrere Werte für die Grenzübertemperaturen. Diese Werte sind immer zur Umgebungstemperatur des Geräts hinzu zu addieren, und ergeben dann in Summe den maximalen Wert der Temperatur, die am Gerät auftreten darf.

Die Werte der Grenzübertemperatur (GÜ) für den Großteil der elektromechanischen Schaltgeräte setzen sich wie folgt zusammen:

- GÜ für von Hand betätigte Bedienelemente:
  aus Metall: 15 K
  nicht aus Metall: 25 K
- GÜ für Teile, die berührt, jedoch nicht in die Hand genommen werden:
  aus Metall: 30 K
  nicht aus Metall: 40 K
- GÜ für Teile, die bei üblicher Betätigung nicht berührt werden müssen:
  aus Metall: 40 K
  nicht aus Metall: 50 K

Da Schütze keine Bedienelemente besitzen, sondern über ein externes Signal an der Spule angesteuert werden, ist in diesem Fall der dritte Punkt der aufgelisteten Normwerte interessant. Hier benötigt man für die Rechnung die Grenzübertemperatur für Teile, die nicht aus Metall sind (Grenzübertemperatur = 50 K), da bei Schützen das komplette Gehäuse aus Kunststoff besteht.

Somit ergibt sich folgende Rechnung:
T_{max} (Oberfläche) = $T_{Umgebung}$ + $T_{Grenzübertemperatur}$
T_{max} (Oberfläche) = Umgebungstemperatur des Geräts + 50 K

Darüber hinaus werden in diesem Teil der Norm auch Werte für Gehäusetemperaturen und ausströmende Luft aus Gehäusen angegeben, die Widerstände enthalten. Dieser Grenzwert liegt bei 200 K, was durch Herstellerangaben überschritten werden kann. Hier ist der Anlagenbauer dafür verantwortlich, einen geeigneten Einbauort und entsprechende Schutzmaßnahmen vorzusehen, um Gefahren zu vermeiden.

Zulässige Temperaturen nach DIN EN 60947-2 und DIN EN 60947-3 (Leistungsschalter, Lasttrennschalter)

Für Leistungsschalter, Lastschalter, Trennschalter, Lasttrennschalter und Schalter-Sicherungs-Einheiten sind in den jeweiligen Normen DIN EN 60947-2 und DIN EN 60947-3 bezüglich der Grenzübertemperaturen für berührbare Teile andere Werte als für die allgemeinen elektromechanischen Schaltgeräte festgelegt. Diese Werte werden genauso gegliedert wie in DIN EN 60947-1, sind jedoch nicht für neue Geräte gültig, sondern für Leistungsschalter, Lastschalter, Trennschalter, Lasttrennschalter und Schalter-Sicherungs-Einheiten gültig, die bereits eine komplette Prüffolge durchlaufen haben.

Diese Werte sind jeweils um 10 K höher, was zu folgenden Grenzübertemperaturen führt:

- GÜ für von Hand betätigte Bedienelemente:
  aus Metall: 25 K
  nicht aus Metall: 35 K
- GÜ für Teile, die berührt, jedoch nicht in die Hand genommen werden:
  aus Metall: 40 K
  nicht aus Metall: 50 K
- GÜ für Teile, die bei üblicher Betätigung nicht berührt werden müssen:
  aus Metall: 50 K
  nicht aus Metall: 60 K

Die Berechnung für die maximale Temperatur an der Gehäuseoberfläche beispielsweise eines Leistungsschalters wäre entsprechend der Berechnung wie sie für das Schütz erfolgt.
Es gilt also auch hier:
Umgebungstemperatur + Grenzübertemperatur = zulässige Gesamttemperatur an der Oberfläche des Leistungsschalters.

Die Berechnung der maximalen Temperatur an der Gehäuseoberfläche ist bei Schützen und Leistungsschaltern gleich.

Zulässige Temperaturen an den Anschlüssen
Wie für die berührbaren Teile, gibt es auch für die Anschlüsse genau definierte Übertemperaturen. Hierbei gibt es gravierende Unterschiede zwischen den allgemeinen elektromechanischen Schaltgeräten und den Leistungs- und Lasttrennschaltern, die im Folgenden aufgezeigt werden.

Beachte:

Stets zu beachten ist hierbei, dass bei Verwendung von kleineren Leitungsquerschnitten als in der Norm für den jeweiligen Strom vorgeschrieben, höhere Temperaturen an Anschlüssen, Klemmen und

inneren Gehäuseteilen auftreten können. Dies kann zur thermischen Zerstörung von Schaltgerät und/oder Anschlussleitung führen.
Eine Querschnittsverringerung ist deshalb nicht zulässig, da die höheren Temperaturen zu Geräteausfällen führen können.
Oftmals ist der Leitungsquerschnitt für die Wärmeabfuhr notwendig.

Zulässige Temperaturen nach DIN EN 60947-1 (Allgemein)
Die Temperatur der Anschlüsse trennt DIN EN 60947-1 ebenfalls bezüglich der Werkstoffe bzw. Oberflächenvergütung der Anschlussklemmen betreffend in mehrere Unterpunkte.

Folgende Anschlussmaterialien werden von der Norm aufgelistet:
- Kupfer, blank
- Kupfer-Zink-Legierung, blank
- Kupfer-Zink-Legierung, verzinnt
- Kupfer-Zink-Legierung, versilbert oder vernickelt
- Sonstige Metallteile

Die für Anschlüsse aufgeführten maximalen Grenzübertemperaturen werden nun genauer betrachtet:
- Kupfer, blank:
  60 K
- Kupfer-Zink-Legierung, blank
  65 K
- Kupfer-Zink-Legierung, verzinnt
  65 K
- Kupfer-Zink-Legierung, versilbert oder vernickelt
  70 K
- Sonstige Metallteile
  Die Grenzübertemperatur muss hier auf die im Betrieb gewonnenen Erfahrungen oder Lebensdauerprüfungen basieren. Die Überschreitung einer Übertemperatur von 65 K ist jedoch nicht zulässig.

Die Berechnung für die Grenzübertemperatur an den Anschlüssen ist entsprechend der Berechnung bei den berührbaren Teilen. Die maximale Temperatur eines Anschlusses setzt sich aus der

Umgebungstemperatur + Grenzübertemperatur

des jeweiligen Anschlusswerkstoffs zusammen.

Zulässige Temperaturen nach DIN EN 60947-2 und DIN EN60947-3 (Leistungsschalter, Lasttrennschalter)

Anders als bei den Anschlusstemperaturen bei der allgemeinen Betrachtung der elektromechanischen Schaltgeräte, wird bei Leistungs- und Lasttrennschaltern nicht zwischen unterschiedlichen Werkstoffen für Anschlüsse unterschieden.

Bei Leistungs- und Lasttrennschaltern ist die maximale Übertemperatur an Anschlüssen für äußere Leiter 80 K. Diese Grenzübertemperatur gilt nur unter Verwendung der angegebenen Leitungsquerschnitte und bei Einzelaufstellung der Geräte.

Die maximale Übertemperatur an Anschlüssen für äußere Leiter liegt für Leistungs- und Lasttrennschalter bei 80 K.

Betrachtung von Temperaturmessungen im Schaltschrank

Im Folgenden werden einige Hinweise zur Messung der Temperatur an Geräten und im Schaltschrank gegeben sowie Fehlerursachen bei der Messung erläutert. Entsprechend DIN EN 60947-1 ist die Umgebungstemperatur von Geräten in einem Meter Abstand zum Gerät an zwei unterschiedlichen Messstellen mit zwei verschiedenen Thermometern oder Thermoelementen zu messen, was in Anlagen meist nicht eingehalten werden kann und somit zu verfälschten Ergebnissen führt.

Bei der Messung von Temperaturen an der Gehäuseoberfläche oder der Anschlüsse sind die Temperaturfühler gut wärmeleitend mit der Teileoberfläche zu verbinden, um die tatsächliche Oberflächentemperatur in Erfahrung zu bringen.

Wird die Messung der Oberflächentemperatur der Geräte mittels einer Wärmebildkamera durchgeführt, so ist das Resultat dieser Messung meist eine Momentaufnahme, sofern nicht mittels entsprechender Kamera und der dazugehörigen Software eine Langzeituntersuchung durchgeführt wird. Bei Messungen mit Temperaturfühlern wird hingegen in der Regel immer eine längere Zeitdauer überwacht.

Meist ist bei Temperaturmessungen gerade bei der Dicht–an–Dicht-Bauweise eine Addition der Temperatur an den mittig aufgebauten Geräten zu sehen; unter Umständen treten sogar Hot-Spots auf.

Geschultes Personal (nach DIN 54191, DIN EN 473, oder nach VdS2859) kann eine solche Temperaturkonzentration jedoch durchaus richtig bewerten und eine entsprechende Aussage über die gemessenen Werte für den kompletten Aufbau treffen.

Beachte:

Zu beachten ist bezüglich der Messbedingungen, dass die in der IEC 60947 aufgeführte Vorgehensweise den Prüffall einer Komponente im Abstand von einem Meter wiedergibt.

Oft wird von Laien bei der Messung der Temperaturen an den Geräten im Schaltschrank mit Hilfe von Wärmebildkameras der Fehler gemacht, dass die Schaltschranktür geöffnet wird, wodurch die Temperatur im Schaltschrank rapide absinkt. Wird nun nach dem Absinken der Temperatur im Schaltschrank eine Aufnahme mit einer Wärmebildkamera gemacht, stehen die Temperaturen an den Geräten in keinem Zusammenhang mehr zur eigentlichen Umgebungstemperatur der Geräte im Schaltschrank.
Die Ursache für diese Fehlmessung ist, dass die Lufttemperatur im Schaltschrank nach Öffnen der Türen sofort absinkt, während die Temperatur an den Geräten selbst nur über einen sehr langen Zeitraum absinkt. Dies wird bei Messungen durch Fachpersonal mittels Temperatur Referenzmessung in Bauteilnähe bei geringer Strahlungswärme und Strömungsmessung der Luftgeschwindigkeit ausgeglichen, was zu aussagekräftigen Resultaten führt.

Hinweis:

In Anbetracht der preislich immer günstiger werdenden Wärmebild-kameras soll auch darauf hingewiesen werden, dass Messungen nur dann aussagekräftig sind, wenn die verwendete Kamera den Klassifizierungen gemäß DIN 54191 entspricht, und der in dieser Norm festgelegte Prüfprozess eingehalten wird.

Maßnahmen gegen Übertemperaturen an Geräten
Aufgrund der eindeutigen Angaben in den verschiedenen Normen-passagen sind in kritischen Fällen Maßnahmen erforderlich, die die Temperatur der Geräte oder ihrer Anschlüsse reduzieren.
Die häufigste Ursache für Übertemperaturen an Anschlüssen ist das unzureichende Anzugsdrehmoment der Anschlussschrauben. Hier sollte auf die vom Hersteller angegebenen Drehmomente geachtet werden. Bei

auftretenden Hitzeentwicklungen sollte also zunächst überprüft werden, ob die Anschlüsse noch ausreichend fest angezogen und ob die verwendeten Kabelschuhe, oder Adernendhülsen noch in einwandfreiem Zustand sind.
Auch eine Materialschrumpfung durch eine Fließung (beispielsweise bei Alu-Leitern) kann zu einem erheblichen Temperaturanstieg führen.

Im Zusammenhang mit der Überprüfung der Anschlüsse muss kontrolliert werden, ob die Anschlussquerschnitte für den Effektivwert des fließenden Stroms und die Kabel- oder Leitungsverlegeart gemäß Norm ausreichend bemessen wurden. Die Verwendung von Leitern mit kleinerem Querschnitt als von der Norm oder dem Hersteller vorgegeben kann zu erheblichen Temperatur- und Funktionsstörungen führen.

Abgesehen von den Anschlussbedingungen kann auch die Belastung der Schütze ein Grund für zu hohe Temperaturen sein. Mögliche Ursachen können hier zum einen die anliegende Spulenspannung sein, die nicht im vom Hersteller angegebenen Arbeitsbereich des verwendeten Schützes liegt. Zum anderen kann aber auch eine Überlastung der Hauptkontakte, möglicherweise durch Projektierungsfehler oder dem nachträglichen Aufstocken der Last eine erhebliche Temperaturentwicklung nach sich ziehen.
Es sind in diesem Zusammenhang auch immer die entsprechenden Herstellerspezifikationen bezüglich Temperaturerhöhungen bei hoher Packungsdichte (ggf. Mindestabstände) und ausreichender Kühlung (Querschnitte) bei maximaler Last zu berücksichtigen.
Zusätzlich zu den bisher genannten Ursachen kann auch eine Aufstellhöhe über 2.000 Metern zu erhöhten Temperaturen an den Schaltgeräten führen. Hier muss aufgrund der verringerten Luftdichte eine entsprechende Überdimensionierung berücksichtigt werden, um die Geräte nicht zu überlasten.

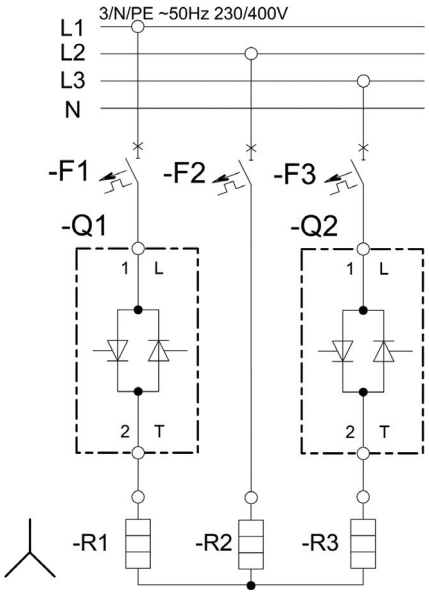
Wird an Leistungsschaltern und thermischen Überlastrelais eine erhöhte Temperaturentwicklung beobachtet, so muss dies nicht unbedingt ein Indiz für ein zu erwartendes / aufgetretenes Fehlverhalten sein. Dies kann an der Physik der thermomagnetischen Leistungsschalter / thermischen Überlastrelais liegen, die teilweise einen relativ hohen Innenwiderstand (der Bimetallstreifen) besitzen, durch den hohe Verlustleistungen und somit hohe Gerätetemperaturen entstehen können; dies ist vor allem bei kleinen Einstellbereichen <10 A zu beobachten.

Lastüberwachung von ohmschen Verbrauchern (Heizkreisen) in Drehstromschaltung

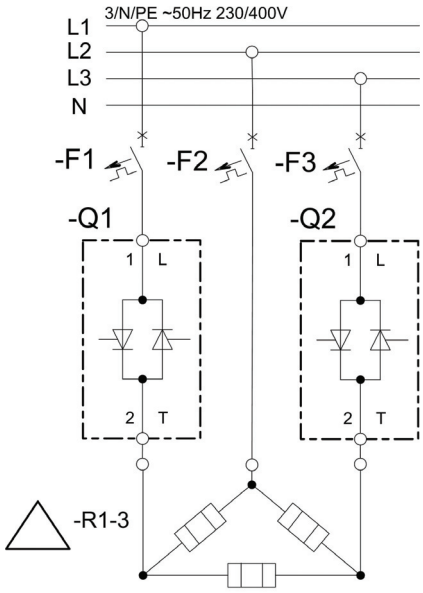
Allgemeines

Die Halbleiterschaltgeräte 3RF2 bieten in der einpoligen Ausprägung umfangreiches Zubehör, sogenannte Funktionsmodule, zur Überwachung der Last und des Netzes an. Bei den 3phasigen Halbleiterschaltgeräten können die Funktionsmodule wegen der geringeren Phasenabstände nicht eingesetzt werden.
Zur Überwachung der Last und des Netzes bei dreiphasigen Applikationen kann aber auf das System SIMOCODE 3UF zurückgegriffen werden.

Sternschaltung der Last



Dreieckschaltung der Last



Prinzipielle Schaltung eines Drehstromverbrauchers mit einphasigen Halbleiterschaltgeräten (entspricht der Schaltung von 2-phasigen gesteuerten Halbleiterschaltgeräten) ohne Darstellung der Lastüberwachung.

Möglichkeiten zur Lastüberwachung von ohmschen Verbrauchern (Heizkreisen) in Drehstromschaltung

Die Überwachung von ohmschen Verbrauchern und des Netzes auf Ausfall ist im Prinzip wesentlich einfacher als bei Drehstrommotoren. Der Wegfall einer Last in einer Phase führt dazu, dass sich in den anderen Phasen ebenfalls die Ströme ändern. Somit ist eine Basis-Überwachung in nur einer Phase oder auch in nur zwei Phasen möglich.

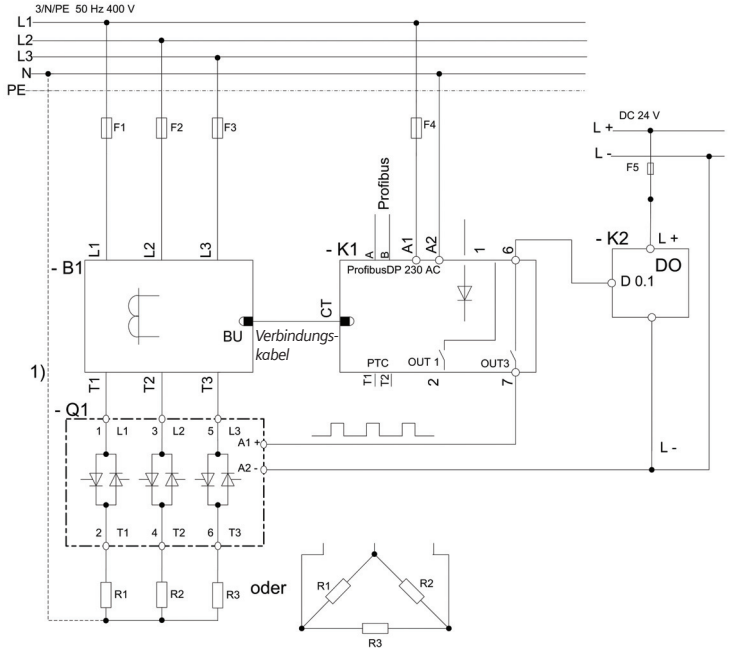
	Alles OK	10,0 A	10,0 A	10,0 A
	Ausfall / Last / Netz	I_{L1}	I_{L2}	I_{L3}
Last in Stern-schaltung	L1 oder R1	---	8,6 A	8,6 A
	L2 oder R2	8,6 A	---	8,6 A
	L3 oder R3	8,6 A	8,6 A	---
	L1+L2/R1+R2	---	---	---
	L1+L3/R1+R3	---	---	---
	L2+L3/R2+R3	---	---	---
Last in Dreieck-schaltung	L1	---	8,6 A	8,6 A
	L2	8,6 A	---	8,6 A
	L3	8,6 A	8,6 A	---
	L1 + L2	---	---	---
	L1 + L3	---	---	---
	L2 + L3	---	---	---
	R1	5,8 A	5,8 A	10 A
	R2	10 A	5,8 A	5,8 A
	R3	5,8 A	10 A	5,8 A
	R1+R2	5,8 A	---	5,8 A
	R2+R3	5,8 A	5,8 A	---
	R3+R1	---	5,8 A	5,8 A

Die Tabelle zeigt die Veränderungen in den Leiterströmen bei Ausfall von einer oder von zwei Lasten bzw. Phasen: Beispiel mit einem Leiterstrom von 10 A.

Überwachung der Last mit SIMOCODE

SIMOCODE kann durch die dreiphasige Messung der Leiterströme alle Ausfallarten sicher erkennen.

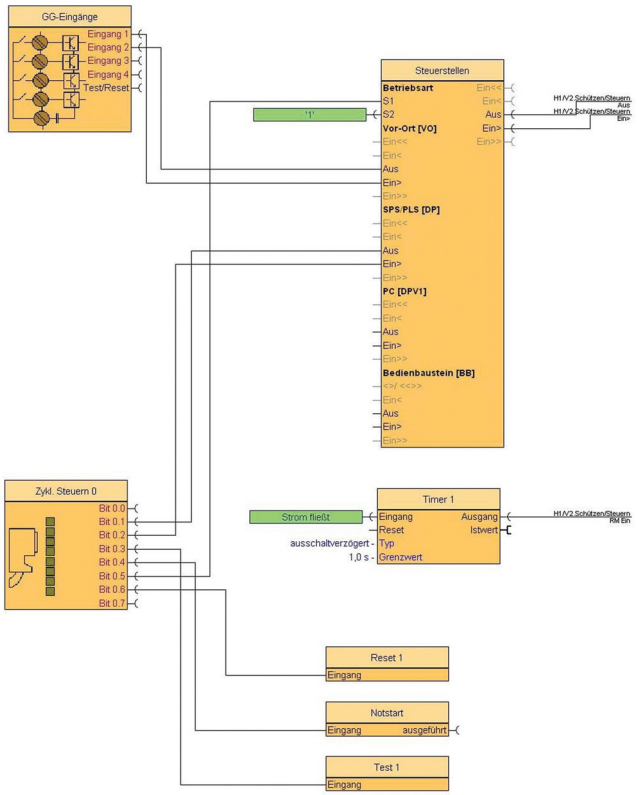
F1-3	Hauptstromkreis Sicherungen
F4-5	Steuerstromkreis Sicherungen
K1	Simocode Pro C/V Grundgerät
K2	Steuerung / SPS
B1	Stromerfassungsmodul
Q1	Halbleiterrelais
1)	Optional

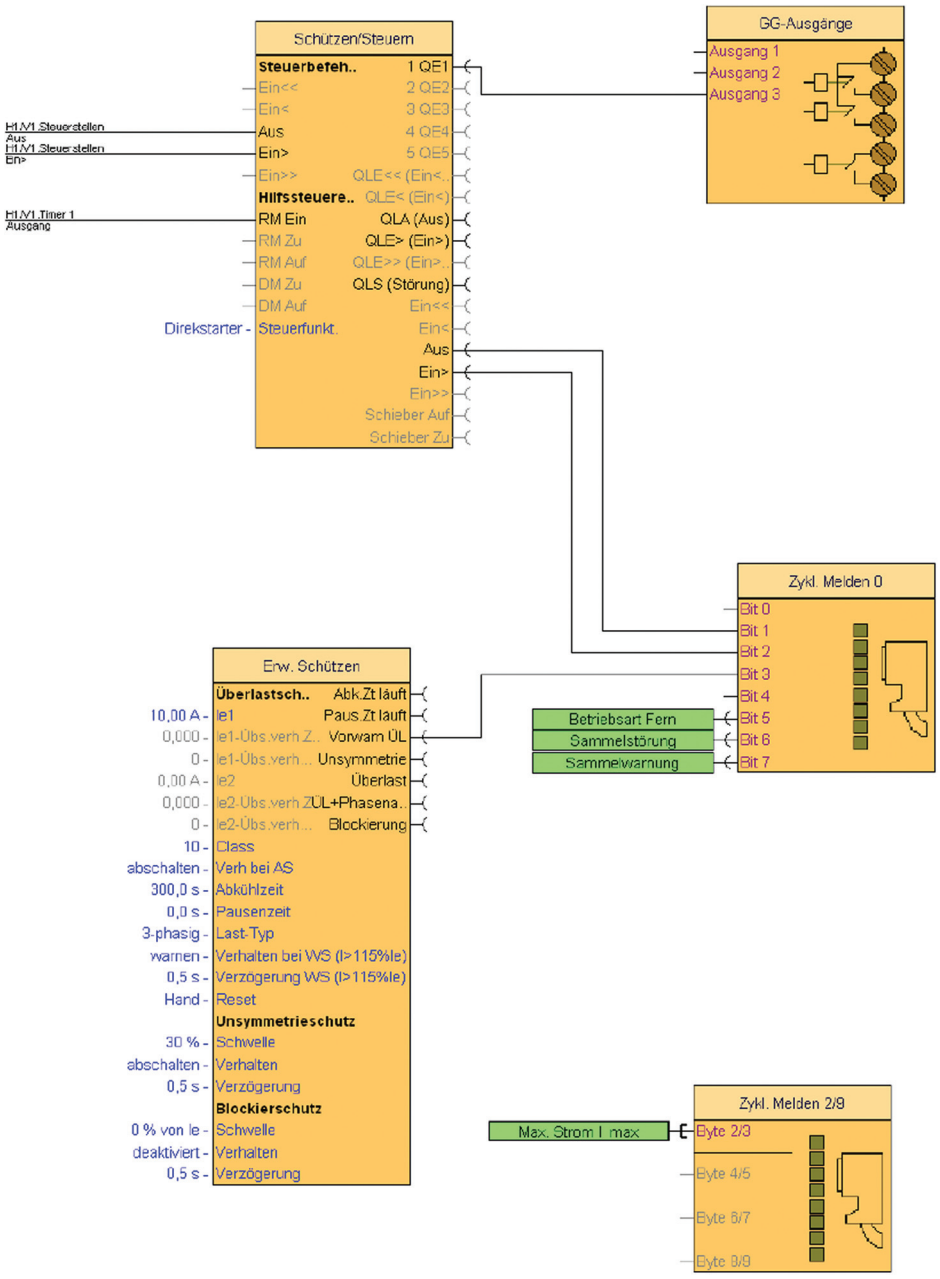


Beispielschaltung mit einem dreiphasig gesteuerten Halbleiterschaltgerät; Simocode überwacht die Last, die Ansteuerung des Schaltgerätes erfolgt durch den Temperaturregler in der Steuerung.

Parametrierung

mit der Parametriersoftware SIMOCODE ES Standard/Premium




Schützen/Steuern
Steuerbefeh..
Ein<<
Ein<
Aus
Ein>
Ein>>
Hilfssteuere..
RM Ein
RM Zu
RM Auf
DM Zu
DM Auf
Direkstarter -
Steuerfunkt.
1 QE1
2 QE2
3 QE3
4 QE4
5 QE5
QLE<< (Ein<..
QLE< (Ein<)
QLA (Aus)
QLE> (Ein>)
QLE>> (Ein>..
QLS (Störung)
Ein<<
Ein<
Aus
Ein>
Ein>>
Schieber Auf
Schieber Zu
HLV1.Steuerstellen Aus
HLV1.Steuerstellen Ein>
HLV1.Timer 1 Ausgang
GG-Ausgänge
Ausgang 1
Ausgang 2
Ausgang 3
Zykl. Melden 0
Bit 0
Bit 1
Bit 2
Bit 3
Bit 4
Bit 5
Bit 6
Bit 7
Betriebsart Fern
Sammelstörung
Sammelwarnung
Erw. Schützen
Überlastsch..
Ie1
Ie1-Übs.verh Z..
Ie1-Übs.verh ...
Ie2
Ie2-Übs.verh Z..
Ie2-Übs.verh ...
Abk.Zt läuft
Paus.Zt läuft
Vorwarn ÜL
Unsymmetrie
Überlast
ÜL+Phasena..
Blockierung
10,00 A -
0,000 -
0 -
0,00 A -
0,000 -
0 -
10 - Class
abschalten - Verh bei AS
300,0 s - Abkühlzeit
0,0 s - Pausenzeit
3-phasig - Last-Typ
warnen - Verhalten bei WS (I>115%Ie)
0,5 s - Verzögerung WS (I>115%Ie)
Hand - Reset
Unsymmetrieschutz
30 % - Schwelle
abschalten - Verhalten
0,5 s - Verzögerung
Blockierschutz
0 % von Ie - Schwelle
deaktiviert - Verhalten
0,5 s - Verzögerung
Max. Strom I max
Zykl. Melden 2/9
Byte 2/3
Byte 4/5
Byte 6/7
Byte 8/9

Geräteliste für Aufbauten mit Halbleiterschützen 3RF24				
Laststrom	**Sicherung F1 – F3**	**Überwachung SIMOCODE pro C**	**Stromerfassungsmodul und Verbindungskabel (rund)**	**Halbleiterschütz 3RF24**
0 bis 3 A	3NE1 813-0	3UF7 000-1AU00-0	3UF7 100-1AA00-0 + 3UF7 93.-0BA00-0	3RF2410-1A.45
3 bis 10 A	3NE1 813-0		3UF7 101-1AA00-0 + 3UF7 93.-0BA00-0	
10 bis 20 A	3NE1 814-0			3RF2420-1A.45
20 bis 30 A	3NE1 803-0		3UF7 102-1AA00-0 + 3UF7 93.-0BA00-0	3RF2430-1A.45
30 bis 40 A	3NE1 802-0			3RF2440-1A.45
40 bis 50 A	3NE1 817-0			3RF2450-3A.45

Geräteliste für Aufbauten mit Halbleiterrelais 3RF22				
Laststrom	**Sicherung F1 – F3**	**Überwachung SIMOCODE pro C**	**Stromerfassungsmodul und Verbindungskabel (rund)**	**Halbleiterrelais 3RF22**
0 bis 3 A	3NE1 813-0	3UF7 000-1AU00-0	3UF7 100-1AA00-0 + 3UF7 93.-0BA00-0	3RF2230-1A.45
3 bis 10 A	3NE1 813-0		3UF7 101-1AA00-0 + 3UF7 93.-0BA00-0	
10 bis 20 A	3NE1 814-0			
20 bis 30 A	3NE1 803-0		3UF7 102-1AA00-0 + 3UF7 93.-0BA00-0	3RF2255-1A.45
30 bis 40 A	3NE1 802-0			

Bestellnummerergänzungen:
*3UF793**2**... = Länge 0,5 m*
*3UF793**7**... = Länge 1,0 m*
*3UF793**3**... = Länge 2,5 m*
*3RF22/24..-.A**B**... = zweiphasig gesteuerte Ausführung*
*3RF22/24..-.A**C**... = dreiphasig gesteuerte Ausführung*
Parametriersoftware SIMOCODE ES:
Standard 3ZS1 312-5CC10-0YA5;
Premium 3ZS1 312-6CC10-0YA5

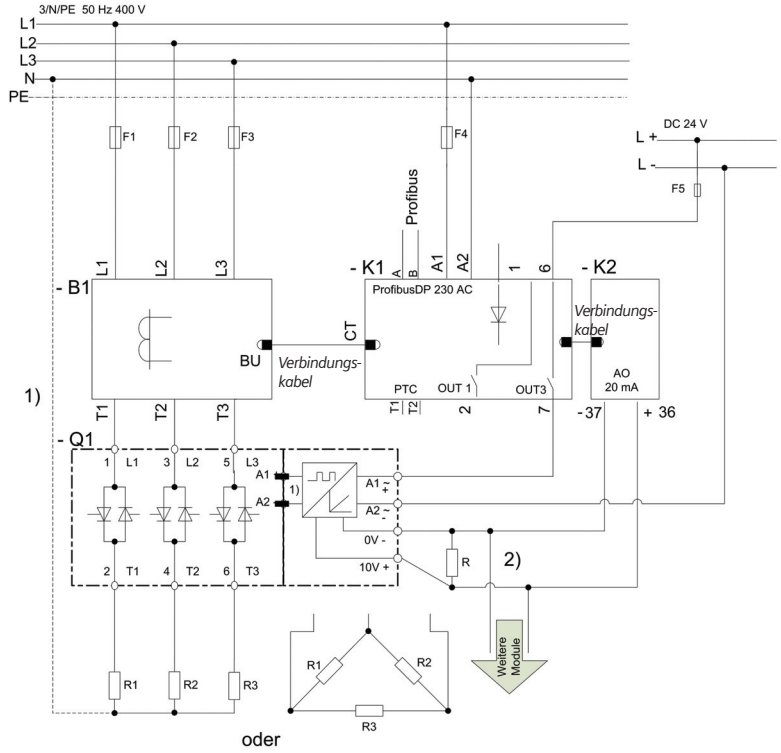
Voraussetzungen

Die Halbleiterschütze /-relais wurden für eine Umgebungstemperatur von 40 °C und für den Betrieb mit maximal 460 V und DC 24 V Steuerspannung ausgesucht. Die Simocode pro C Geräte wurden für den Betrieb mit AC 230 V Steuerspannung ausgesucht. Bei davon abweichenden Bedingungen kann auf andere Typen gemäß Auswahl- und Bestelldaten im Katalog LV1 Kap. 4 / 7 zurückgegriffen werden. Als Schutzeinrichtung gegen Kurzschluss und Überlastung werden Ganzbereichs-Halbleiterschutzsicherungen 3NE1 empfohlen. Abweichend davon kann auch der Abzweig mit Leitungsschutzsicherungen oder Leitungsschutzschaltern abgesichert werden, jedoch ist ein Schutz der Halbleiter gegen Kurzschluss dann nicht mehr unter jeder Bedingung gegeben.

Beispiel:

Beispielschaltung mit einem dreiphasigen Halbleiterschaltgerät und aufgesetztem Konverter zur Leistungssteuerung mittels Vollwellenbetrieb. Simocode gibt den Leistungssollwert durch ein analoges Ausgangssignal vor.

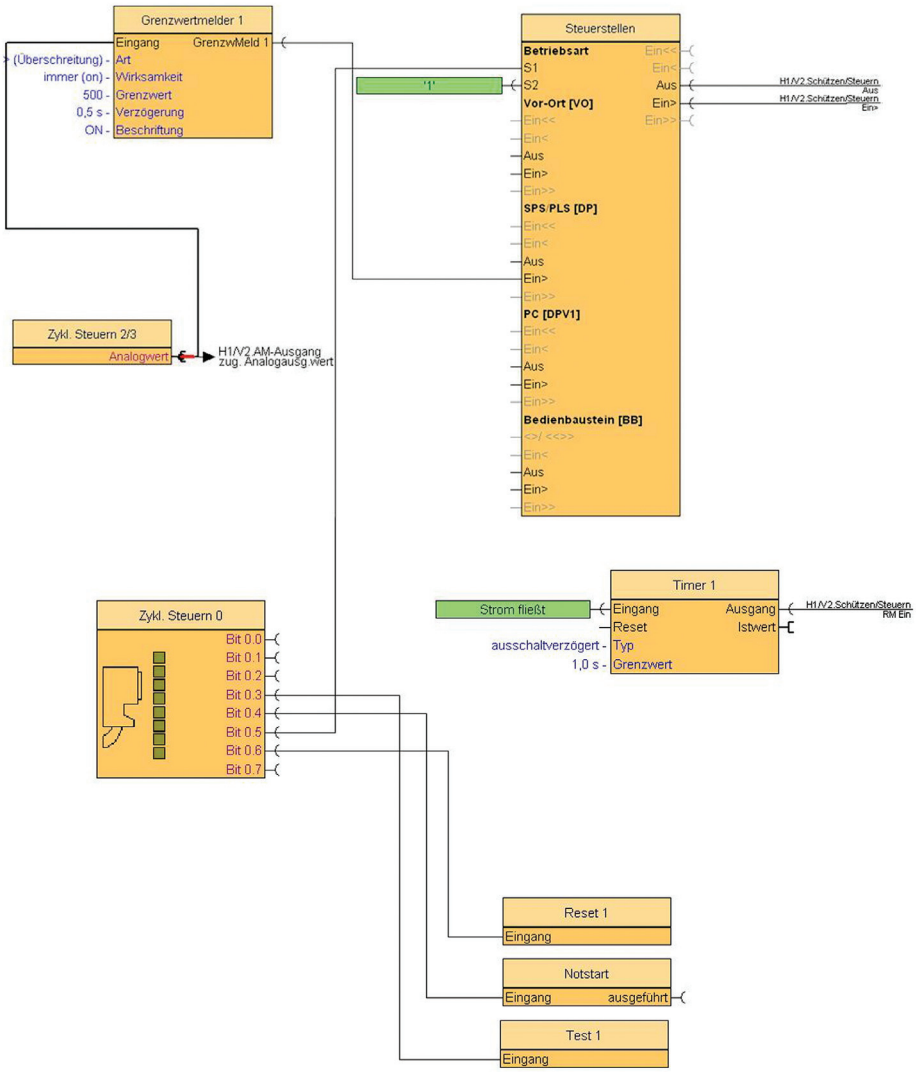
Vorteil dieses Aufbaus: Über die Sollwertvorgabe kann die Leistung reduziert werden. Werden nur 50 % Sollwert vorgegeben, beträgt die Leistungsaufnahme der Last auch nur 50 %.

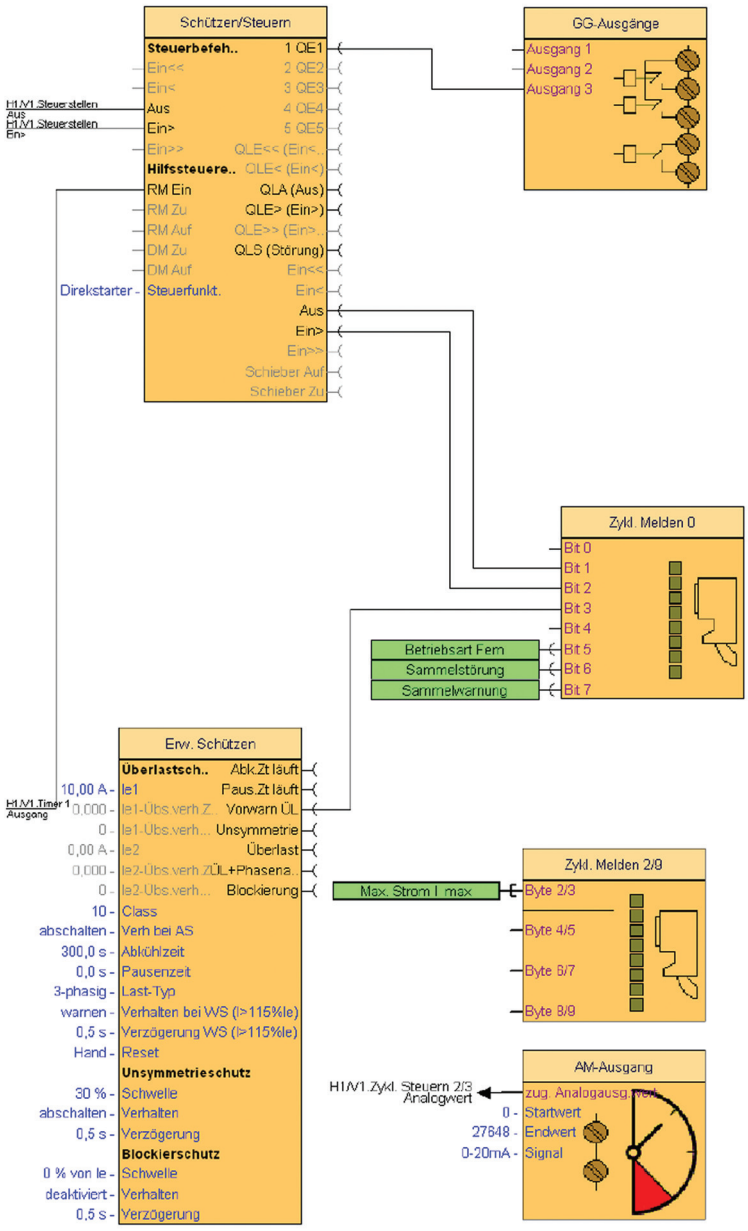


F1-3	Hauptstromkreis Sicherungen
F4-5	Steuerstromkreis Sicherungen
K1	Simocode Pro V Grundgerät
K2	Analogmodul 3UF7400-1AA00-0
B1	Stromerfassungsmodul
Q1	Halbleiterrelais/-schütz mit aufgestecktem Konverter
R	Anpasswiderstand 510 Ohm bei einem Konverter; 1 %; TK50 PPM; 0,6 W Metallschicht
1)	Optional
2)	Achtung: Anpassung Widerstand R nach Innenwiderstand Konverter 100 kOhm

Parametrierung

mit der Parametriersoftware SIMOCODE ES Standard/Premium




Schützen/Steuern
Steuerbefeh..
Ein<<
Ein<
Aus
Ein>
Ein>>
Hilfssteuere..
RM Ein
RM Zu
RM Auf
DM Zu
DM Auf
Direkstarter -
Steuerfunkt.
1 QE1
2 QE2
3 QE3
4 QE4
5 QE5
QLE<< (Ein<..
QLE< (Ein<)
QLA (Aus)
QLE> (Ein>)
QLE>> (Ein>..
QLS (Störung)
Ein<<
Ein<
Aus
Ein>
Ein>>
Schieber Auf
Schieber Zu
GG-Ausgänge
Ausgang 1
Ausgang 2
Ausgang 3
Zykl. Melden 0
Bit 0
Bit 1
Bit 2
Bit 3
Bit 4
Bit 5
Bit 6
Bit 7
Betriebsart Fern
Sammelstörung
Sammelwarnung
Erw. Schützen
Überlastsch..
10,00 A -
0,000 -
0 -
0,00 A -
0,000 -
0 -
10 -
abschalten -
300,0 s -
0,0 s -
3-phasig -
warnen -
0,5 s -
Hand -
Unsymmetrieschutz
30 % -
abschalten -
0,5 s -
Blockierschutz
0 % von Ie -
deaktiviert -
0,5 s -
Abk.Zt läuft
Paus.Zt läuft
Vorwarn ÜL
Unsymmetrie
Überlast
Blockierung
Class
Verh bei AS
Abkühlzeit
Pausenzeit
Last-Typ
Verhalten bei WS (I>115%Ie)
Verzögerung WS (I>115%Ie)
Reset
Schwelle
Verhalten
Verzögerung
Schwelle
Verhalten
Verzögerung
Max. Strom I max
Zykl. Melden 2/3
Byte 2/3
Byte 4/5
Byte 6/7
Byte 8/9
AM-Ausgang
0 -
27648 -
0-20mA -
Startwert
Endwert
Signal

Geräteliste für Aufbauten mit Halbleiterschützen 3RF24				
Laststrom	**Sicherung F1 – F3**	**Überwachung SIMOCODE pro V Analogmodul und Verbindungskabel (flach)**	**Stromerfassungsmodul und Verbindungskabel (rund)**	**Halbleiterschütz 3RF24 und Konverter 3RF29**
0 bis 3 A	3NE1 813-0	3UF7 010-1AU00-0 + 3UF7 400-1AA00-0 + 3UF7 930-0AA00-0	3UF7 100-1AA00-0	3RF2410-1A.45 + 3RF2900-0EA18
3 bis 10 A	3NE1 813-0		3UF7 101-1AA00-0 + 3UF7 93.-0BA00-0	
10 bis 20 A	3NE1 814-0			3RF2420-1A.45 + 3RF2900-0EA18
20 bis 30 A	3NE1 803-0		3UF7 102-1AA00-0 + 3UF7 93.-0BA00-0	3RF2430-1A.45 + 3RF2900-0EA18
30 bis 40 A	3NE1 802-0			3RF2440-1A.45 + 3RF2900-0EA18
40 bis 50 A	3NE1 817-0			3RF2450-3A.45 + 3RF2900-0EA18

Geräteliste für Aufbauten mit Halbleiterrelais 3RF22				
Laststrom	**Sicherung F1 – F3**	**Überwachung SIMOCODE pro V Analogmodul und Verbindungskabel (flach)**	**Stromerfassungsmodul und Verbindungskabel (rund)**	**Halbleiterrelais 3RF22 und Konverter 3RF29**
0 bis 3 A	3NE1 813-0	3UF7 010-1AU00-0 + 3UF7 400-1AA00-0 + 3UF7 930-0AA00-0	3UF7 100-1AA00-0 + 3UF7 93.-0BA00-0	3RF2230-1A.45 + 3RF2900-0EA18
3 bis 10 A	3NE1 813-0		3UF7 101-1AA00-0 + 3UF7 93.-0BA00-0	
10 bis 20 A	3NE1 814-0			
20 bis 30 A	3NE1 803-0		3UF7 102-1AA00-0 + 3UF7 93.-0BA00-0	3RF2255-1A.45 + 3RF2900-0EA18
30 bis 40 A	3NE1 802-0			

Bestellnummerergänzungen:
*3UF7 93**2**-0B ... = Länge 0,5 m*
*3UF7 93**7**-0B ... = Länge 1,0 m*
*3UF7 93**3**-0B ... = Länge 2,5 m*
*3RF22/24..-.A**B**... = zweiphasig gesteuerte Ausführung*
*3RF22/24..-.A**C**... = dreiphasig gesteuerte Ausführung*
Parametriersoftware SIMOCODE ES:
Standard 3ZS1 312-5CC10-0YA5;
Premium 3ZS1 312-6CC10-0YA5

Voraussetzungen:
Die Halbleiterschütze /-relais wurden für eine Umgebungstemperatur von 40 °C und für den Betrieb mit maximal 460 V und DC 24 V Steuerspannung ausgesucht. Die Simocode pro V Geräte wurden für den Betrieb mit AC 230 V Steuerspannung ausgesucht. Bei davon abweichenden Bedingungen kann auf andere Typen gemäß Auswahl- und Bestelldaten im Katalog LV1 Kap. 4 / 7 zurückgegriffen werden. Als Schutzeinrichtung gegen Kurzschluss und Überlastung werden Ganzbereichs-Halbleiterschutzsicherungen 3NE1 empfohlen. Abweichend davon kann auch der Abzweig mit Leitungsschutzsicherungen oder Leitungsschutzschaltern abgesichert werden, jedoch ist ein Schutz der Halbleiter gegen Kurzschluss dann nicht mehr unter jeder Bedingung gegeben.

Branchenapplikationen / Praxisbeispiele

Die Welt der Niederspannungs-Schalttechnik zeichnet sich durch eine immense Vielseitigkeit aus, was sich nicht nur im Angebotsspektrum auf der Komponentenseite widerspiegelt, sondern auch bei den damit realisierbaren Lösungen.

Typische Anwendungsbeispiele in der Industrie, der Automatisierung und auch im täglichen Leben verdeutlichen die Flexibilität und Einsatzbreite der Niederspannungs-Schalttechnik. Beispiele aus der Praxis geben zudem eine hervorragende Hilfestellung bei der Entwicklung neuer Ideen bzw. besonderer Schaltungslösungen.

In diesem Kapitel sind einige markante Applikationen beschrieben. Im Detail sind die gestellten Anforderungen aufgeführt, die beschrittenen Lösungswege erläutert und sogar die Auswahl der technischen Parameter beschrieben.
Ergänzend gibt es auch Schaltungsbilder, die zeigen sollen, welche Möglichkeiten die unterschiedlichen Niederspannungs-Schaltgeräte besitzen.

Über diese Erläuterungen hinaus gibt es im Internet auf den Seiten

www.siemens.de/automation

bzw.

www.siemens.de/lowvoltage

eine Vielzahl weiterführender Informationen zu allen Angeboten der Niederspannungs-Schalttechnik von Siemens zu den Stichworten “Totally Integrated Automation” (TIP), zu “Totally Integrated Power” (TIP) und zu allen Aspekten rund um das Thema Sicherheitstechnik (Safety Integrated).

Sanftstarter 3RW44 steuert 90 kW Lüfter im Düsseldorfer Flughafen

Im Düsseldorfer Flughafen sorgen Sanftstarter vom Typ SIRIUS 3RW44 für den schonenen Betrieb der dortigen Belüftung.

Anwendung:

Die Klimatisierung von Gebäuden erfordert leistungsfähige Belüftungsaggregate, die üblicherweise mit Drehstrom-Asynchronmotoren angetrieben werden. In größeren Anlagen werden häufig mehrere dieser Lüfter bedarfsabhängig parallel betrieben. Der Start dieser großen Motoren soll anlagenschonend und langfristig wartungsfrei erfolgen. Vier 90-kW-Lüfter blasen parallel in eine Luftsammelkammer (sog. Vorschubkanal) ein. Je nach Luftmengenbedarf der Anlage werden die Lüfterflügel verstellt und Lüftermotore durch eine Steuerung sequenziell zu- bzw. abgeschaltet

Anforderungen:

- Luftklappen dichten nie ganz ab; so kann Luft aus der Sammelkammer entweichen und rückwärts durch einen ausgeschalteten Lüfter strömen. Dadurch wird dieser in Rotation versetzt und "trudelt" dann gegenläufig mit bis zu halber Nenndrehzahl. Der Antrieb ist trotzdem sanft zu starten.
- Ein "Festsitzen" der Blattverstellung z. B. in der 100-%-Förderstellung erschwert ebenfalls den Hochlauf.
- Die bei dem Umschalten auftretendenden Drehmomentschläge der früheren Stern-Dreieck-Lösung wirkten sich ungünstig auf Last, Lager und Motoraufhängung aus. Diese sind zu eliminieren.
- Schonung der Anlage, Vermeidung von Strom- und Drehmomentspitzen auch bei ungünstigen Anlaufbedingungen
- Einsatz von langlebiger, wartungsarmer Technik
- Anzeige der Betriebsdaten (Ströme, Leistung, Fehlermeldungen)

Lösung:

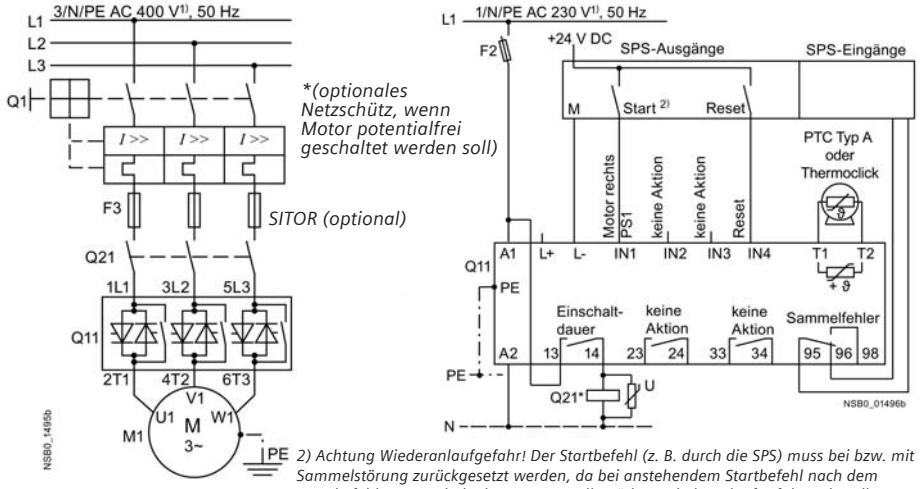
Die Anforderungen werden von dem zwei Leistungsstufen (aufgrund der möglichen langen Anlaufzeiten) höher dimensionierten SIRIUS 3RW4444 in Standardschaltung optimal gelöst.

- Der Start aus der Rotation in entgegengesetzter Drehrichtung erforderte keine weitere Beschaltung (kein Bremsgerät notwendig!) und konnte mit Hilfe der Startart Spannungsrampe und Strombegrenzung auf Anhieb durchgeführt werden.
- Dieser Betriebszustand führte natürlich erwartungsgemäß zu längeren Hochläufen, die aber schon bei der Planung durch eine Überdimensionierung der Sanftstarterleistung berücksichtigt worden waren. Der Sanftstarter wurde zwei Leistungsgrößen höher dimensioniert.
- Durch Einsatz der Engeneering Software “Soft Starter ES” konnte bei der Inbetriebnahme der Motorstartstrom online auf dem PC protokolliert und damit der Start der Antriebe optimiert eingestellt werden. Dies und die eingestellten Parameter ließen sich auf diese Weise komfortabel dokumentieren.
- Das auf dem Sanftstarter vorhandene Display zeigt jetzt die aktuell “gefahrene” Motorleistung an und ermöglicht dem Wartungspersonal einen Überblick über die Belastungszustände der einzelnen Lüftermotore und damit einen Systemvergleich; unterschiedliche Leistungswerte können auf Einstelldifferenzen z. B. an der Blattverstellung hinweisen.
- Optional sollte noch ein Hauptschütz in Reihe zum Sanftstarter geschaltet werden, um den Sanftstarter und Motor im Ruhezustand potentialfrei vom Netz zu schalten.

Parametereinstellung:

- Anlaufart: Spannungsrampe mit Strombegrenzung, 20 % Startspannung, 40 s Anlaufzeit, Strombegrenzung eingestellt auf 400 % Motorbemessungsstrom
- Auslaufart: Freier Auslauf

Schaltungsbeispiel
3RW44 in Standardschaltung mit Netzschütz und Ansteuerung über SPS



2) Achtung Wiederanlaufgefahr! Der Startbefehl (z. B. durch die SPS) muss bei bzw. mit Sammelstörung zurückgesetzt werden, da bei anstehendem Startbefehl nach dem Resetbefehl automatisch ein erneuter, selbsttätiger Wiederanlauf erfolgt. Dies gilt insbesondere bei Motorschutzauslösung. Aus Sicherheitsgründen wird empfohlen, den Sammelfehlerausgang (Klemmen 95 und 96) in die Steuerung einzubinden.

3RW44 Steuert 18,5 kW Bugstrahlruder im Ausflugsdampfer optimal mit Drehmomentregelung

Ein Sanftstarter 3RW4423 entlastet das Generatornetz des Personenschiffs bei der Ansteuerung des Bugstrahlruders.

Anwendung:
Der Kunde setzt für das Bugstrahlruder eines Personenschiffs einen 3RW44 Sanftstarter ein, um das Generatornetz des Schiffs bei Ansteuerung des Bugstrahlruders zu entlasten. Somit werden störende Spannungsschwankungen im Bordnetz, sichtbar z. B. durch Flackern der Beleuchtung, verhindert. Die Drehmomentregelung ist bei dieser Anwendung die optimale Startart. Man sieht, dass die Versorgungsspannung durch den Generatorregler nicht mehr so hoch geregelt wird wie vorher. Das Licht im Schiff flackert nicht mehr. Die Pumpe für das Bugstrahlruder wird sanft hochgeregelt und der Drehmomentstoß ist beim Hochlauf nicht mehr vorhanden.
Ein Anlauf mit strombegrenzter Spannungsrampe wurde auch getestet, ist hier jedoch nicht optimal. Grund: spürbarer Drehmomentstoß und Spannungsanstieg beim Erreichen des Kippmoments.

TIPP:
Vor allem in weichen Netzen ist der drehmomentgeregelte Anlauf allen anderen Verfahren überlegen und zu empfehlen.

Anforderungen:
- Im Anlauf soll der Motor strombegrenzt anlaufen, um das bordeigene Generatornetz zu schonen.
- Drehmomentschläge beim Starten der Pumpe sind zu verhindern.

Lösung:

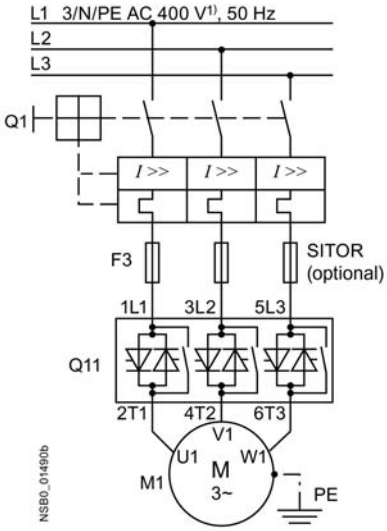
Die Anforderungen werden von dem SIRIUS 3RW4423 in Standardschaltung optimal gelöst.

- Es wird eine kurze Drehmomentrampe eingestellt, um den Motor sanft zu starten.
- Die überlagerte Strombegrenzungsfunktion während des Anlaufs gewährleistet, dass der Anlaufstrom in Bezug auf die Belastbarkeit des Generators begrenzt wird.

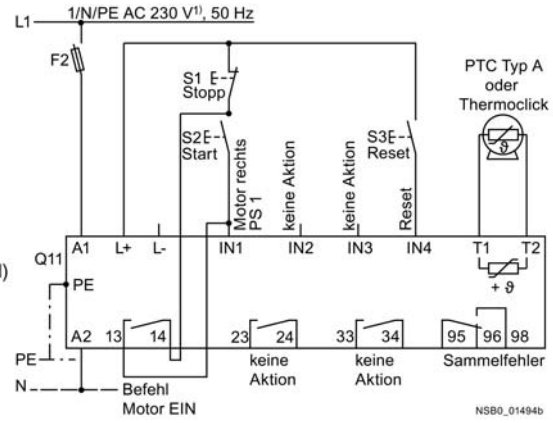
Parametereinstellung:

- Anlaufart: Drehmomenregelung, 40 % Startmoment, 150 % Begrenzungsmoment, 10 s Anlaufzeit
- Strombegrenzung eingestellt auf 400 % Motorbemessungsstrom
- Motorschutzeinstellung: CLASS10

Schaltungsbeispiel
3RW44 in Standardschaltung mit Ansteuerung über Taster (1a)
Alternativer Abzweigaufbau in der Standardschaltung (1b, 1c)

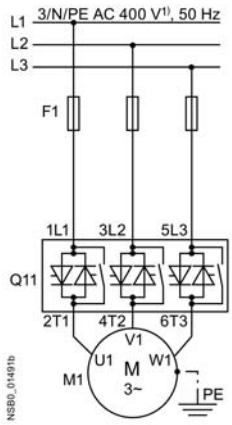


Hauptstromkreis:
Möglichkeit 1a: Standardschaltung mit Leistungsschalter und SITOR-Sicherung (reiner Halbleiterschutz).



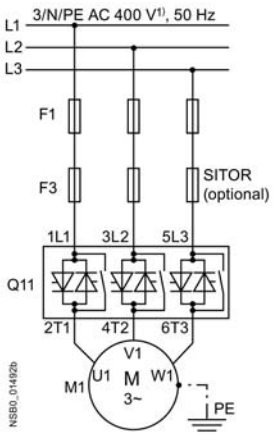
Steuerstromkreis:

Hauptstromkreis
Möglichkeit 1b:



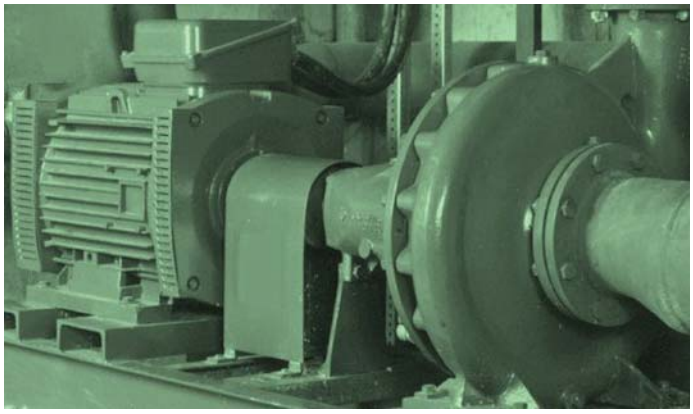
Möglichkeit 1b: Standardschaltung mit Ganzbereichssicherung (Leitungs- und Halbleiterschutz).

Möglichkeit 1c:



Möglichkeit 1c: Standardschaltung mit Leitungs- und SITOR-Sicherung (reiner Halbleiterschutz).

Pumpe (75 kW Motor) für eine Kunstschnee-Anlage



Ein Sanftstarter 3RW4443 optimiert den An- und Auslauf einer Pumpe zur Kunstschneeer-zeugung und reduziert auch die Netzbelastung.

Anwendung:
In einem Skigebiet soll eine 75 kW Wasserpumpe für die dortige Kunstschnee-Anlage gestartet werden.

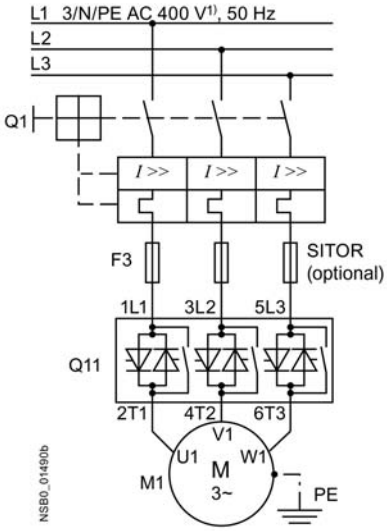
Anforderungen:
- Die Anlaufstromhöhe des Motors muss reduziert werden, um die Belastung des übergeordneten Netztransformators im Anlauf zu vermindern.
- Die Pumpe soll sanft an- und auslaufen, um die mechanische Belastung auf den Antrieb und die Pumpe durch den Momentenstoß beim Starten und Stoppen gering zu halten. Außerdem soll der Wasserschlag beim Auslauf verhindert werden.
- Bei der Dimensionierung sind besonders die Aufstellungshöhe (über 1.000m NN) sowie die langen Rohrleitungen mit entsprechender Wassersäule und dadurch längere Anlaufzeiten zu berücksichtigen. Die tiefen Umgebungstemperaturen haben zusätzlich Einfluss auf die mechanischen Laufeigenschaften der Maschine; sie können den Anlauf erschweren.

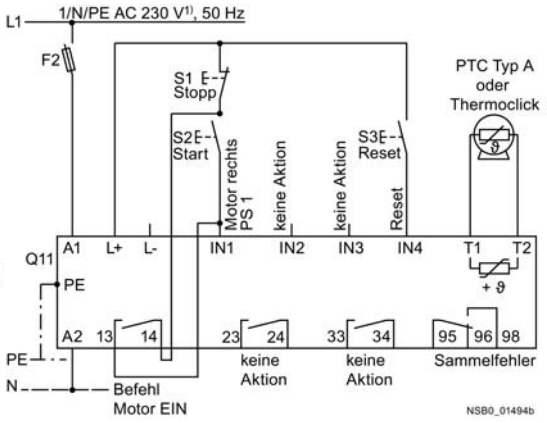
Lösung:
Es wurde für den optimalen Start ein zwei Leistungsstufen größerer SIRIUS Sanftstarter 3RW4443 in Standardschaltung gewählt.
- Der optimierte An- und Auslauf der Pumpe wurde mittels einer eingestellten Spannungsrampe und überlagerten Strombegrenzung realisiert. Damit wurden der Momentenstoß und die Netzbelastung durch den hohen Anlaufstrom verringert.
- Zur vereinfachten Inbetriebnahme, und um die getätigten Einstellungen zu dokumentieren, wurde die Engineeringsoftware “Soft Starter ES” verwendet.

Parametereinstellung:

- Anlaufart: Spannungsrampe mit Strombegrenzung, 40 % Startspannung, 45 s Anlaufzeit, 300 % Strombegrenzung
- Auslaufart: Pumpenauslauf, 10 % Stoppmoment, 10 s Auslaufzeit
- Motorschutzeinstellung: CLASS 30

Schaltungsbeispiel
3RW44 in Standardschaltung mit Ansteuerung über Taster (1a)
Alternativer Abzweigaufbau in der Standardschaltung (1b, 1c)

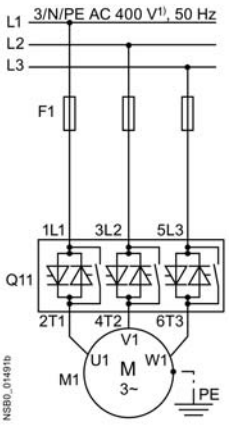




Steuerstromkreis:

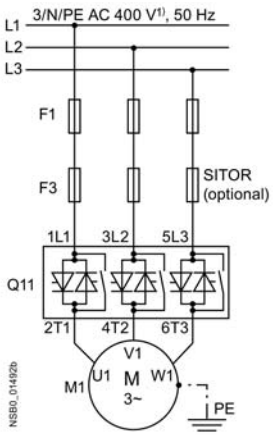
Hauptstromkreis:
Möglichkeit 1a: Standardschaltung mit Leistungsschalter und SITOR-Sicherung (reiner Halbleiterschutz).

Hauptstromkreis
Möglichkeit 1b:



Möglichkeit 1b: Standardschaltung mit Ganzbereichssicherung (Leitungs- und Halbleiterschutz).

Möglichkeit 1c:



Möglichkeit 1c: Standardschaltung mit Leitungs- und SITOR-Sicherung (reiner Halbleiterschutz).

SIRIUS 3RW44 und Pumpe im Klärwerk (110 kW Motor, Sanftstart plus Pumpenauslauf)

Der SIRIUS Sanftstarter 3RW4443 verhindert den Momentenstoß beim Start und den Wasserschlag beim Auslauf.

Anwendung:
Es soll in dem Klärwerk eine Pumpe mit einer Motorleistung von 110 kW angetrieben werden, um das Niveau im Klärbecken zu regulieren.

Anforderungen:

- Die maximale Wasserförderleistung muss möglichst schnell erreicht werden. Dafür ist die Beschleunigung der Pumpe auf Nenndrehzahl optimiert einzustellen.
- Die Belastung des Netzes soll durch Reduzierung des Anlaufstroms des Motors gering gehalten werden.
- Die Pumpe muss sanft anlaufen, damit die mechanische Belastung des Antriebs, der Pumpe und des Rohrleitungssystems durch den Momentenstoß beim Anlassen reduziert wird.
- Wird die Pumpe abrupt ausgeschaltet, entsteht durch die über der Rückschlagklappe stehende Wassersäule ein starker Rücklauf, der die Mechanik der Klappe sowie deren Dichtungen bei jedem Schaltvorgang extrem belastet. Hierdurch entsteht ein erhöhter Wartungs- und Kostenaufwand.

Lösung:
Als optimalen Sanftstarter zur Lösung aller Anforderungen wurde der SIRIUS 3RW4443 in Standardschaltung mit seiner speziell für Pumpen entwickelten Pumpenauslauffunktion gewählt.

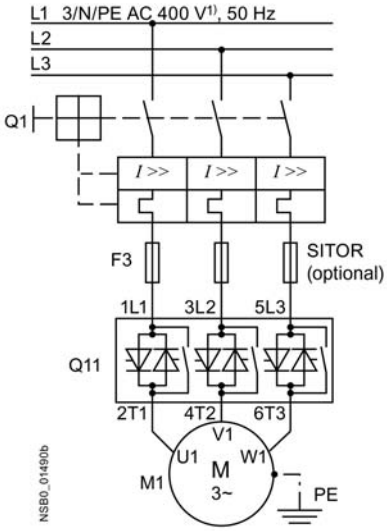
- Der optimierte Start der Pumpe wurde mittels einer eingestellten Drehmomentrampe realisiert. Damit wurde der Momentenstoß und die Netzbelastung durch einen hohen Anlaufstrom verhindert.

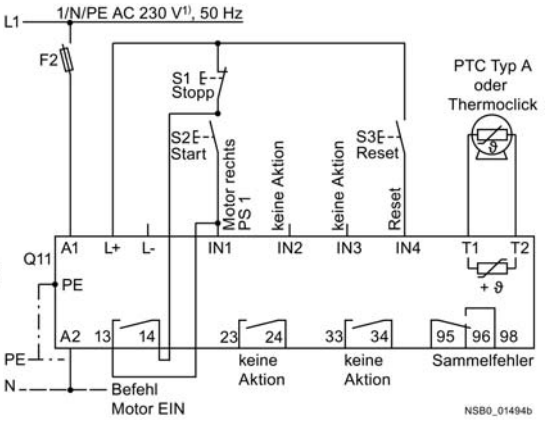
- Das abrupte Stoppen der Pumpe wurde durch die speziell für den SIRIUS Sanftstarter 3RW44 entwickelten Pumpenauslauffunktion verhindert. Dadurch entsteht kein Wasserschlag beim Abschalten der Pumpe.

Parametereinstellung:

- Anlaufart: Drehmomentrampe, 20% Startmoment, 150% Begrenzungsmoment, 20s Anlaufzeit.
- Auslaufart: Pumpenauslauf, Stoppmoment 10%, Auslaufzeit 10s
- Motorschutzeinstellung: CLASS10

Schaltungsbeispiel
3RW44 in Standardschaltung mit Ansteuerung über Taster (1a)
Alternativer Abzweigaufbau in der Standardschaltung (1b, 1c)





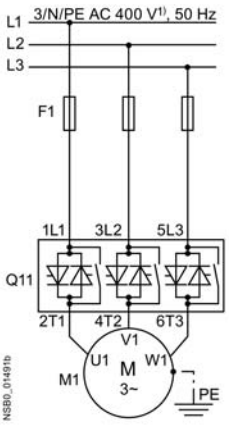
Steuerstromkreis:

Hauptstromkreis:
Möglichkeit 1a: Standardschaltung mit Leistungsschalter und SITOR-Sicherung (reiner Halbleiterschutz).

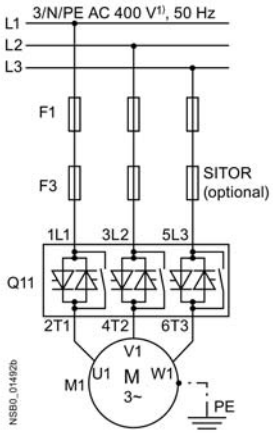
Möglichkeit 1b: Standardschaltung mit Ganzbereichssicherung (Leitungs- und Halbleiterschutz).

Möglichkeit 1c: Standardschaltung mit Leitungs- und SITOR-Sicherung (reiner Halbleiterschutz).

Hauptstromkreis
Möglichkeit 1b:



Möglichkeit 1c:



38 kW Oberflächenbelüfter in der Biokläranlage Minden

SIRIUS 3RW4424 in Wurzel-3-Schaltung reduzieren Energiekosten und Serviceaufwand erheblich.

Anwendung:
Im Belüftungsbecken der Biokläranlage Minden wird über das Belebt-Schlamm-Verfahren eine biologische Reinigung der Abwässer mit Hilfe von Mikroorganismen erreicht. Das geschieht wie in der Natur, indem die Mikroorganismen Schmutzstoffe im Abwasser als Nahrungsquelle nutzen und zu Körpersubstanz umbauen. Dafür benötigen sie reichlich Sauerstoff. Dieser Sauerstoff muss mit hohem Energieaufwand in das zu reinigende Wasser eingetragen werden. In Minden gibt es hierfür unter anderem zwölf Oberflächenbelüfter mit je 38 kW, die das Abwasser in den Belüftungsbecken durch die Luft schleudern und so die Sauerstoffaufnahme über die Berührungsfläche Luft-Wasser (Diffusionsfläche) bewirken.

Anforderungen:
- Halbierung des Serviceaufwands: Vermeidung von Schaltschlägen beim Hochlauf wie sie beim Stern-Dreieck-Anlauf auftraten. Das große Massenträgheitsmoment der Oberflächenbelüfter belastete die angeschlossenen Getriebe derart stark, dass spätestens alle vier Jahre eine bis zu 18.000 Euro teure Reparatur anstand. Zusätzlich mussten immer Reserveaggregate vorhanden sein, die im Bedarfsfall in rund vier Stunden gewechselt wurden. Jetzt wird mit einer Verlängerung der Getriebe-Serviceintervalle auf etwa acht Jahre gerechnet.
- Reduzierung der Energiekosten von 20-25 %: Durch reduzierte Erwärmung der Antriebe entstand eine höhere Flexibilität beim betreiben der Anlage durch späteres Einschalten und früheres Ausschalten. Somit konnte der Betrieb in teuren Spitzenstromzeiten reduziert werden.

- Möglichkeit der zentralen Steuerung mit der Vernetzung über eingebautes, optionales Profibus-DP-Modul.
- Ausgabe von Mess- und Betriebswerten, sowie Warn- und Störmeldungen zur leichteren Überwachung der Anlage.

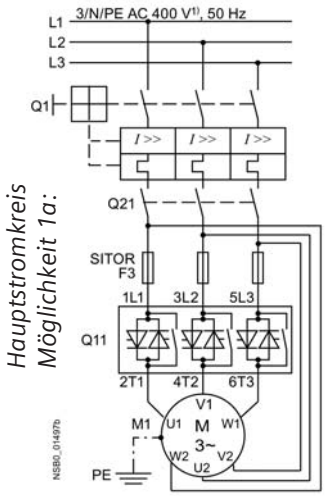
Lösung:

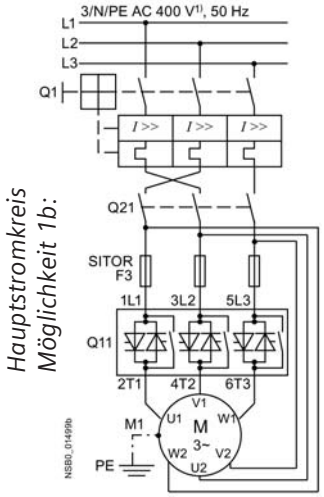
- 3RW4424 in Wurzel-3-Schaltung für CLASS10 Normalanlauf und optionales Profibusmodul

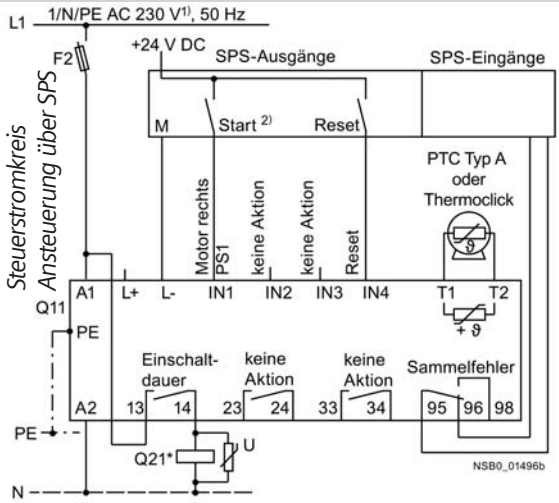
Parametereinstellung:

- Anlaufart: Drehmomentregelung, 40 % Startmoment, 150 % Begrenzungsmoment, 15 s Anlaufzeit
- Auslaufart: Drehmomentregelung, 10 % Stoppmoment, 5 s Auslaufzeit
- Motorschutzeinstellung: CLASS10

Schaltungsbeispiel
3RW44 in Wurzel-3-Schaltung (1a)
Drehrichtungsänderung bei Wurzel-3-Schaltung (1b)





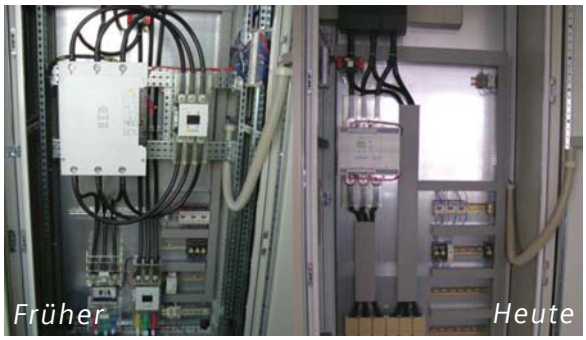


**(optionales Netzschütz, wenn Motor potentialfrei geschaltet werden soll*

Achtung: Beachten Sie die Verdrahtungsvorschläge für die Wurzel-3-Schaltung auf der Hauptstromkreisseite. Ein falscher Anschluss kann zu Störungen führen.

2) Achtung Wiederanlaufgefahr!
Der Startbefehl (z. B. durch die SPS) muss vor einem Resetbefehl zurückgesetzt werden, da bei anstehendem Startbefehl nach dem Resetbefehl automatisch ein erneuter, selbsttätiger Wiederanlauf erfolgt. Dies gilt insbesondere bei Motorschutzauslösung. Aus Sicherheitsgründen wird empfohlen, den Sammelfehlerausgang (Klemmen 95 und 96) in die Steuerung einzubinden.

SIRIUS 3RW44 und Kompressor für eine biologische Kläranlage in einer Papierfabrik in China (250 kW Motor, Sanftstart, Wurzel-3-Schaltung)



Ein Sanftstarter SIRIUS 3RW4444 in Wurzel-3-Schaltung optimiert den Start des Kompressors und spart dabei auch noch erheblich Platz im Schaltschrank.

Anwendung:

Biologische Kläranlagen reinigen auch schwierigste Abwässer. Kompressoren zu niedrigen Kosten betreiben zu können, sichert die Rentabilität. Damit die Abwässer in den Belebungsbecken durch Mikroorganismen gereinigt werden können, müssen sie mit ausreichend Sauerstoff versorgt werden. Der Sanftstarter soll einen Kompressor für ein Klärbecken ansteuern, der zur Lufteinströmung über Schläuche genutzt wird (zur Anreicherung der Organismen im Schlamm mit Sauerstoff). Dazu sind Kompressoren im Leistungsbereich ab 250 kW erforderlich. Die Binowa Umweltverfahrenstechnik GmbH in Weisschütz fertigt für mehrstufige biologische Kläranlagen die dazu gehörende Steuerungstechnik und suchte nach Lösungen, die hohe Kompressorleistung mit niedrigen Kosten so schonend wie möglich für das Aggregat und das allgemeine Niederspannungsnetz zur Verfügung zustellen.

Anforderungen:

- Der Motor soll sanft gestartet werden, um die mechanische Belastung des Kompressors im Anlauf zu reduzieren
- Der Anlaufstrom muss reduziert werden, damit das Netz im Anlauf nicht zu stark belastet wird.
- Platzsparender Aufbau im Schrank, um Installationskosten zu reduzieren.
- Passwortschutz gegen unberechtigten Zugriff für getätigte Einstellungen, um im Zeitraum der Gewährleistung den Maschinenhersteller abzusichern.

Lösung:

Der optimale Start wird durch einen SIRIUS Sanftstarter 3RW4444 in Wurzel-3-Schaltung realisiert.

- Der optimierte Start des Kompressors wurde mittels einer eingestellten Drehmomentregelung realisiert. Damit wurde der Momentenstoß und die Netzbelastung durch einen hohen Anlaufstrom verhindert.
- Durch Anschluss des Sanftstarters in der sogenannten „Wurzel-3-Schaltung" konnte ein um den Faktor 0,58 leistungsmässig kleinerer und somit günstigerer

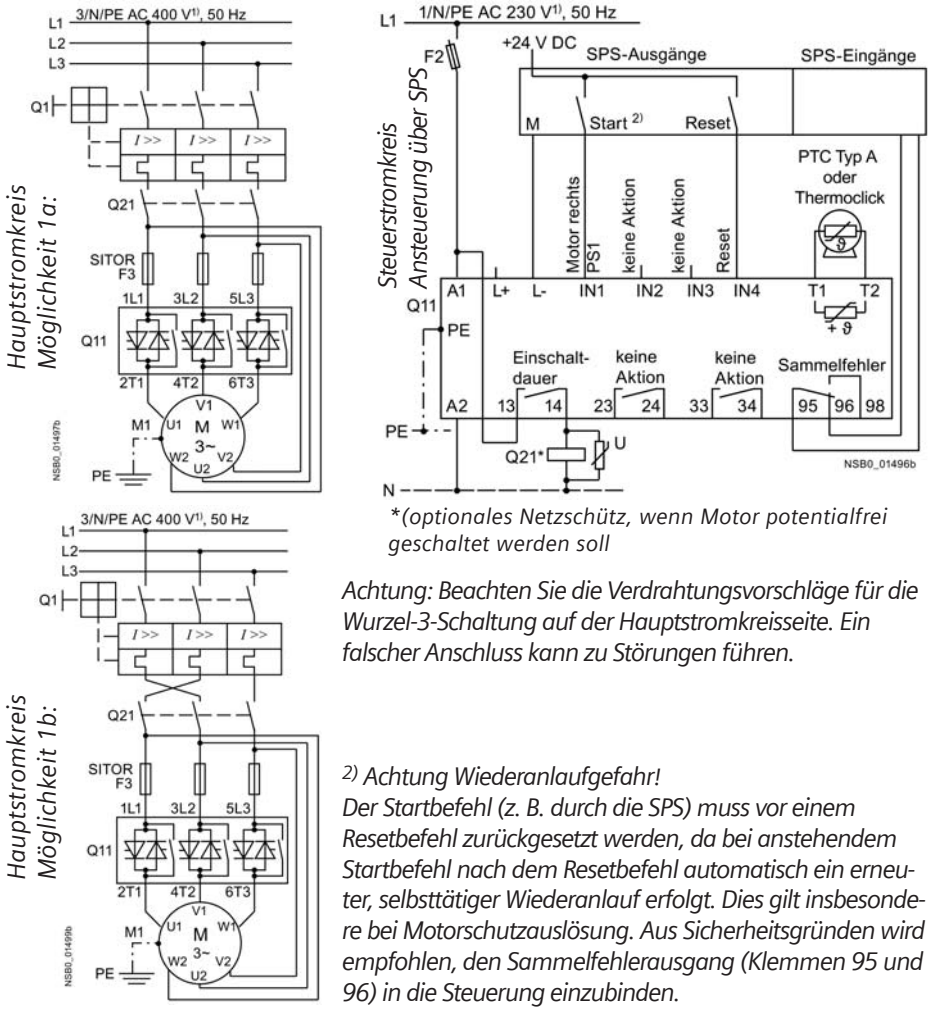
Sanftstarter ausgewählt werden. Hierdurch kann zusätzlich in Zukunft der Schaltschrankaufbau in einem 600 mm Schaltschrank anstelle eines 800 mm Schranks erfolgen und so können zusätzliche Kosten eingespart werden.

- Durch Aktivierung der Sicherheitseinstellung kann eine Parametersperre erfolgen, mit der das normale Ablesen und Bedienen des Sanftstarters und der entsprechenden Meldungen zugelassen sind, aber ein unberechtigter Zugriff auf eingestellte Betriebsparameter verhindert wird.

Parametereinstellung:

- Anlaufart: Drehmomentrampe, 50 % Startmoment, 150 % Begrenzungsmoment, 20 s Anlaufzeit.
- Auslaufart: Freier Auslauf
- Motorschutzeinstellung: CLASS10
- Sicherheit Benutzercode 1001 (Kunde nur lesen)

Schaltungsbeispiel
3RW44 in Wurzel-3-Schaltung (1a)
Drehrichtungsänderung bei Wurzel-3-Schaltung (1b)



**(optionales Netzschütz, wenn Motor potentialfrei geschaltet werden soll*

Achtung: Beachten Sie die Verdrahtungsvorschläge für die Wurzel-3-Schaltung auf der Hauptstromkreisseite. Ein falscher Anschluss kann zu Störungen führen.

2) Achtung Wiederanlaufgefahr!
Der Startbefehl (z. B. durch die SPS) muss vor einem Resetbefehl zurückgesetzt werden, da bei anstehendem Startbefehl nach dem Resetbefehl automatisch ein erneuter, selbsttätiger Wiederanlauf erfolgt. Dies gilt insbesondere bei Motorschutzauslösung. Aus Sicherheitsgründen wird empfohlen, den Sammelfehlerausgang (Klemmen 95 und 96) in die Steuerung einzubinden.

Drehstrom-Asynchronmotoren mit 160 kW Nennleistung für Siebschnecken-Zentrifugen

Sanftstarter SIRIUS 3RW4447 passen den Anlauf von Siebschneckenzentrifugen mit zwei unterschiedlichen Parametersätzen an die Beladung an.

Anwendung:

Bei der Herstellung von Salz sorgen Siebschnecken-Zentrifugen für die Separation der flüssigen Anteile von den festen Salzkristallen aus der Suspension. Bei einem Hersteller in Wunstorf stehen sechs davon, angetrieben von je einem Drehstrom-Asynchronmotor mit 160 kW elektrischer Leistung, die früher direkt über ein 1.000 A Schütz gestartet wurden. Um die damit verbundenen Belastungen zu minimieren, suchte der zuständigen Elektrobetriebsingenieur nach Anlaufalternativen.

Anforderungen:

- Reduzierung der mechanischen Belastungen im Anlauf, um dadurch die Serviceintervalle z.B. beim Wechsel des Keilriemens zu reduzieren und Anlagenstillstandszeiten zu optimieren.
- Begrenzung des Anlaufstroms zur Trafoentlastung und um Netzspannungsschwankungen zu vermindern.
- Flexibilität in der Anlaufeinstellung, da die Zentrifuge im beladenen und auch unbeladenem Zustand sanft starten soll.
- Kompakte Ausführung - ohne extra Schaltschrankklimatisierung.
- Motorüberlastschutzfunktion
- Robuste Auslegung, da es durch die inhomogene Last in den Zentrifugen teilweise zu starken Belastungsschwankungen bei der Antriebstechnik kommt.

Lösung:

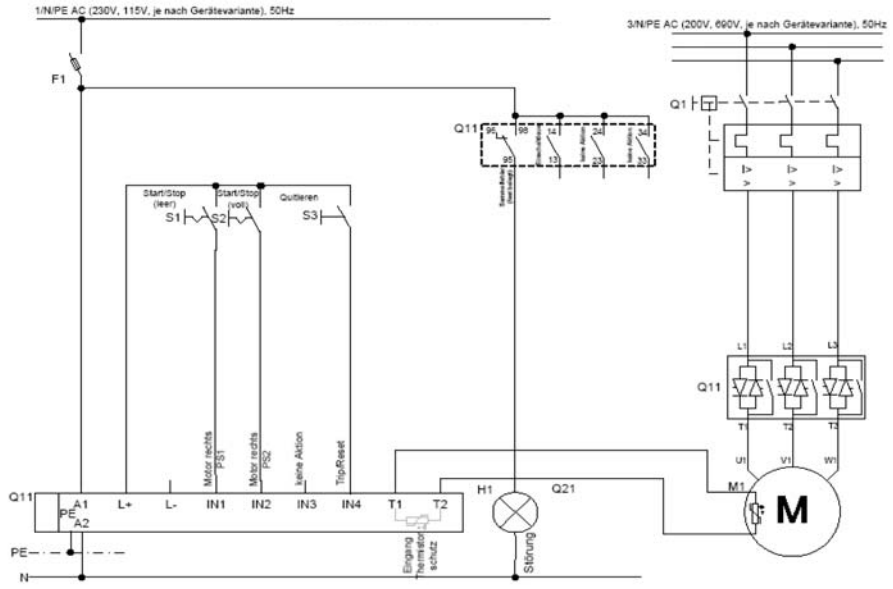
- Aufgrund der teilweise sehr langen Anlaufzeiten (bis zu 60 s) wurde für den 160 kW Motor (mit 280 A Bemessungsstrom) ein zwei Leistungsstufen größerer SIRIUS Sanftstarter 3RW4447 in Standard-schaltung gewählt. Um den Start optimal an die unterschiedlichen Anlaufverhältnisse der Maschine (beladen und leer) anzupassen, werden zwei Parametersätze zum Starten verwendet.

- Aufgrund der im Sanftstarter 3RW44 bereits im Gerät integrierten Bypassschütze wird die Wärmeverlustleistung (Abwärme) des Schaltgeräts im Betrieb gegenüber einer herkömmlichen elektronischen Starterlösung um bis zu 800 W reduziert. Auf eine zusätzliche Klimatisierung des Schaltschranks konnte somit verzichtet werden.

Parametereinstellung:

- Anlagenzustand Zentrifuge leer
  Parametersatz 1: Anlaufart: Drehmomenregelung mit Strombegrenzung, 30 % Startmoment, 150 % Begrenzungsmoment, 30 s Anlaufzeit, 350 % Strombegrenzung
- Anlagenzustand Zentrifuge voll
  Parametersatz 2: Drehmomenregelung mit Strombegrenzung, 50 % Startmoment, 150 % Begrenzungsmoment, 60 s Anlaufzeit, 350 % Strombegrenzung
- Auslaufart: Freier Auslauf
- Motorschutzeinstellung: CLASS 30

Schaltungsbeispiel
3RW44 und Ansteuerung des Motors mit zwei Parametersätzen



SIRIUS 3RW44 und 15 kW Rohrmantelpumpe im Klärwerk Adelsdorf (Sanftstart, Pumpenauslauf und Profibusanbindung)

Die Sanftstarter SIRIUS 3RW4422 können programmgesteuert über Profibus DP gestartet werden. Dadurch lässt sich bei mehreren Pumpen die Belastung auf das Netz minimieren, was auch zur Vermeidung von Spitzenlasten führt.

Anwendung:

Die Wasserversorgung von Adelsdorf bei Erlangen stützt sich auf sechs eigene Brunnen, aus denen jährlich rund 700.000 m^3 Wasser zu den angeschlossenen Haushalten gelangen. Hierzu dienen drei Rohrmantelpumpen plus zwei Kreiselpumpen, um das benötigte Volumen in die drei Hochbehälter mit 800, 1.000 und 2.000 m^3 Fassungsvermögen zu pumpen.

Die ursprüngliche Konstruktion der Rohrmantel-Pumpstationen sieht vor, dass die Motoren über Stern-Dreieck-Schaltungen starten und bis zum vollen Volumenstrom der Pumpen gegen einen geschlossenen Elektroschieber arbeiten, der sich dann langsam öffnet.

Mit den Absperrklappen und einer mechanischen Rückschlagklappe wird der Rückfluss aus dem Leitungssystem verhindert. Aufgrund der baulichen Anordnung der Komponenten gab es immer wieder Verwirbelungen im Medium, was zu Störungen durch die Strömungswächter führte, die den Trockenlauf der Pumpen überwachen und sie so vor Zerstörung schützen. Dadurch kam es immer wieder zu Ausfällen der Pumpen und auch damit verbundenen Druckschlägen im Rohrleitungsnetz.

Anforderungen:

- Durch das sanfte An- und Auslaufen soll der wartungsintensive Elektroschieber in der Anlage entfallen. Lediglich die vorhandene mechanische Rückflusssperre soll dafür sorgen, dass bei stehender Rohrmantelpumpe kein Rückfluss stattfindet.
- Einsparung von Energiekosten durch Vermeidung von Spitzenlasten.
- Im Notfall soll die Pumpe über einen Schalter vor Ort auch ohne Profibusansteuerung gestartet werden können.

Lösung:

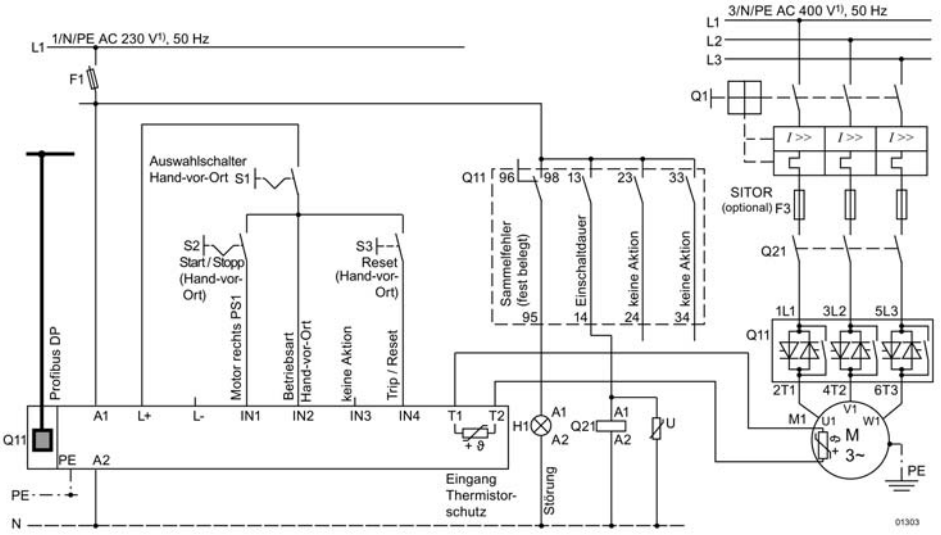
Als optimalen Sanftstarter zur Lösung aller Anforderungen wurde der SIRIUS 3RW4422 in Standardschaltung mit seiner speziell für Pumpen entwickelten Pumpenauslauffunktion und optionalem Profibus-DP-Modul gewählt.

- Durch die Möglichkeit, den Motorstrom im Sanftstarter zu erfassen und über Profibus an das übergeordnete Leitsystem zu melden, sind die Verantwortlichen in Adelsdorf nun in der Lage, die Pumpen programmgesteuert versetzt anlaufen zu lassen, um so Stromspitzen zu vermeiden. Visualisiert wird alles über WinCC von Siemens. Die Stromüberwachung hat eine weitere Verbesserungen zutage gefördert. Im Vergleich zum Anlaufstrom der 15 kW Pumpen mit Stern-Dreieck-Start von etwa 200 A im Umschaltpunkt benötigt die neue Sanftstarterlösung lediglich 80 A. Vor allem im Sommer, wenn zwei oder drei Pumpen gleichzeitig anlaufen, wirkt sich diese Volllast-Reduzierung extrem positiv aus.
- Der sanfte Start der Pumpe wurde mittels einer eingestellten Drehmomentrampe realisiert. Die Funktion des langsamen Flussaufbaus des Wassers, was der Elektroschieber zum Anfahren der Pumpe früher übernommen hatte, wird nun mittels der Drehmomentregelung des Sanftstarters realisiert. Hierdurch wird auch die Netzbelastung durch einen hohen Anlaufstrom verhindert.
- Das abrupte Stoppen der Pumpe wurde durch die speziell für den SIRIUS Sanftstarter 3RW44 entwickelte Pumpenauslauffunktion verhindert. Dadurch entsteht kein Wasserschlag beim Abschalten der Pumpe und das Rohrleitungssystem wie auch die Rückschlagklappe wird mechanisch geschont.
- Schaltungstechnische Realisierung einer manuellen Hand-Vor-Ort-Schaltung

Parametereinstellung:

- Anlaufart: Drehmomentrampe, 20 % Startmoment, 150 % Begrenzungsmoment, 15 s Anlaufzeit
- Auslaufart: Pumpenauslauf, Stoppmoment 10 %, Auslaufzeit 10 s
- Eingang 2 umgestellt auf Funktion Hand-vor-Ort
- Motorschutzeinstellung: CLASS10

Schaltungsbeispiel
Ansteuerung über Profibus mit Umschaltung auf Hand-vor-Ort-Bedienung



250 kW Drehstrom-Asynchronmotor als Antrieb eines Universal-Querstromzerspaners

Beim Recycling von Elektroschrott schont ein Sanftstarter 3RW4447 den hoch belasteten Antrieb beim Anlauf und im Betrieb.

Anwendung:
Der schwäbische Recyclinganlagenhersteller MeWa sorgte auf der Entsorgungsmesse IFAT 2005 in München mit seiner Präsentation des Querstromzerspaners (QZ) Uni-Cut QZ 2000 HD für Aufsehen. Mit dem QZ hat das Unternehmen als erstes auf die bis dahin traditionelle Zerkleinerungstechnik verzichtet und diese durch ein neuartiges Aufschlussverfahren mittels Beschleunigungswerkzeugen ersetzt. Dabei rotieren riesige, massive Ketten um eine Achse, ähnlich einem Haushaltsmixer, und zerkleinern den hindurch fallenden Schrott auf die gewünschte Größe. Das Herzstück, der 250 kW Drehstrom-Asynchronmotor, benötigt auf der elektrischen Seite aufgrund des besonders schweren Anlaufs eine sehr anspruchsvolle Startauslegung.

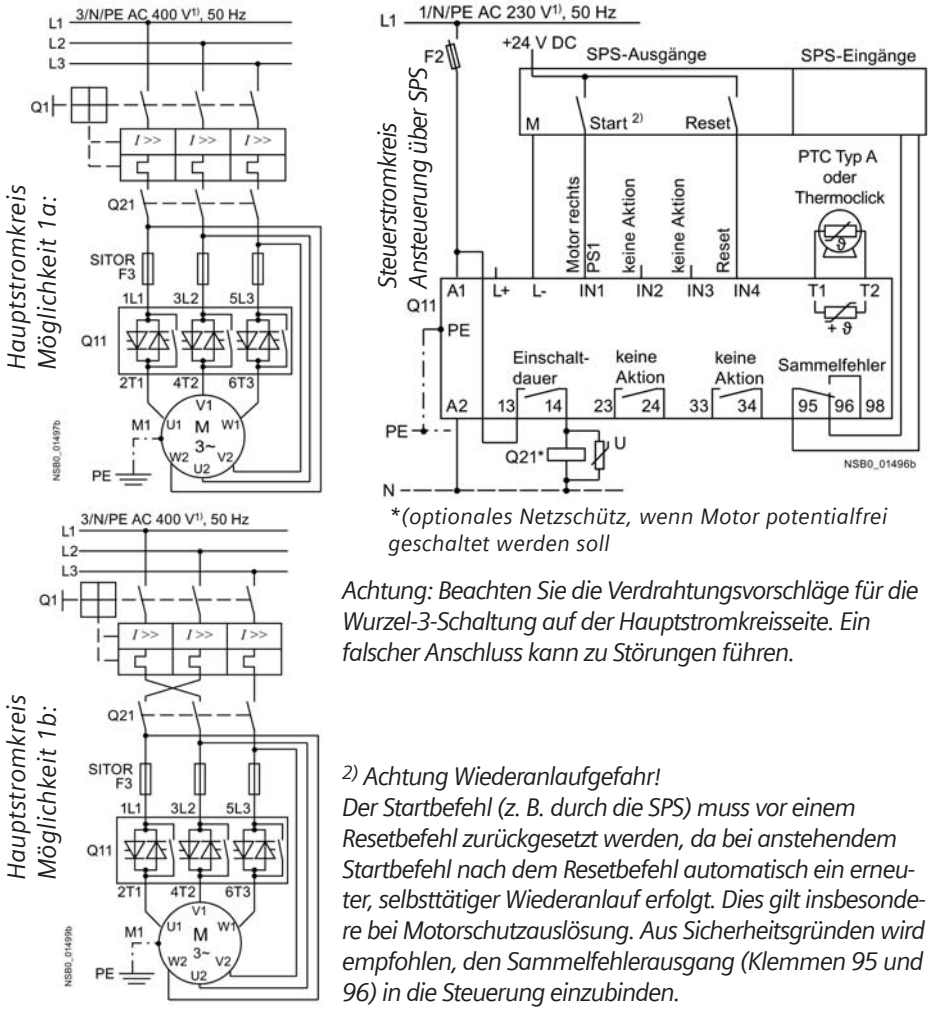
Anforderungen:
- Vermeidung von Netzschwankung beim Start.
- Schonender Anlauf, um Verschleiß zu mindern.
- Integrierte Überlastfunktion, wodurch eine Beschädigung der Maschine durch das Abschalten des Motors beim Verklemmen von Metallteilen verhindert werden kann.
- Platz sparen im Schaltschrank.

Lösung:
Die Anforderungen werden von dem zwei Leistungsstufen (aufgrund der möglichen langen Anlaufzeiten) höher dimensionierten SIRIUS 3RW4447 in Wurzel-3-Schaltung optimal gelöst.
- Als Startart wurde eine Spannungsrampe mit Strombegrenzung gewählt, um das Netz und die Mechanik des Zerkleinerers während des Anlaufs zu schonen.
- Aufgrund der großen Massenträgheit der Maschine und der damit verbundenen langen Anlaufzeiten wurde der Sanftstarter drei Leistungsgrößen höher dimensioniert.

Parametereinstellung:

- Anlaufart: Spannungsrampe mit Strombegrenzung, 20 % Startspannung, 40 s Anlaufzeit, Strombegrenzung eingestellt auf 350 % Motorbemessungsstrom
- Auslaufart: Freier Auslauf
- Motorschutz: CLASS 30

Schaltungsbeispiel
3RW44 in Wurzel-3-Schaltung (1a)
Drehrichtungsänderung bei Wurzel-3-Schaltung (1b)



**(optionales Netzschütz, wenn Motor potentialfrei geschaltet werden soll*

Achtung: Beachten Sie die Verdrahtungsvorschläge für die Wurzel-3-Schaltung auf der Hauptstromkreisseite. Ein falscher Anschluss kann zu Störungen führen.

2) Achtung Wiederanlaufgefahr!
Der Startbefehl (z. B. durch die SPS) muss vor einem Resetbefehl zurückgesetzt werden, da bei anstehendem Startbefehl nach dem Resetbefehl automatisch ein erneuter, selbsttätiger Wiederanlauf erfolgt. Dies gilt insbesondere bei Motorschutzauslösung. Aus Sicherheitsgründen wird empfohlen, den Sammelfehlerausgang (Klemmen 95 und 96) in die Steuerung einzubinden.

Drei 140 kW Elektromotoren als Antrieb für Hydraulikpumpen auf Scot-Tankschiffen

Mithilfe des Sanftstarters SIRIUS 3RW4074 wird das Bordnetz weniger belastet und die Pumpen werden geschont.

Anwendung:
Mit der, durch drei 140 kW Elektromotoren betriebenen Hydraulik wird auf den 120 m langen Scot-Tankschiffen der Reederei Wappen aus Hamburg die Fracht - Chemikalien oder Öl - abgepumpt. Darüber hinaus werden auch alle anderen hydraulisch betriebenen Anlagenteile, wie beispielsweise die Winden, der Anker oder die Gangway von der Zentralhydraulik versorgt.

Anforderungen:
- Druckstöße beim Anlauf vermeiden, um den Verschleiß und den Wartungsaufwand zu minimieren.
- Einschaltstromspitzen vermeiden, um die Belastung der Generatoren an Bord zu reduzieren.
- Hoher Qualitätsanspruch, da die Tanker der Reederei Wappen als die sichersten ihrer Klasse gelten.
- Robuste Potentiometer, die sich nicht durch dauernde bzw. starke Vibrationen auf Schiffen von alleine verstellen.
- Geringe Verlustleistung des Schaltgeräts, um die Abwärme im Schaltschrank zu minimieren.

Lösung:
Die Anforderungen werden von SIRIUS 3RW4074 optimal gelöst.
- Der maximale Einschaltstrom kann dank der eingestellten Strombegrenzung auf ein zulässiges Maß begrenzt werden und das Bordnetz, welches über Generatoren versorgt wird, entsprechend stabil bleiben.
- Durch die Sanftstartfunktion konnten Schaltschläge und Druckstöße an der Pumpe auf ein Mindestmaß gesenkt werden.

- Dank der im Sanftstarter integrierten Bypasskontakte wird die Verlustleistung des Schaltgeräts im Betrieb auf ein Mindestmaß gesenkt. Zusätzliche Kosten durch z. B. Extra-Kühlung über Klimageräte oder kostenintensive Lösungen wie externe (Bypass) Schütze und entsprechenden Verdrahtungsaufwand und Platzbedarf im Schaltschrank, konnten so verhindert werden.

Parametereinstellung:

- Anlaufart: Spannungsrampe, 40 % Startspannung, 10 s Anlaufzeit und 3,0-fache Anlaufstrombegrenzung
- Auslaufart: Freier Auslauf
- Motorschutzeinstellung: CLASS10

200 kW Pumpenantriebe für eine hydraulische Stufenpresse

Fünf Sanftstarter SIRIUS 3RW40 sorgen in der Stufenpresse dafür, dass Druckstöße in den Hydraulikpumpen vermieden werden. Gegenüber einer Stern-Dreieck-Starterlösung konnte sogar 50 Prozent Platz im Schaltschrank gespart werden.

Anwendung:

Für ZF Sachs in Friedrichshafen hat die Schuler Hydrap GmbH in Plüderhausen eine Stufenpresse gebaut, die im Werk Mexiko Deckel für Wandlergetriebe herstellt. Der Grund für diese Bestellung ist die steigende Nachfrage nach Automatikgetrieben für Pkw. Während für solche Aufgaben früher mehrere Einzelmaschinen zu einer Pressenstraße kombiniert wurden, integriert die neue THC 2000 sämtliche Einzelschritte bis zum fertigen Endprodukt in einer einzigen Maschine.

Anforderungen:

- Platzeinsparung aufgrund von mangelndem Raum in den Schaltschränken.
- Einfache Parametrierung über Potentiometer und Schraubendreher, um schnellen Service und Inbetriebnahme zu garantieren.
- Reduzierung von Druckstößen. Je sanfter der Druckaufbau in den Pumpen stattfindet, desto einfacher haben es die Druckregelventile, den vorgegebenen Druck konstant zu halten. (Erlaubte Drucküberschwinger < 5 %)
- Vermeidung von Schaltschlägen durch sanften Anlauf, um die Lebensdauer der Pumpen zu erhöhen und die Stillstandszeiten durch deren Wartung zu reduzieren.

- Energieeinsparungen durch Abschalten und wieder sanftes Starten von Pumpen in bestimmten Presszyklen. Im Test befundene Leistungsoptimierer brachten nicht das gewünschte Ergebnis, da sich Verbesserungen lediglich an der Scheinleistung, nicht jedoch an der Wirkleistung ergeben haben. Laufen Regelpumpen in Haltezyklen leer, hat es sich als sinnvoller erwiesen die Pumpen ganz abzuschalten und sie bei einer Druckanforderung des Systems wieder über Sanftanläufer schnell und sanft hochzufahren.

Lösung:
Die Anforderungen werden von SIRIUS 3RW4075 optimal gelöst.

- Mit der SIRIUS 3RW40 Lösung konnte gegenüber der früheren Stern-Dreieck-Starterlösung 50 % Schaltschrankplatz eingespart werden. Die fünf Sanftstarter starten die jeweils 200 kW Pumpen jetzt aus einem 1.200 mm Schaltfeld.
- Die einfache Inbetriebnahme und der Service können auch ohne hochqualifiziertes Fachpersonal ohne Spezialhilfsmittel über Potentiometereinstellung erledigt werden.
- Durch die Sanftstartfunktion konnten Schaltschläge und Druckstöße an der Pumpe auf ein Mindestmaß gesenkt werden.
- 3RW40

Parametereinstellung:

- Anlaufart: Spannungsrampe, 50 % Startspannung, 5 s Anlaufzeit und 2,5-fache Anlaufstrombegrenzung
- Auslaufart: Freier Auslauf
- Motorschutzeinstellung: CLASS10

3RW44 startet und bremst eine 45 kW Kontaktband-Schleifmaschine

Über die DC-Bremsfunktion des SIRIUS 3RW4435 können Antriebe schnell stillgesetzt werden.

Anwendung:

Das Auerhammer Metallwerk im sächsischen Aue ist in Europa ein führender Hersteller von Thermobimetallen. Ein wichtiger Teil im gesamten Fertigungsprozess ist die Oberflächenbearbeitung der in Bandform angelieferten Rohmetalle durch Schleifen. Dieses übernehmen Kontaktband-Schleifmaschinen in mehreren Stufen. Dabei werden die Metallbänder von Coils abgewickelt und nach der betreffenden "Schleif-Stufe" wieder aufgewickelt. Je nachdem wie gut die Oberflächengüte sein soll durchläuft ein Metallband alle vier Bearbeitungsstufen, bis es schließlich in weiterführenden Prozessen auf das benötigte Maß abgelängt wird. Im Zuge einer Anlagenmodernisierung nach 20 Jahren Betrieb wurden auch die vier Hauptantriebe der für den Schleifprozess eingesetzten Schleifbänder in den einzelnen Stufen erneuert.

Anforderungen:

- Schleifbänder nützen sich bei den zähen Werkstücken schnell ab. Dadurch ergeben sich ein bis zwei Wechsel pro Stunde und Antrieb. Wenn die Schleifbänder gewechselt werden müssen, soll der Antrieb schnell Stillgesetzt werden.
- Entlastung des Antriebs beim Anlauf. Jeder Stopp und der folgende Wiederanlauf haben deshalb in der Vergangenheit nicht nur das Stromnetz und die Motoren belastet,sondern auch die Keilriemen.
- Echtzeiterfassung der Motorleistung, um Rückschlüsse auf die Schleifbandabnutzung bzw. den Anpressdruck zu erlangen und den Bearbeitungsprozess zu optimieren.
- Anzeige der Betriebsdaten (Ströme, Leistung, Fehlermeldungen)
- Einbindung in das moderne, busbasierte Anlagenkonzept
- Motor-Überlastschutz

Lösung:

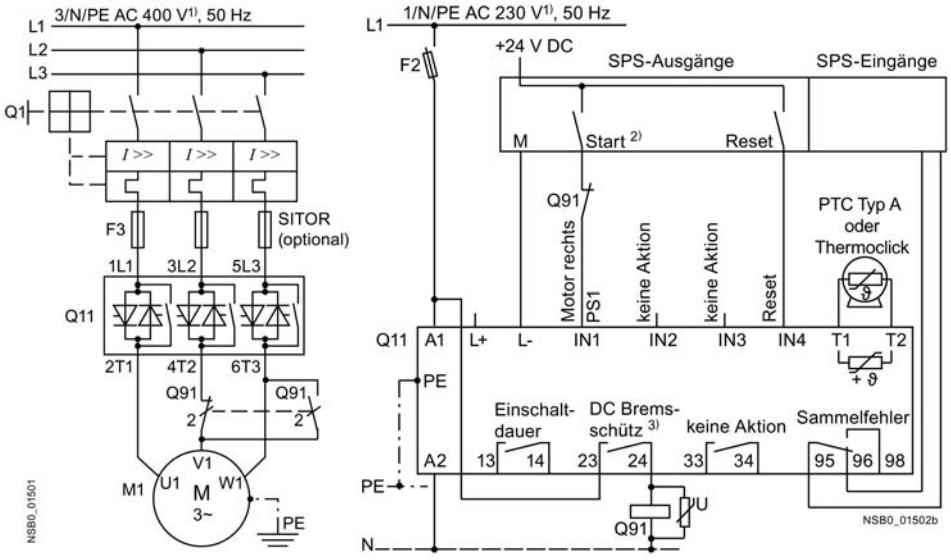
Es wird ein SIRIUS 3RW4435 gewählt. Wegen der langen Anlaufzeiten sowie der eingestellten Funktion "DC-Bremsen" wird der Sanftstarter drei Leistungsstufen höher dimensioniert.

- Die Anforderung zum schnellen Stillsetzen des Antriebs wurde mit der DC-Bremsenfunktion des 3RW44 erreicht. Die frühere Lösung über Trafos und Gleichrichterbaugruppen konnte entfallen.
- Die exakte Einstellungen der Start- und Bremsparameter erfolgte sehr komfortabel über die Engineering Software "Soft Starter ES" und konnten sich so auch einfachst dokumentieren lassen.
- Mithilfe des optionalen Profibus-DP-Moduls, mit dem man die 3RW44 Sanftstarter nachrüsten kann, konnte der Abzweig optimal in die Steuerungsebene eingebunden werden. Aktuelle Werte wie Strom, Leistung, Warn-und Störmeldungen führten somit zu einer Optimierung des Bearbeitungsprozesses.

Parametereinstellung:

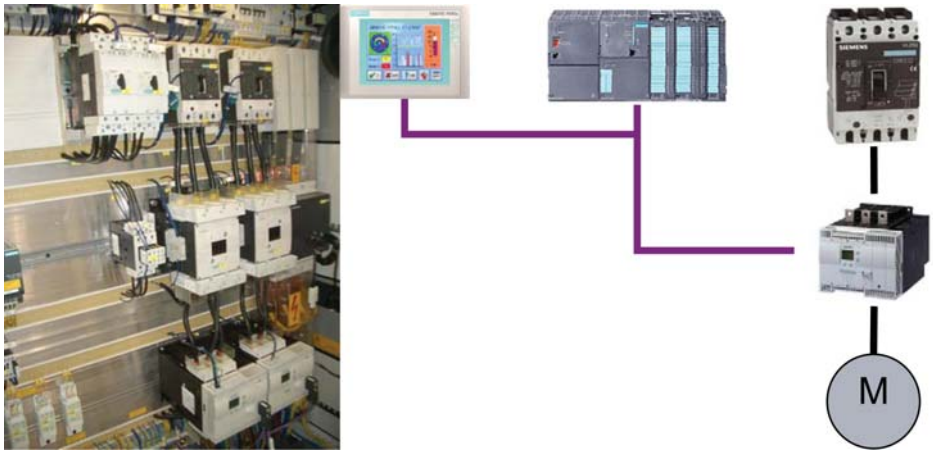
- Anlaufart: Drehmomentregelung mit Strombegrenzung, 20 % Startmoment, Begrenzungsmoment 150 %, 40 s Anlaufzeit, Strombegrenzung eingestellt auf 400 % Motorbemessungsstrom
- Auslaufart: DC-Bremsen, DC-Bremsmoment 50, Auslaufzeit 15 s
- Ausgang eingestellt auf Funktion „DC-Bremsschütz"
- Motorschutzeinstellung: CLASS 30

Schaltungsbeispiel
3RW44 in Standardschaltung und Auslauffunktion DC-Bremsen[3)]
für Gerätetypen 3RW44 22 bis 3RW44 25



2) Achtung Wiederanlaufgefahr! Der Startbefehl (z. B. durch die SPS) muss vor einem Resetbefehl zurückgesetzt werden, da bei anstehendem Startbefehl nach dem Resetbefehl automatisch ein erneuter, selbsttätiger Wiederanlauf erfolgt. Dies gilt insbesondere bei Motorschutzauslösung. Aus Sicherheitsgründen wird empfohlen, den Sammelfehlerausgang (Klemmen 95 und 96) in die Steuerung einzubinden.
3) Wird die Auslauffunktion "Kombiniertes Bremsen" gewählt, wird kein Bremsschütz benötigt. Wird die Auslauffunktion "DC Bremsen" gewählt, muss zusätzlich ein Bremsschütz eingesetzt werden. Für Applikationen mit größeren Schwungmassen ($J_{Last} > J_{Motor}$) wird die Funktion "DC Bremsen" empfohlen. Der Ausgang 2 muss auf "DC Bremsschütz" umgestellt werden.

Umrüstung der Groß-Presse mit jeweils 2x90 kW Antrieben im Presswerk eines Automobilherstellers



Bei der Modernisierung von Hydraulik-Großpressen hat der Sanftstarter SIRIUS 3RW4427 gezeigt, dass damit Platz und Verdrahtungsaufwand gespart werden kann. Außerdem hat sich die Belastung auf die Pumpen sowie die Mechanik reduziert und über den Profibus DP lassen sich zudem Diagnosedaten abrufen.

Anwendung:
Im Zuge des Umbaus zur Modernisierung der vier Hydraulik-Großpressen eines deutschen Automobilherstellers soll die Ansteuerung der jeweils beiden 90 kW Pressenmotoren im Schaltschrank modernisiert und die vorhande Stern-Dreieck-Lösung durch eine Sanftstarterlösung optimiert werden.

Anforderungen:
- Vermeidung von Schaltschlägen und Druckstößen durch sanften Anlauf, um die Lebensdauer der Pumpen zu erhöhen und die Stillstandszeiten durch deren Wartung zu reduzieren.
- Platzeinsparung im Schaltschrank gegenüber einer herkömmlichen Lösung.
- Leistungsschalter SENTRON 3VL zum Schutz der Anlage (keine Sicherung als Ersatzteil notwendig)
- Kommunikation über Profibus DP
- Simatic S7-300: Steuerung der Anlage
- Bedienung und Anzeige direkt an der Presse (WinCC flexible)

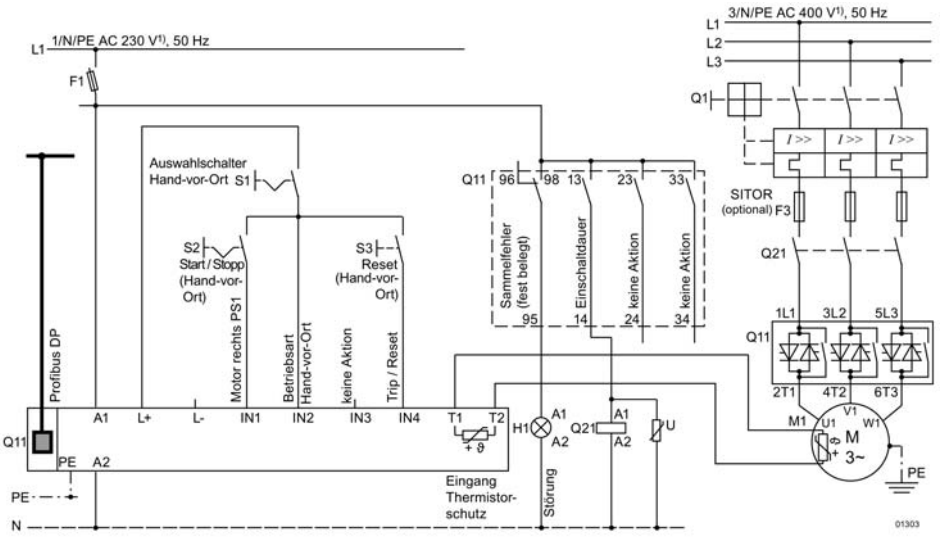
Lösung:
Als optimalen Sanftstarter zur Lösung aller Anforderungen wurde der SIRIUS 3RW4427 in Wurzel-3-Schaltung gewählt.

- Bis zu 2/3 weniger Platzbedarf im Schaltschrank als Y-Δ Starter.
- Verdrahtungseinsparung; nur ein Sanftstarter statt drei Schütze.
- Reduzierung der mechanischen und elektrischen Belastung im Anlauf durch eingestellte Sanftstartfunktion.
- Kommunikation per Profibus über optional nachrüstbares Profibus-DP-Modul. Hierdurch Diagnose und Anzeige am Panel sowie Parametrierung über die SPS.

Parametereinstellung:

- Anlaufart: Drehmomentrampe, 20 % Startmoment, 150 % Begrenzungsmoment, 15 s Anlaufzeit
- Auslaufart: Freier Auslauf
- Eingang 2 umgestellt auf Funktion Hand-vor-Ort
- Motorschutzeinstellung: CLASS10

Schaltungsbeispiel
Ansteuerung über Profibus mit Umschaltung auf Hand-vor-Ort-Bedienung



3RW44 steuert 168 kW Pulvermühle und ersetzt die Turbokupplung bei WBB Minerals in England

In einer Mühle wurde ein Sanftstarter SIRIUS 3RW4453 eingesetzt, um damit eine mechanische Sanftanlauflösung auf Basis einer hydraulischen Turbokupplung zu ersetzen.

Anwendung:

WBB Minerals, einer der führenden Anbieter für industrielle Minerale, modernisiert laufend seine Extraktions- und Produktionstechniken. Zum Mahlen und Weiterverarbeiten von Ton sind vier Mühlen mit jeweils 168 kW Motoren Antriebsleistung im Einsatz. Rund um die Uhr - 24 Stunden, 7 Tage pro Woche - wird so ein Jahresdurchsatz von 100.000 Tonnen Ton erreicht. Der vorhandenen mechanischen Technik zum sanften Start der Antriebe über hydraulische Turbokupplungen standen hohen Wartungskosten und damit verbunde Stillstandzeiten im Abstand von drei Monaten gegenüber. Zudem birgt das heiße Hydrauliköl, das über die Sicherheitsventile austreten kann, eine Gefährdung für Bedienpersonal, Brand- und Umweltschutz.

Anforderungen:

- Neue Sanftstartlösung, dadurch Reduzierung der laufenden Wartungskosten und Stillstandszeiten der Mühlen.
- Erhöhung der Betriebssicherheit für Personal und des Brandschutzes.
- Erhöhung des Motorschutzes durch zusätzliche PTC-Auswertung des Motors.
- Anzeige von Stör- und Messwerten an der Schaltschranktür.

Lösung:

Aufgrund der sehr hohen Schwungmasse (Massenträgheit) der Mühle und dem damit verbundenen Schweranlauf, wurde ein drei Leistungsstufen größerer 3RW4453 in Standardschaltung gewählt.

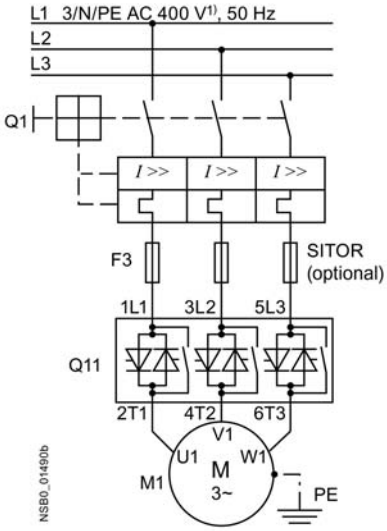
- Der sanfte Start wurde mit einer Drehmomentregelung mit überlagerter Strombegrenzung gelöst.
- Aufgrund der wartungsfreien, elektronischen Starterlösung gingen die wartungsbedingten Produktionstillstandskosten spürbar zurück.
- Durch eine Auswertung des im Motor integrierten Temperaturfühlers in Kombination mit dem elektronischen Überlastschutz durch den 3RW44 ist der thermische Motorschutz optimal erfüllt.

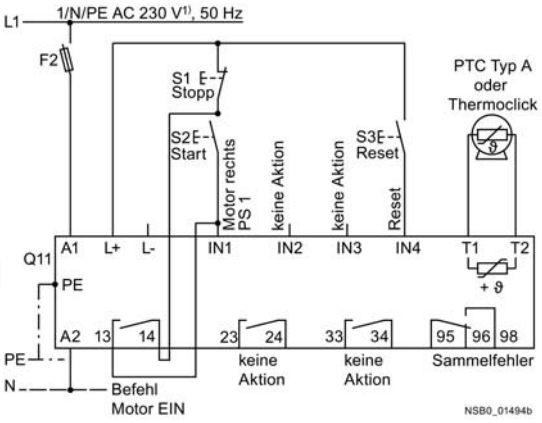
- Durch den Einsatz der Engeneering Software "Soft Starter ES" konnte bei der Inbetriebnahme der Motorstartstrom online auf dem PC protokolliert und damit der Start der Antriebe optimiert eingestellt werden. Dies und die eingestellten Parameter ließen sich so komfortabel dokumentieren.
- Das mit dem Sanftstarter verbundene optionale externe Anzeige- und Bedienmodul zeigt alle wichtigen Warn-, Mess- und Betriebswerte - sicher für das Bedienpersonal - bei geschlossenem Schaltschrank an der Tür an.

Parametereinstellung:

- Anlaufart: Drehmomentregelung mit Strombegrenzung, 20 % Startmoment,150 % Endmoment, 60 s Anlaufzeit, Strombegrenzung eingestellt auf 400 % Motorbemessungsstrom
- Auslaufart: Freier Auslauf
- Motorschutzeinstellung: CLASS 30, Temperatursensor PTC-Typ A

Schaltungsbeispiel
3RW44 in Standardschaltung mit Ansteuerung über Taster (1a)
Alternativer Abzweigaufbau in der Standardschaltung (1b, 1c)

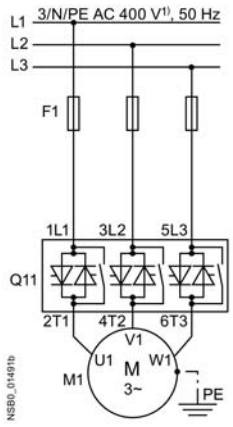




Steuerstromkreis:

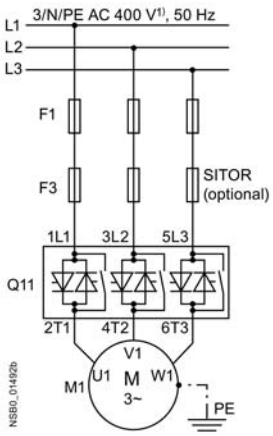
Hauptstromkreis:
Möglichkeit 1a: Standardschaltung mit Leistungsschalter und SITOR-Sicherung (reiner Halbleiterschutz).

Hauptstromkreis
Möglichkeit 1b:



Möglichkeit 1b: Standardschaltung mit Ganzbereichssicherung (Leitungs- und Halbleiterschutz).

Möglichkeit 1c:



Möglichkeit 1c: Standardschaltung mit Leitungs- und SITOR-Sicherung (reiner Halbleiterschutz).

Mastertree für Systeme und Lösungen im Internet

Die sinnvolle Zusammenstellung des umfangreichen Produkt-, System- und Lösungsportfolios von Siemens wird als "Mastertree" bezeichnet. Der in sich logische Aufbau erleichtert es Anwendern, die richtigen Antworten auf die Fragen im Alltag zu finden.
Der in Baumstruktur aufgebaut Mastertree im Internet visualisiert das gesamte Leistungsspektrum von Siemens. Er dient gewissermaßen als Landkarte, um den besten Weg zur optimalen Lösung möglichst schnell zu finden.
Weil die Datenvielfalt heutzutage unglaublich riesig geworden ist und zudem die Innovationszyklen immer kürzer werden, bildet dieses Kapitel lediglich die Baumstruktur im Internet in gewisser Weise nach. Das Kapitel dient also dazu, einen schnellen Überblick zu erhalten, welche Lösungsmöglichkeiten prinzipiell bestehen und besitzt keinen Anspruch auf Vollständigkeitkeit.
Sämtliche Details und Veränderungen zu Produkten, Lösungen, Systemen etc. der Niederspannungs-Schalttechnik bzw. Unterstützung, Handbücher, Hinweise etc. finden Sie im Internet unter:

Schritt 1: "www.siemens.de/automation"
Schritt 2: "Produkte & Lösungen"
Schritt 3: "Niederspannungs-Schalttechnik"
Schritt 4: "Industrielle Schalttechnik" oder "Niederspannungs-Energieverteilung"
Schritt 5: "Support"
Schritt 6: "Service & Support" (dann wird der Mastertree sichtbar)

Ergänzend zur Produktliste können Sie in der Beitragsliste folgende Beitragsarten selektieren:

- Alle Typen
- Aktuell
- Software-Downloads
- FAQ
- Handbücher/ Betriebsanleitungen
- Kennlinien
- Zertifikate

Der Mastertree der Niederspannungs-Schalttechnik im Internet.

Industrielle Schalttechnik

Systeme

AS-Interface / Master

DP/AS-Interface Link Advanced

Das DP/AS–i Link ist gleichzeitig Profibus-DP Slave und AS-Interface Master.
Mit Hilfe des Geräts können Sie von Profibus DP auf die Ein- und Ausgänge der AS-i Slaves zugreifen. Sie können hierbei je nach Slave-Typ auf Binärwerte oder Analogwerte zugreifen.

Folgende AS-i Slaves können verwendet werden:

- Standard-Slaves / Analog-Slaves
- Slaves mit erweitertem Adressbereich (extended addressing mode)
- Slaves mit Datentransfermechanismen nach AS-i Spezifikation V3.0 - Combined Transaction Type (CTT) 1-5.

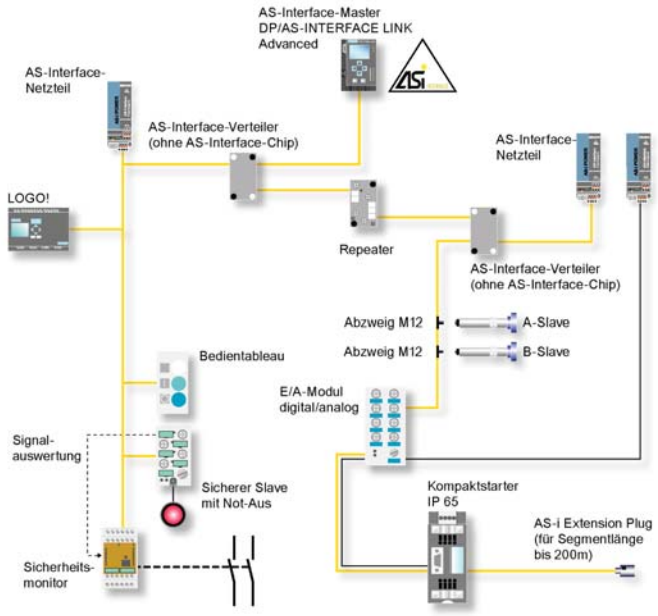
Das DP/AS–i Link ist Profibus DPV1-Slave (nach EN 50 170) und AS-Interface Master (gemäß AS-Interface-Spezifikation V3.0 nach EN 50 295) und ermöglicht den transparenten Datenzugriff auf AS-Interface von Profibus DP aus. Profibus DP-Master nach DPV0 oder DPV1 können E/A-Daten mit den unterlagerten AS-Interface Slaves zyklisch austauschen, DP-Master mit azyklischen Diensten nach DPV1 können zusätzlich AS-i-Masteraufrufe durchführen (Parameter, Diagnose).
Neben den digitalen E/A-Daten werden auch analoge Daten im zyklischen Peripheriebereich einer S7-300/400 CPU performant abgelegt (kein separater Aufruf von Kommunikationsbausteinen erforderlich).
Das DP/AS–i Link ist als Einfach-Master und als Doppel-Master erhältlich.

Über ein integriertes Bediendisplay lässt sich der unterlagerte AS-i Strang komplett in Betrieb setzen (z.B. Adressierung der AS-i Slaves, IO-Test aller digitalen und analogen Slaves). Während des Betriebs stehen dem Anwender detaillierte Diagnoseinformationen am Display zu Verfügung, die bei Bedarf den Fehlerort unmittelbar lokalisieren. Das DP/AS-i Link ist mit einem zusätzlichen Ethernet-Port ausgestattet, der das Nutzen des integrierten Webservers und Firmware Updates ermöglicht.

DP/AS-Interface Link Advanced

Die wichtigsten Merkmale des DP/AS-i Link sind:

- Einfach- und Doppel- AS-Interface Master (nach AS-Interface-Spezifikation V3.0) zum Anschluss von je 62 AS-Interface Slaves und integrierte Analogwertübertragung
- Integrierte Erdschlussüberwachung für die AS-Interface Leitung
- Komfortable Diagnose und Inbetriebnahme vor Ort über vollgrafisches Display und Bedientasten oder über Webinterface mit Standardbrowser
- Optimale TIA-Einbindung über Step 7, Einbindung in Engineering Tools von Fremdherstellern über Profibus-Typdatei (GSD)
- vertikale Integration (Standard-Web Interface) über Industrial Ethernet
- Versorgung aus der AS-Interface Leitung (Strang 1) daher keine zusätzliche Stromversorgung erforderlich, alternativ kann auch mit 24 V DC versorgt werden
- Baugruppentausch ohne Programmiergerät (PG) durch C-PLUG (optional verfügbares Wechselmedium zur Sicherung der Konfigurations- bzw. Projektierungsdaten des Grundgeräts und der AS-i Slaves)



Systembeispiel für einen Aufbau mit DP/AS-i Link Advanced.

Profinet IO-Device und AS-Interface -Master

IE/AS - i Link ist gleichzeitig Profinet IO-Device und AS-Interface -Master:

- IE/AS -i Link verbindet das Aktor-Sensor-Interface mit Profinet IO.
- Mit Hilfe des IE/AS-i Link können Sie von Profinet IO auf die Eingänge und Ausgänge der AS-i Slaves zugreifen. Sie können hierbei je nach Slave-Typ auf Binärwerte und / oder Analogwerte zugreifen.

Folgende AS-i Slaves können verwendet werden:
- Standard-Slaves / Analog-Slaves / Kombi-Slaves
- Slaves mit erweitertem Adressbereich (extended addressing mode)
- Slaves mit Datentransfermechanismen nach AS-i-Spezifikation V3.0 - Combined Transaction Type (CTT) 1-5.

Das IE/AS-Interface Link PN IO ist Profinet-Device (nach IEC 61158) und AS-Interface -Master (gemäß AS-Interface -Spezifikation V3.0 nach EN 50 295) und ermöglicht den transparenten Datenzugriff auf AS-Interface von Profinet IO aus.

CP 343–2 / CP 343–2 P AS–Interface Master

Die Baugruppe CP 343-2 ist in den Automatisierungssytemen (SPS) der Reihe S7-300 und im System ET 200M betreibbar. Sie ermöglicht den Anschluss eines AS-i-Strangs an die oben genannten Automatisierungssysteme.
Mit Hilfe des CP 343-2 können Sie vom AS aus auf die Ein- und Ausgänge der AS-i-Slaves zugreifen. Sie können hierbei je nach Slave-Typ auf Binärwerte oder Analogwerte zugreifen.
Folgende AS-i-Slaves können verwendet werden:
- Standard-Slaves
- Slaves mit erweitertem Adressbereich (extended adressing mode)
- Analog-Slaves nach Slave-Profil 7.3/7.4

DP/AS–Interface Link 20E

DP/AS-i Link 20E ist gleichzeitig Profibus-DP Slave und AS-Interface Master:
- DP/AS-i Link 20E verbindet das Aktor-Sensor-Interface mit Profibus DP.
- Mit Hilfe von DP/AS-i Link 20E können Sie vom Profibus DP auf die Ein- und Ausgänge der AS-i-Slaves zugreifen. Sie können hierbei je nach Slavetyp auf Binärwerte oder Analogwerte zugreifen.

Folgende AS-i-Slaves können verwendet werden:
- Standard-Slaves / AS-i Analogslaves
- Slaves mit erweitertem Adressbereich (extended adressing mode)

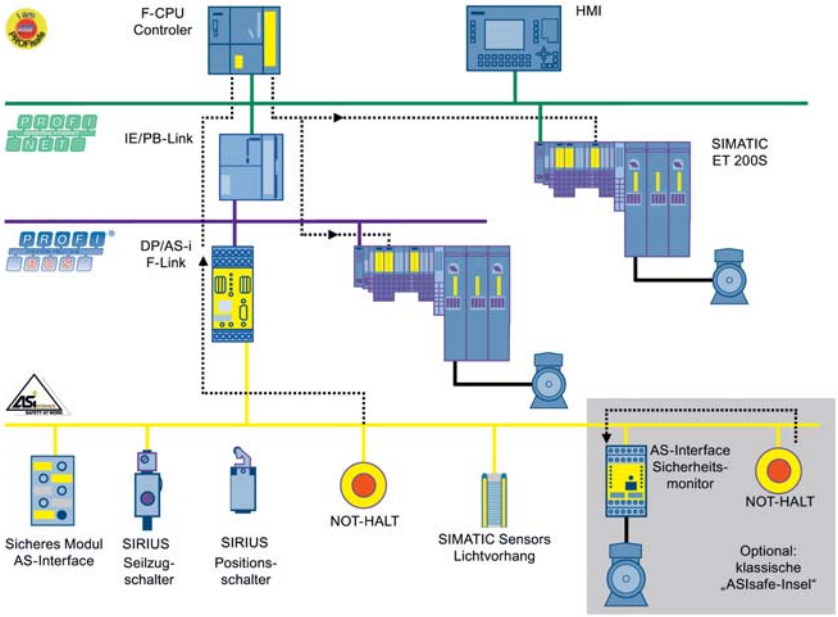
DP/AS-i Link 20E ermöglicht den byte- und wortkonsistenten E/A-Datenaustausch mit einem DPV0-, DPV1-Master und den AS-i-Slaves.

DP/AS-Interface Link 20 E.

DPV0-Betrieb:
Im DPV0-Betrieb können mit max. 32/32 Byte E/A bis zu 62 digitale AS-i-Slaves bei einer Übertragungsgeschwindigkeit von 9,6 kbit/s bis zu 12 Mbit/s bedient werden. Die Kommandoschnittstelle sowie der einfache Zugriff auf die AS-i Analogwerte nach dem AS-i Slave-Profil 7.3/7.4 sind im DPV0-Betrieb nicht verfügbar.
DPV1-Betrieb:
Im DPV1-/DPx-Betrieb können mit max. 32/32 Byte E/A bis zu 62 digitale AS-i-Slaves bei einer Übertragungsgeschwindigkeit von 9,6 kbit/s bis zu 12 Mbit/s bedient werden. Zusätzlich werden mit den Diensten Datensatz_lesen/ Datensatz_schreiben maximal 32 AS-i Analog-Slaves mit bis zu 4 analogen E/A-Kanälen bedient. Kommandos nach AS-i-Masterspezifikation M1e werden mit den Diensten Datensatz_lesen/Datensatz_schreiben (Datensatz 2) realisisert.

ASIsafe DP / AS-i F-Link V1.0
Der DP / AS-i F-Link ist gleichzeitig Profibus DP-Slave und AS-i Master und kann sicherheitsgerichtete Eingangsdaten von ASIsafe-Slaves über das PROFIsafe-Protokoll an eine fehlersichere CPU mit Profibus DP-Master weitergeben. Der Betrieb des DP / AS-i F-Link ist auch hinter einem PROFInet / Profibus-Gateway möglich. Eine zusätzliche sicherheitstechnische Verkabelung oder Überwachung wird nicht benötigt.
Mit Hilfe des DP / AS-i F-Link können Sie von Profibus DP auf die Ein- und Ausgänge der AS-i Slaves zugreifen. Je nach Slave-Typ ist die Übertragung von Binärwerten oder Analogwerten möglich. Als AS-i Slaves können Sie alle Slaves nach AS-Interface Spezifikation V3.0 betreiben.

Beispiel eines Systemaufbaus mit DP / AS-i F-Link.



Der DP / AS-i F-Link ist Profibus DP-V1-Slave (nach EN 50170) und AS-i Master (gemäß AS-Interface Spezifikation V3.0 nach EN 50295) und ermöglicht den transparenten Datenzugriff auf AS-Interface von PROFIBUS DP aus.
Profibus DP-Master nach DP-V0 oder DP-V1 können E/A-Daten mit unterlagerten AS-i Slaves zyklisch austauschen, Profibus DP-Master mit azyklischen Diensten nach DP-V1 können zusatzlich AS-i Masteraufrufe durchführen (Parameter, Diagnose).
Neben den digitalen E/A-Daten werden auch analoge Daten im zyklischen Peripheriebereich (bei Projektierung mit Objekt Manager in STEP 7) einer fehlersicheren S7-300 / 416 F-CPU performant abgelegt (kein separater Aufruf von Kommunikationsbausteinen erforderlich).

DP / AS-i F-Link

Im Projektierungsmodus liest der DP / AS-i F-Link Konfigurationsdaten der Peripherie am AS-Interface ein. Sie können Adressen einstellen und Codefolgen sicherer AS-i Slaves übertragen. Während des Betriebs stellen Anzeige-LEDs und das Display detaillierte Diagnoseinformationen zur Verfügung, die bei Bedarf den Fehler unmittelbar lokalisieren. Über ein Anwenderprogramm können Sie Diagnose-Datensätze auslesen und einem übergeordneten Bedien- und Beobachtungssystem (z. B. WinCC) zur Verfügung stellen.

Die wichtigsten Merkmale des DP/AS-i F-Link sind:

- Überwachung der Eingänge sicherheitsgerichteter binärer AS-i Slaves und Datenweitergabe über PROFIsafe. Kein Bedarf zusätzlicher sicherheitsgerichteter Komponenten für das AS-Interface (z. B. Zusatzverkabelung, Sicherheitsmonitor)
- AS-i Master (nach AS-Interface Spezifikation V3.0 Masterprofil M4) zum Anschluss von bis zu 62 AS-i Slaves und integrierte Analogwertübertragung
- Anschluss hinter einem PROFInet / Profibus-Gateway möglich
- Fehlersicherer DP-Norm-Slave (bei Projektierung mit GSD-Datei)
- Als AS-i Master kann der DP / AS-i F-Link mit einem AS-Interface Sicherheitsmonitor unabhängig von der Profibus-Konfiguration zusammenarbeiten
- Diagnose vor Ort über LEDs und Display mit Bedientasten
- Optimale TIA-Einbindung in STEP 7 über Object Manager, Einbindung in Engineering Tools von Fremdherstellern über Profibus-Typdatei (GSD)
- Baugruppentausch ohne PG, da Anlaufdaten-Übermittlung durch Profibus DP-Master
- Interner, nichtflüchtiger Speicher für Profibus- und PROFIsafe-Adresse, I&M-Daten und gerätespezifische Parameter

AS-Interface / Slaves

AS-Interface Analogmodule

Die auf ein bzw. zwei Eingänge umschaltbaren bzw. parametrierbaren Module oder die Module mit vier Eingängen erfassen oder liefern Analogsignale vor Ort. Diese Module werden an die übergeordnete Steuerung angebunden über:

- einen AS-i Master nach AS-i Spezifikation 2.1
- ein Profibus-DP / AS-i Link. nach AS-i Spezifikation 2.1

Die Analogmodule gehören zur AS-i Produktfamilie und entsprechen dem Simatic S7 Standard.
Die Module arbeiten nach dem AS-i Slave-Profil 7.3 bzw. 7.A.9.

Kompaktmodul K60, IP67, analog.

Beachte:

Module nach dem Slave-Profil 7.A.9 sind nur mit "V3 Extended Mastern" mit Profil M4 lauffähig.

Werden für die Sensorversorgung der Analogeingabemodule für Strom- und Spannung in Summe mehr als 46 mA Strom benötigt, muss zusätzlich die Hilfsenergieleitung (Flachkabel schwarz) mit Durchdringungstechnik an das Analog-Modul angeschlossen werden. Bei angeschlossener Hilfsenergie ist die Sensorversorgung kurzschlussfest (max. 500 mA).
Die grüne AUX PWR LED signalisiert, dass Hilfsenergie anliegt. Bei den Ausgabe- und Widerstands- / Thermowiderstandsmodulen wird keine Hilfsenergie benötigt.

Die Hilfsenergieleitung darf aber für andere Module durchgeschleift werden.

Hinweis:

Es wird nach Eingabe- und Ausgabemodulen unterschieden.

Die Eingabemodule gibt es für folgende Messarten:

- Strommessung
- Spannungsmessung
- Widerstands-/Thermowiderstandsmessung

Die Ausgabemodule gibt es für folgende Ausgabearten:

- Stromausgabe
- Spannungsausgabe

Kompaktmodule K60, K45 und K20

Mit Einsatz der Kompaktmodule K60, K45 und K20 erreichen Sie eine Senkung der Montage- und Inbetriebsetzungszeiten um bis zu 40 Prozent.

Digitale Ein-/Ausgabemodule K60

Die Kompaktmodule K60 gibt es mit maximal vier digitalen Eingängen und vier digitalen Ausgängen. Sie enthalten die Kommunikationselektronik und die M12-Standardanschlüsse für Ein- und Ausgänge. Es können bis zu vier Sensoren und vier Aktoren an das Kompaktmodul angeschlossen werden.

Es gibt die Kompaktmodule K60 auch mit maximal acht digitalen Eingängen und zwei digitalen Ausgängen. Diese Module besitzen acht digitale Eingänge mit M12-Stecker. Das Modul benötigt zwei AS-Interface Adressen für die Verarbeitung aller Ein- und Ausgänge. Die Adressvergabe erfolgt hier über eine Doppel-Adressierbuchse.

Es gibt Kompaktmodule K60 außerdem mit vier digitalen Ein- und Ausgängen nach AS-i Spezifikation 3.0. Die AS-i Spezifikation 3.0 erweitert das Bussystem AS-Interface um neue Features. Der erweiterte Adressmodus (A/B Adressen) ermöglicht den Anschluss von 62 Teilnehmern an einem AS-i Netz. Es ist nun möglich, auch bei A/B Slaves 4 Ausgänge (statt bisher nur 3 Ausgänge bei Spezifikation 2.1) zu nutzen. Im Vollausbau eines AS-i Netzes stehen damit sowohl 248 Eingänge als auch 248 Ausgänge zur Verfügung.

Beachten Sie jedoch, dass diese Module nur mit einem neuen Master nach AS-i Spezifikation 3.0 (z. B. neues DP/AS-i Link Advanced oder IE/AS-i Link PN IO) betrieben werden können und dass dabei die Zykluszeiten für die Ausgänge max. 20 ms betragen konnen.

Siemens bietet zudem Kompaktmodule K60 für den Einsatz im explosionsgefährdetem Bereich (ATEX) an. Für den Einsatz im explosionsgefährdeten Bereich in der Zone 22 gemäß Klassifizierung II 3D (Staubatmosphäre, nicht leitender Staub) stehen zwei Ausführungen der K60-Module zur Verfügung. Die Ausführung mit vier Eingängen und vier Ausgängen hat die Kennzeichnung (Ex) II 3D T75 °C IP65X und die Ausführung mit vier Eingängen hat die Kennzeichnung (Ex) II 3D T60 °C IP65X.

Für den sicheren Betrieb dieser Geräte sind besondere Bedingungen zu beachten. Insbesondere ist das Modul durch geeignete Schutzmasnahmen vor mechanischer Beschädigung zu schützen.

Kompaktmodule K60 in ATEX-Ausführung.

TIPP:

In Bereichen mit Belastung durch dauerhaft erhöhte Feuchtigkeit (z. B. bei Einsatz von Bohremulsionen und Schneidölen, bei Reinigung mit Hochdruckreiniger) können Module mit der Schutzart IP67 nicht eingesetzt werden. Für diese Anwendungen bietet das Kompaktmodul K60R in Schutzart IP68/IP69K die Lösung.

Datenkoppler Kompaktmodul K60

In diesem Modul sind zwei AS-i Slaves integriert, die an zwei unterschiedliche AS-i Netze angeschlossen werden. Jeder der beiden integrierten Slaves verfügt über vier virtuelle Eingänge und vier virtuelle Ausgänge. Damit ist auf einfache und kostengünstige Weise eine bidirektionale Datenübertragung von vier Datenbits zwischen zwei AS-i Netzen möglich. Der Datenkoppler benötigt in jedem AS-i Netz eine Adresse. Jedes AS-i Netz arbeitet je nach Teilnehmerzahl mit einer unterschiedlichen Zykluszeit. Somit sind die beiden AS-i Netze grundsätzlich nicht synchron. Aus diesem Grund können über den AS-i Datenkoppler nur Standarddaten, aber keine sicherheitsgerichteten Daten (ASIsafe) übertragen werden.
Die beiden AS-i-Netze sind im Gerät galvanisch getrennt.
Die Ausgangs-Bits vom AS-i-Netz 1 werden als Eingangs-Bits vom AS-i-Netz 2 eingelesen und umgekehrt. Die Zustände der Ausgänge werden durch LEDs angezeigt.

Beachte:

Zwei AS-i-Netze dürfen nicht galvanisch verbunden werden.

Digitale Ein- / Ausgabemodule K45

Die großen Kompaktmodule K60 werden durch die Serie der Kompaktmodule K45 ergänzt. Sie runden das vorhandene Produktspektrum nach unten ab. Die Vorteile der Kompaktmodule K60 finden sich im vollen Umfang bei den erheblich kleineren K45-Modulen wieder. Sie haben die gleiche Grundfläche wie die Anwendermodule. Die Einbautiefe ist jedoch nur noch 2/3 vom Anwendermodul und damit exakt passend zur Kompaktmodulfamilie.
Trotz dieser kleinen Abmessungen haben alle Module große Beschriftungsschilder und eine integrierte Adressierbuchse.
Die Kompaktmodule K45 gibt es mit vier digitalen Eingängen. Sie enthalten die Kommunikationselektronik und die M12-Standardanschlüsse oder M8-Schraub- bzw. Schnappanschlüsse fur die Eingänge. Es können bis zu vier Sensoren an das Kompaktmodul angeschlossen werden.
Die Kompaktmodule K45 gibt es aber auch mit maximal

Kompaktmodul K45 mit vier Eingängen.

vier digitalen Ausgängen. Diese Module besitzen bis zu vier digitale Ausgänge mit M12-Stecker.
Es gibt die Kompaktmodule K45 aber auch mit zwei digitalen Ein- und Ausgängen. Diese Module besitzen je zwei digitale Ein- und Ausgänge mit M12-Stecker. Kompaktmodule K45 sind als Standard- oder A/B-Slaves verfügbar.

Digitale Ein- / Ausgabemodule K20

Die Reihe der Kompaktmodule K20 ergänzt die AS-Interface Kompaktmodule mit einer besonders schmalen Bauform mit nur 20 mm Baubreite. Aufgrund der kompakten Abmessung eignen sich die Module besonders für Anwendungen für Industrieroboter in der Fertigungstechnik, wo Module auf engstem Raum angeordnet werden müssen.
Die K20-Module werden über eine Rundleitung mit M12-Kabeldose anstelle der AS-Interface Flachleitung an AS-Interface angeschlossen. AS-Interface Busleitung und die Hilfsenergie 24 V DC werden dabei in einer gemeinsamen Rundleitung geführt. Hierdurch ist ein sehr Platz sparender Aufbau möglich.

Kompaktmodul K20 mit 4 Ein- und 4 Ausgängen.

TIPP:

Aufgrund der Flexibilität der Rundleitung ist auch ein Einsatz auf bewegten Maschinenteilen problemlos möglich. Dort sind die K20-Module auch ideal einzusetzen, da sie wegen der nicht vergossenen Bauweise ein besonders niedriges Gewicht haben.

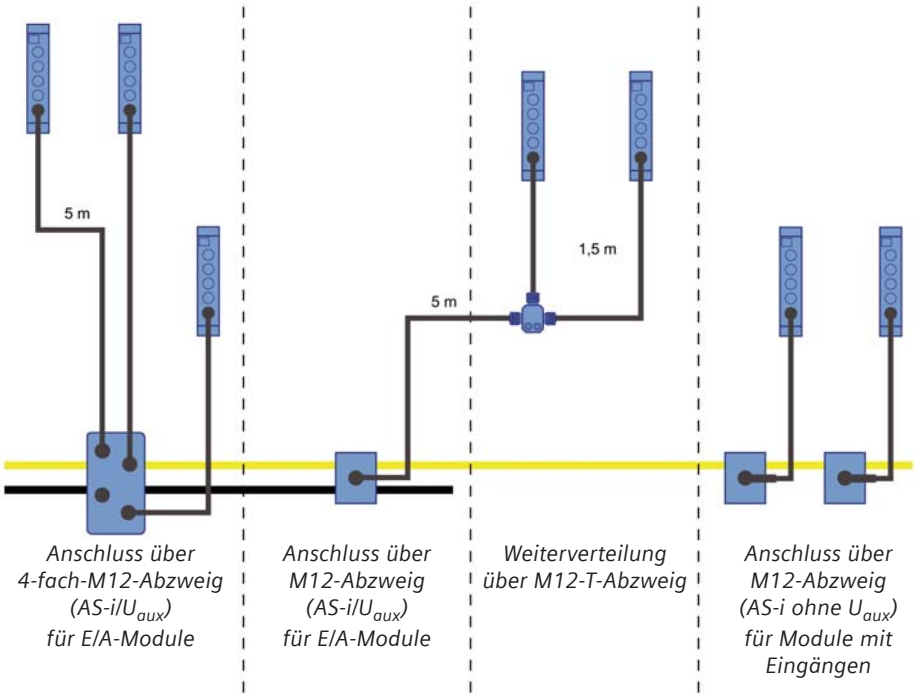
Beim Einsatz von Schleppketten setzen viele Anwender darauf, die AS-Interface Busleitung in einer Rundleitung zu verlegen. Mit den K20-Modulen ist in diesem Fall ein direkter Anschluss an die Rundleitung möglich. Ein Adapter von Flach- auf Rundleitung ist nicht erforderlich.
Die Reihe der Kompaktmodule K20 umfasst sowohl Standard AS-Interface Module als auch eine ASIsafe Ausführung zur Anbindung sicherheitsgerichteter Sensoren, wie Not-Halt-Taster oder Schutztürüberwachung.
Alle AS-Interface K20-Module unterstützen, soweit technisch möglich, den erweiterten Adressmodus (A/B-Adressen) nach AS-Interface Spezifikation 2.1, mit dem 62 Teilnehmer an ein AS-Interface Netz angeschlossen werden können. Das K20-Modul mit vier Eingängen und vier Ausgängen arbeitet im erweiterten Adressmodus nach AS-Interface Spezifikation 3.0, der erstmals auch vier Ausgänge bei einem A/B-Slave und somit im Vollausbau eines AS-Interface Netzes sowohl 248 Eingänge als auch 248 Ausgänge ermöglicht.

Hinweis:

Für besonders Platz sparende Abmessungen werden die Sensoren und Aktoren über M8-Steckverbinder angeschlossen. Alternativ steht auch M12-Anschluss mit Y-Belegung zurVerfügung.

Zu beachten sind folgende Randbedingungen:

- Generell gelten die Aufbaurichtlinien für AS-Interface. Bei allen M12-Verbindungsleitungen ist der maximal zulässige Strom auf 4 A begrenzt. Der Querschnitt dieser Leitungen beträgt nur 0,34 mm^2. Für den Anschluss der K20-Module können für die Stichleitungen die M12-Verbindungsleitungen eingesetzt werden. Der durch den ohmschen Widerstand (ca. 0,11 Ω/m) verursachte Spannungsfall ist zu berücksichtigen.
- Für Rundleitungsverbindungen mit gemeinsamer Führung von AS-i und U_{AUX} in einer Leitung gelten folgende maximale Langen:
  - je Stichleitung vom Abzweig zum Modul: maximal 5 m
  - Summe aller Rundleitungsstücke in einem AS-Interface Netz: maximal 20 m



Anschlussbeispiele für K20 Kompaktmodule.

Digitale Ein- / Ausgabemodule SlimLine

Die AS-Interface Modulbaureihe für den Schaltschrank "SlimLine" in Schutzart IP20 schafft Platz im Schaltschrank oder in dezentralen Vor-Ort-Kästen. Das Hauptaugenmerk wurde bei diesen Modulen auf eine schmale Bauform gelegt. Sie haben eine Baubreite von nur 22,5 bzw. 45 mm.

Über Schraub- oder Federzugklemmen können Standardsensoren / -aktoren und die AS-Interface Leitung angeschlossen werden. Alle Module besitzen an der Frontseite Leuchtdioden, die den Zustand des Moduls anzeigen. Eine frontseitig eingebaute Adressierbuchse ermöglicht die Adressierung auch im eingebauten Zustand.
Neben den digitalen Ein- / Ausgabe-Modulen gibt es Module in der Bauform S22.5 mit Sonderfunktionen. Hierzu gehören:

- Zählermodul
- Erdschlusserkennungsmodul

Die neue AS-Interface Spezifikation 3.0 erweitert das Bussystem AS-Interface um etliche neue Features. Der erweiterte Adressmodus (A/B-Adressen) ermöglicht den Anschluss von 62 Teilnehmern an einem AS-Interface Netz. Mit dem erweiterten Adressmodus nach Spezifikation 3.0 sind nun erstmals auch bei A/B-Slaves vier Ausgänge (statt bisher nur drei Ausgänge bei Spezifikation 2.1) möglich. Im Vollausbau eines AS-Interface Netzes stehen damit sowohl 248 Eingänge als auch 248 Ausgänge an einem AS-Interface Netz zur Verfügung.
Module mit vier Eingängen und vier Ausgängen als A/B-Slaves nach Spezifikation 3.0 stehen auch für den Schaltschrank als SlimLine Modul S45 zur Verfügung.

SlimLine S45 Modul mit vier Ein- und vier Ausgängen als A/B-Slave (Spec. 3.0).

Beachte:

Zu beachten ist, dass die Module nach Spec. 3.0 nur mit einem neuen Master nach ASInterface Spezifikation 3.0 (z. B. neues DP/AS-i Link Advanced oder IE/AS-i Link PN IO) betrieben werden können, und dass dabei die Zykluszeiten für die Ausgänge max. 20 ms betragen können.

Digitale Ein- / Ausgabemodule F90

F90 AS-Interface Modul mit 4E/4A.

Vom Modul F90 gibt es folgende Ausführungen:

- 4 Ein- / 4 Ausgänge
  - Strombelastbarkeit 1 A
  - Strombelastbarkeit 2 A
- 4 Ein-/ 4 Ausgänge 2 A, potentialfrei
- 16 Eingänge

Wahlweise mit Schraubklemmen oder Combicon-Anschluss.

Die 16 Eingänge des F90-Moduls sind in vier Gruppen zu je vier Eingängen organisiert. Nur jeweils eine Gruppe darf zur gleichen Zeit aktiviert sein. Die SPS aktiviert jede Gruppe nacheinander und liest die jeweils vier zugehörigen Eingangsinformationen in das Prozessabbild der Eingänge (PAE) ein. Das Anwenderprogramm ordnet die Eingangsinformationen den jeweiligen Gruppen zu. D. h., das Ausgangsabbild (PAA) der SPS muss mit dem gesetzten Ausgang des Moduls übereinstimmen, da sonst Eingangsinformationen von einer falschen Gruppe eingelesen werden.
Bei gestörter AS-Interface Übertragung kann es drei AS-Interface Zyklen (15 ms) dauern, bis das Ausgangsbild (AA) des Slaves mit dem Ausgangsabbild des Masters und damit auch der SPS übereinstimmt. Ebenso kann die Übertragung des Eingangsabbilds des Slaves drei AS-Interface Zyklen dauern.

Hinweis:

Werden bei mehr als drei aufeinander folgenden AS-Interface Zyklen Telegramme an den betreffenden Slave gestört, so ergibt dies einen "Config-Error" am Master. Das Eingangsabbild im Master wird "Null" gesetzt und das Fehlerbit in der SPS wird gesetzt.

Digitale Ein- / Ausgabemodule Flachmodul

Das Flachmodul für den Schaltschrank in Schutzart IP20 besitzt vier Ein- und vier Ausgänge. Das Modul besitzt an der Frontseite eine Leuchtdiode, die den Zustand des Moduls anzeigt. Eine eingebaute Adressierbuchse ermöglicht die Adressierung im eingebauten Zustand.

AS-Interface Flachmodul mit vier Ein- und vier Ausgängen.

Sonderfunktion - Zählermodul

Für das AS-Interface gibt es das Zählermodul mit der Sonderfunktion zum Zählen von Eingangsimpulsen. Dieses Modul dient der Übertragung von hexadezimal codierten Zählwerten (LSB=D0, MSB=D3) an eine übergeordnete Steuerung. Dabei wird durch jeden gültigen Zählimpuls an Klemme 8 der Zählwert um eins erhöht. Das Modul zählt, beginnend bei 0, bis 15 hoch und beginnt dann wieder bei 0. Die Steuerung übernimmt den aktuellen Wert und ermittelt durch Differenzbildung mit dem vorhergehenden Wert die Impulszahl zwischen zwei Host-Aufrufen.

Zählermodul

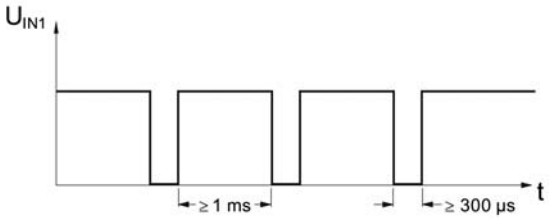
Durch Addition dieser Differenzen wird die Gesamtanzahl der Zählimpulse bestimmt. Um eindeutige Werte zu übertragen, dürfen nicht mehr als 15 Zählwerte zwischen zwei Host-Aufrufen bzw. AS-Interface Master-Aufrufen an Klemme 8 anliegen. Aus diesen Zeiten berechnet sich die maximal zulässige Übertragungsfrequenz:

$$f_{Ümax} = 15 / T_{max}$$

T_{max}: maximal mögliche Übertragungszeit vom Slave zum Host

Eine weitere Bedingung für die Maximalfrequenz ist die geforderte Impulsform. Damit der Zähler einen Impuls als gültig übernimmt, muss für mindestens 300 µs ein "Low" und für mindestens 1 ms ein "High" am Eingang angelegen sein. Daraus ergibt sich eine von der Steuerung unabhängige Maximalfrequenz von

$$f_{Zmax} = 1/1{,}3 \text{ ms} = 769 \text{ Hz}$$ für das Zählermodul.



Zeitkriterien für das Zählermodul: Bei Verletzung des in der Grafik angegebenen Zeitkriteriums wird der Zählwert verworfen.

Schaltgeräte mit integrierter AS-i Anschaltung

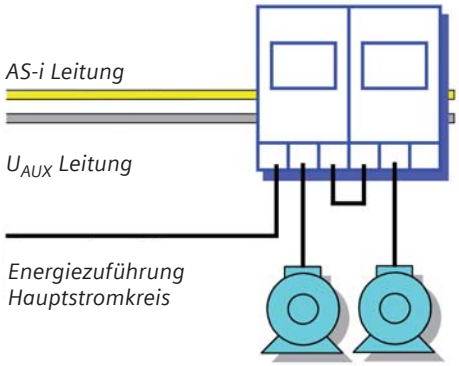
Motorstarter AS-Interface (400 V / 600 V, IP65)

AS-Interface Kompaktstarter.

Der AS-Interface Kompaktstarter ist ein intern komplett vorverdrahteter Verbraucherabzweig in Schutzart IP65, ausgelegt zum Schalten und Schützen beliebiger Drehstromverbraucher bis 5,5 kW bei AC 400/500 V (elektromechanische Kompaktstarter DS und RS) bzw. bis 2,2 kW (elektronische Kompaktstarter EDS und ERS) – meist Drehstrom-Normmotoren in Direkt- oder Reversierbetrieb.

Er besteht entweder aus einer elektromechanischen Schaltgerätekombination oder aus elektronischem Überlastschutz und Leistungsschalteinheit. Der Überlastschutz bzw. Kurzschlussschutz befindet sich unter einer plombierbaren, durchsichtigen Abdeckhaube und kann dort diagnostiziert werden. Die Diagnose von AS-Interface und Hilfsenergie erfolgt über zwei LED, welche links neben der Abdeckhaube integriert sind.

Drei Energiestecker -X1, -X2, -X3 dienen zum Einspeisen (-X1) und Weiterleiten (-X3) der Verbraucherversorgungsspannung (Energiebus) sowie zum Anschluss des Verbrauchers selbst (-X2). Zum Verbinden unmittelbar nebeneinander liegender Kompaktstarter können vorkonfektionierte Energieverbindungsleitungen verwendet werden. Die maximale Anzahl der über eine Energiezuleitung versorgten Starter wird durch den maximal zulässigen Summenstrom (bis max. 4 mm^2 entspricht ~ 35 A) begrenzt.



Beispielaufbau mit zwei Kompaktstartern.

Motorstarter AS-Interface (DC 24 V, IP65 / IP67)

Mit den AS-Interface DC-24-V-Motorstartern K60 für den untersten Leistungsbereich bis 70 Watt können 24-V-DC-Motoren und die zugehörige Sensorik direkt vor Ort an AS-Interface schnell und einfach angeschlossen werden. Insgesamt stehen drei verschiedene Varianten in folgenden Ausführungen zur Verfugung:

- Einfach-Direktstarter (ohne Bremse, mit zuschaltbarer Quickstopp-Funktion)
- Doppel-Direktstarter (mit Bremse und zuschaltbarer Quickstopp-Funktion)
- Wendestarter (mit Bremse und zuschaltbarer Quickstopp-Funktion)

Der Anschluss von DC-Motoren an das Modul erfolgt über M12-Steckverbindungen. Für die Versorgung der Sensoren und der Elektronik des Moduls genügt die gelbe AS-Interface Leitung. Lediglich für die Versorgung der Ausgänge wird eine Hilfsspannung (DC 24 V) benötigt, welche über die schwarze AS-Interface Leitung bereitgestellt wird.

Alle AS-Interface DC-24-V-Motorstarter verfügen über eine Quickstopp-Funktion, die über einen im Modul integrierten Schalter wahlweise zu- und abgeschaltet werden kann.

AS-Interface 24 V DC Motorstarter.

Quickstopp ermöglicht die sofortige Abschaltung eines angeschlossenen Motors bei anliegendem Sensorsignal (High) "ohne Umweg" über das SPS-Steuerungsprogramm. Der Schalter für die Quickstopp-Funktion befindet sich neben den Eingangsbuchsen und ist durch eine Verschlusskappe M12 geschützt.

- Schalterstellung 0 bis 3: Quickstopp "Off"
- Schalterstellung 4 bis 9: Quickstopp "On"

Ist der Quickstopp aktiviert ("On"-Stellung), wird bei einem Signal "1" am zugehörigen Eingang IN1 (IN3) der zugeordnete Ausgang OUT1 (OUT2, bei Wendestarter OUT1 im Reversierbetrieb) ohne Einwirkung der übergeordneten SPS abgeschaltet. Die Gerätevarianten Doppel-Direktstarter und Einfach-Wendestarter verfügen über eine integrierte, fest eingestellte Bremsfunktion, d. h., sobald das Ausgangssignal auf "0" gesetzt wurde, wird der Motor abgebremst, indem der Motoranschluss kurz geschlossen wird. Mit dieser Funktion kann keine mechanische Bremse angesteuert werden. Die Gerätevariante Einfach-Direktstarter besitzt keine Bremsfunktion, d. h. der Motor läuft nach Ausschalten ungebremst aus.

Über im Modul integrierte Taster (diese befinden sich jeweils unterhalb der Ausgangsbuchse) kann der zugehörige Motor direkt vor Ort eingeschaltet werden. Die Taster werden durch eine Verschlusskappe M12 geschützt.

Beachte:

Ein über das SPS-Programm angesteuerter Motor kann über diese Funktion nicht ausgeschaltet werden.

ECOFAST-Motorstarter

Der AS-Interface ECOFAST-Starter ist ein intern komplett vorverdrahteter Verbraucherabzweig in Schutzart IP65, ausgelegt zum Schalten und Schützen beliebiger Drehstromverbraucher bis 4 kW bei AC 400/500 V (elektromechanische Starter), bis 5,5 kW (elektronische Sanftstarter bzw. elektronisch schaltende Starter) bzw. bis 1,5 kW (elektronischer Drehzahlsteller) – meist Drehstrom-Normmotoren im Direkt- oder Reversierbetrieb.

Hinweis:

Alle ECOFAST Starter unterstützen den Reversierbetrieb.

ECOFAST Schalt- und Steuergeräte.

Er besteht entweder aus einer elektromechanischen Schaltgerätekombination oder aus elektronischem Überlastschutz und Leistungsschalteinheit. Die Diagnose von AS-Interface und Hilfsenergie erfolgt über sieben LED, die in der Abdeckhaube integriert sind.
Der Energiestecker Han Q4/2 dient zum Einspeisen der Verbraucherversorgungsspannung (Energiebus). Zum Verbinden von ECOFAST-Startern können vorkonfektionierte Energieverbindungsleitungen und Energie-T-Stück verwendet werden. Die maximale Anzahl der über eine Energiezuleitung versorgten Starter wird durch den maximal zulässigen Summenstrom (bis max. 6 mm^2 entspricht ~ 40 A) begrenzt.

AS-Interface / Befehls- und Meldegeräte

AS-i F-Adapter für Not-Halt-Befehlsgeräte 3SB3

Der AS-Interface F-Adapter dient zur Anbindung eines Not-Halt-/Not-Aus-Befehlsgeräts nach ISO 13850 bzw. EN 418 aus der Baureihe 3SB3 an das Bussystem AS-Interface. Der AS-i F-Adapter beinhaltet einen ASIsafe-Slave und wird von hinten auf das Not-Halt-/Not-Aus-Befehlsgerät (nur Betätigungselement) aufgeschnappt. Der Anschluss erfolgt je nach Ausführung mit Schraubanschluss bzw. Federzugklemmen.
Der AS-Interface F-Adapter ist in Ausführungen

- ohne zusätzlichen Ausgang und
- mit einem Ausgang zur Ansteuerung eines Leuchtmelders mit LED verfügbar.

Mit dem Adapter wird die Sicherheitskategorie 4 (SIL 3) erreicht.

AS-Interface F-Adapter, 2E/1A für Schraubanschluss mit Not-Aus-Taster. Die Ausführung mit Ausgang ist z. B. zur Ansteuerung des beleuchteten Unterlegschilds für Not-Halt-Befehlsgeräte verwendbar.

Gehäuse und Module für Drucktaster und Leuchtmelder 3SB3

Mit AS-Interface Gehäusen können dezentral angeordnete Befehlsgeräte der Baureihe 3SB3 schnell an AS-Interface angebunden werden. Die Gehäuse stehen in Metall oder Kunststoff mit 1, 2, 3, 4 oder 6 Befehlsstellen zur Verfügung.
Gehäuse mit 1, 2 oder 3 Befehlsstellen haben Ausbrüche für M20-Kabelverschraubungen.
Gehäuse mit 4 oder 6 Befehlsstellen haben Ausbrüche für M25-Kabelverschraubungen.

Gehäuse in unterschiedlichen Ausführungen.

Die Gehäuse mit integriertem AS-Interface können
- komplett fertig verdrahtet geliefert werden oder
- aus Einzelkomponenten kundenseitig zusammengebaut oder ergänzt/geändert werden.

Die fertig verdrahteten Gehäuse können
- mit fester Standardbestückung (mit 1 bis 3 Befehlsstellen) bestellt oder
- über einen Konfigurator individuell zusammengestellt (mit 1 bis 6 Befehlsstellen) und bestellt werden.

Den Konfigurator können Sie unter folgendem Internet-Link aufrufen:

www.siemens.de/sirius-befehlen

Dann wählen Sie rechts auf dem Bildschirm an:

Online Konfigurator.

Zur Bestückung der Gehäuse stehen nahezu alle Betätigungs- und Melde-Elemente des 3SB3-Spektrums (22 mm, runde Ausführung) zur Verfügung: Meldeleuchten, Akustikmelder, Taster, Knebelschalter, Schlüsselschalter, Pilzdrucktaster, usw.

Für die AS-i Anbindung stehen AS-i Einbau-Module für die Gehäuse zur Verfügung. Diese Slave-Module werden werkzeuglos in die Bodenplatte der Gehäuse eingeschnappt. Aufgrund des integrierten Hutschienen-Adapters können die Module auch außerhalb eines 3SB3-Gehäuses auf eine DIN-Hutschiene aufgeschnappt und somit für andere Aufbaukonzepte verwendet werden.

ASIsafe Modul für Gehäuse.

Anschlussmöglichkeiten für AS-Interface

Anstatt der konventionellen Verdrahtung über vieladrige Anschlussleitungen werden die Elemente direkt auf ein oder mehrere AS-Interface Slave-Module im Gehäuse verdrahtet. Schaltelemente werden mit Eingängen verbunden, LED-Elemente mit Ausgängen. Zur Anbindung an die SPS-Steuerung genügt die 2-adrige AS-i Leitung. Eine Hilfsspannung (schwarze 24V-Leitung) wird nicht benötigt, da die Ausgänge/LED-Elemente direkt durch die AS-i Spannung versorgt werden.
Für die Verbindung mit der AS-i Leitung stehen die robusten Anschlusstechniken

- M12-Buchse,
- Kabeldurchführung für AS-i Flachleitung,
- Kabeldurchführung für Rundleitung sowie für Schnellmontage der
- Anschlussclip mit Durchdringungstechnik für AS-i Flachleitung zur Auswahl.

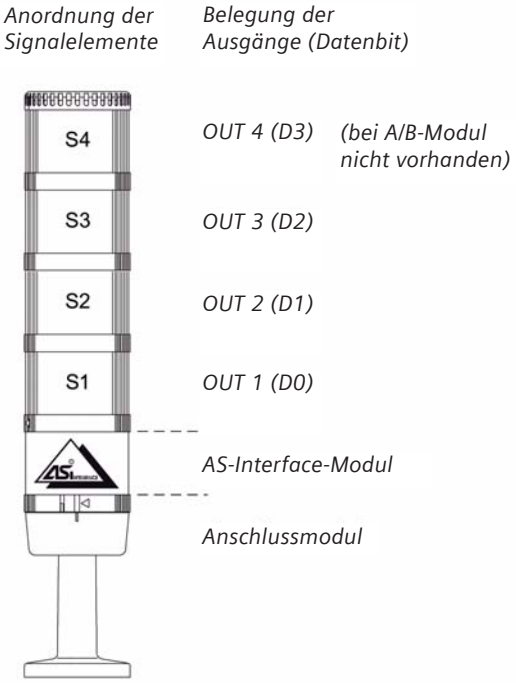
Eingänge oder Ausgänge, die nicht für Schaltelemente oder LED-Elemente benötigt werden, können über eine M12-Buchse am zweiten Gehäuseausbruch nach draußen geführt werden, um z. B. externe Sensoren anzuschließen.
Die Module werden über Steckleitungen an die Befehls- und Meldegeräte angeschlossen. Standard- oder A/B-Module benötigen 14-polige Stecker, ASIsafe-Module benötigen 8-polige Stecker. Die Stecker werden als komplette Leitungssätze angeboten.

Beim AS-Interface gibt es unterschiedliche Anschlusstechniken.

Signalsäulen mit AS-Interface Anbindung

Die Signalsäulen 8WD4 dienen an Maschinen oder in automatisierten Prozessen zur Kontrolle komplexer Abläufe oder als visuelle oder akustische Warneinrichtung in Notfallsituationen. Bei konventionellen Signalsäulen werden die Signalelemente (z. B. Lampenelemente) aufsteigend auf das Anschlusselement aufgesetzt. Für jedes Signalelement ist im Anschlusselement eine Signalleitung anzuschließen (plus gemeinsame Masseleitung).

Bei AS-Interface Signalsäulen wird auf das Anschlusselement ein AS-i Adapterelement gesetzt. Darauf werden die Signalelemente aufsteigend aufgesetzt. Im Anschlusselement ist nur noch die zweipolige AS-i Leitung anzuschließen (plus Hilfsspannung bei Bedarf). Die Signalelemente werden als AS-i Ausgänge angesteuert. Die Ausgänge sind automatisch in aufsteigender Reihenfolge mit den Signalelementen verbunden.



Zuordnung der Signalelemente zu den AS-i Ausgängen.

Eine umfassende Übersicht zur Konfiguration der Signalsäulen finden Sie unter:
www.siemens.com/automation/infocenter

Über den Produktpfad Automation and Drives → Niederspannungs-Schalttechnik → Industrielle Schalttechnik → SIRIUS → Befehls- und Meldegerate → Signalsäulen 8WD4 gelangen Sie direkt zu weiteren Informationen.

Anschaltung AS-Interface für LOGO

Das Logikmodul "LOGO! Modular" ist die komfortable und kostengünstige Lösung für einfache Steuerungs- und Regelungsaufgaben im Bereich Haus/Installation, Schaltschrankbau, Maschinen- und Apparatebau, als Signalvorverarbeitung für andere Steuerungen, etc.

Zur Erweiterung der Anzahl der Ein- und Ausgänge einer Grundbaugruppe LOGO! Modular Basic/Pure können digitale und analoge Erweiterungsbaugruppen und Kommunikationsmodule angesteckt werden. Das Kommunikationsmodul LOGO! CM AS-Interface ermöglicht die Anbindung einer LOGO! Baugruppe an ein AS-i System. Es ist mit allen LOGO! Modular Basic- und Pure-Varianten kombinierbar.

Das Erweiterungsmodul LOGO! CM AS-Interface (rechts) angesteckt an ein LOGO! Basismodul (links).

Das LOGO! CM AS-Interface ist ein AS-i Slave. Es hat keine Master-Funktionalität und kann somit keine anderen AS-i Slaves ansteuern. Ein direkter Datenaustausch zwischen zwei LOGO!-Geräten ist somit nicht möglich. Der Datenaustausch erfolgt immer über den AS-Interface-Master.

Das LOGO! CM AS-Interface tauscht über einen AS-i Master mit der übergeordneten Steuerung (SPS) vier digitale Eingangs- und vier digitale Ausgangszustände aus. Diese Ein- und Ausgangsinformationen können im LOGO! Programm wie normale Ein- und Ausgänge verschaltet werden. Das LOGO! Programm unterscheidet dabei nicht zwischen den virtuellen Ein-/Ausgängen (des AS-Interface Kommunikationsmoduls) und den normalen Ein-/Ausgängen (die über Klemmen z. B. auf reale Schalter/Schützspulen verdrahtet sind).

Ein LOGO! Programm nummeriert die Ein- und Ausgänge in derselben Reihenfolge, wie die Module zusammengesteckt sind, beginnend mit I1 (Eingänge) bzw. Q1 (Ausgänge). Das LOGO! Basismodul besitzt acht digitale Eingänge und vier digitale Ausgänge, die im LOGO! Programm als I1... I8 und Q1... Q4 angesprochen werden. Erweiterungsmodule führen diese Nummerierung fort.

Wird direkt neben das Basismodul ein Kommunikationsmodul CM AS-Interface angesteckt, werden die vier Eingänge und vier Ausgänge des CM AS-Interface im LOGO! Programm als I9...I12 und Q5...Q8 angesprochen.

Befinden sich zwischen Basismodul und Kommunikationsmodul weitere Erweiterungsmodule mit digitalen Ein-/Ausgängen, so verschieben sich die Ein-/Ausgänge des CM AS-Interface im LOGO! Programm entsprechend.

- Ein AS-i Ausgang (aus Sicht der SPS) wird in der LOGO! als Eingang gelesen.
- Ein AS-i Eingang (aus Sicht der SPS) wird in der LOGO! als Ausgang gesteuert.

Schütze mit Restlebensdaueranzeige und Anbindung an AS-Interface

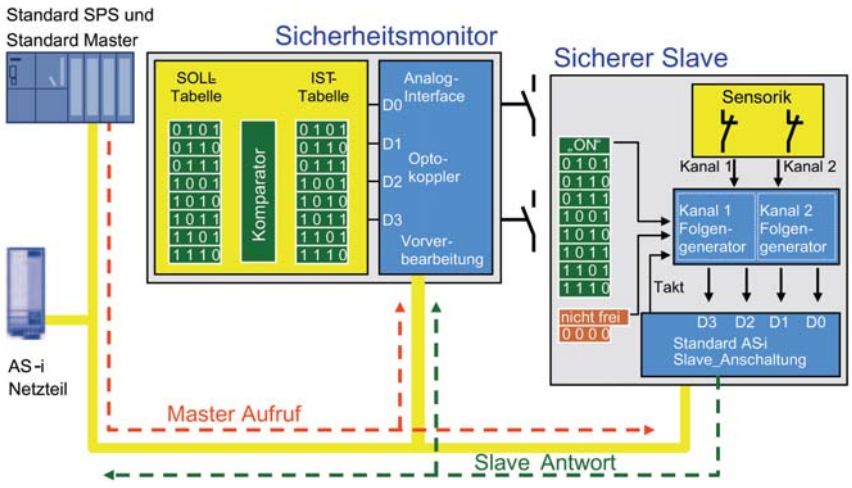
Die Schütze 3RT10, 3-polig, in Baugrößen S6... S12 (für > 45 bis 250 kW) mit Restlebensdaueranzeige können mit integrierter AS-i Anschaltung bestellt werden.

Schütz 3RT1056.

Die Schütze benötigen eine Hilfsspannung von AC/DC 96 bis 127 V bzw. 200 bis 277 V. Die Magnetspule wird durch eine vorgeschaltete Steuerelektronik gezielt mit dem benötigten Leistungsbedarf für sicheres Schalten und Halten versorgt, wodurch eine geringe Anzugs- und Halteleistung benötigt wird.
Die elektronische Restlebensdauererfassung (RLT, remaining life time) stellt den tatsächlichen Fortschritt des Kontaktabbrands fest und gibt bei < 20 % Restlebensdauer eine Meldung über AS-Interface weiter. LED-Anzeigen auf der Schütz-Elektronik zeigen zusätzlich 40 % und 60 % Restlebensdauer an.

TIPP:

Mit der in den Schützen integrierten Restlebensdaueranzeige ist das rechtzeitige Auswechseln der verschleißenden Kontakte im Rahmen von Wartungsarbeiten möglich.



Funktionsprinzip von ASIsafe

ASIsafe

Sicherheitsmonitor

Der Sicherheitsmonitor überwacht die Datenkommunikation auf der AS-Interface Leitung. Bei den sicheren Slaves werden dynamische Codesequenzen (8x4 Bit Datenfolge) übertragen, die in jedem Slave hinterlegt sind. Diese werden bei der Inbetriebnahme vom Sicherheitsmonitor "gelernt". Im Betrieb vergleicht der Sicherheitsmonitor bei jedem Zyklus die Soll- und die Ist-Sequenz und nimmt bei Abweichungen, z. B. durch Geräteausfall, Kommunikationsstörungen oder dergleichen, binnen 40 ms eine sichere Abschaltung vor. Die Wiedereinschaltzeit beträgt 100 ms.

Als Slaves stehen sichere Feld- und Schaltschrankmodule sowie intelligente Sicherheits-Sensoren und -befehlsgeräte mit AS-Interface Chip zur Verfügung. Die Buskommunikation und das Datenprotokoll wurden von dem BIA als sicher bewertet und die Technologie wurde vom TÜV zertifiziert. Das System ist einsetzbar bis Kategorie 4 gemäß EN 954-1 bzw. bis SIL 3 nach IEC 61508 und kann für Stopp-Kategorie 0 und 1 gemäß EN 60204-1 verwendet werden.

Der AS-i Sicherheitsmonitor ist das Kernstück von ASIsafe. Zur einfacheren Installation lassen sich die Klemmen abnehmen.

Der Sicherheitsmonitor ist das Kernstück von ASIsafe. Die Konfiguration einer sicheren Applikation erfolgt mit einem PC über den Sicherheitsmonitor. Hierbei können unterschiedliche anwendungsspezifische Betriebsmodi ausgewählt werden. Dies sind z. B. Not-Aus-Funktion, Zuhaltung sowie Auswahl von Stopp-Kategorie 0 oder 1.

Um die AS-Interface Diagnosemöglichkeiten voll ausschöpfen zu können, kann der Monitor wahlweise auch mit AS-Interface Adresse betrieben werden. Mit Hilfe des auf der ASIsafe CD mitgelieferten Diagnosebausteins für STEP7 kann der volle Diagnoseumfang in der überlagerten SPS weiterverarbeitet werden.

Es gibt zwei Ausbaustufen des Monitors:

- Basis-Sicherheitsmonitor mit einer Einstiegsausstattung an Bausteinen und der grundlegenden Funktionalität
- Erweiterter Sicherheitsmonitor mit erweiterter Ausstattung und Funktionalität

Beide Ausbaustufen sind jeweils mit einem oder zwei zweikanalig ausgeführten

Freigabekreisen erhältlich.
Der Sicherheitsmonitor wird in einem AS-Interface Bussystem zur Überwachung von Schutzeinrichtungen, z. B. Not-Aus-Schalter, verwendet. Er wird gemäß EN 954-1 in die Sicherheitskategorie 4 eingestuft. Nach der IEC 61508 ist der Sicherheitsmonitor

Einschaltdauer in Monaten	Gesamtbetriebsdauer in Jahren	PFD	PFH
3	10	$\leq 4 \times 10^{-5}$	—
6	10	$\leq 6 \times 10^{-5}$	—
12	10	$\leq 9 \times 10^{-5}$	$\leq 9 \times 10^{-9}$

Einschaltdauer

in Loops bis SIL3 einsetzbar.

Beachte:

Je nach Auswahl der verwendeten Sicherheitsbauteile kann die Einstufung des gesamten Sicherheitssystems auch in eine niedrigere Sicherheitskategorie erfolgen.

ASIsafe Module

Sichere Module für AS-Interface (ASIsafe Module) sind sowohl für den Feldeinsatz in Schutzart IP67 (Kompaktmodule K20F und K45F) als auch für den Schaltschrank (SlimLine Modul S22.5F) in Schutzart IP20 erhältlich.

Sichere Kompaktmodule K20F für den Einsatz im Feld

Sicheres ASIsafe Modul K20F.

Für Anwendungen, bei denen Module auf engstem Raum angeordnet werden müssen, eignet sich das nur 20 mm breite K20F-Modul besonders. Sie werden anstelle der AS-Interface Flachleitung über eine Rundleitung mit M12-Kabeldose an AS-Interface angeschlossen. Hierdurch ist ein sehr Platz sparender Aufbau möglich. Aufgrund der Flexibilitat der Rundleitung ist auch ein Einsatz auf bewegten Maschinenteilen problemlos möglich. Dort sind die K20-Module auch ideal einzusetzen, da sie wegen der nicht vergossenen Bauweise ein besonders niedriges Gewicht haben.

Sichere Kompaktmodule K45F für den Einsatz im Feld

Die Plattform der K45F-Module deckt folgende Variationen ab:

- Anschluss von kontaktbehafteten (“mechanischen”) Schaltern / Sicherheitssensoren:
  - K45F 2F-DI: zwei sicherheitsgerichtete Eingänge im Betrieb bis Kategorie 2 nach EN954-1. Ist Kategorie 4 erforderlich, steht am Modul ein zweikanaliger Eingang zur Verfügung.

- K45F 2F-DI/2DO: zusätzlich zu den sicheren Eingängen sind auch zwei Standardausgänge vorhanden. Die Speisung erfolgt aus dem gelben AS-i Kabel.
- K45F 2F-DI/2DO U_{aux}: wie K45F 2F-DI/2DO, nur erfolgt hier die Speisung aus dem schwarzen DC 24V-Kabel.
- K45F 4F-DI: vier sicherheitsgerichtete Eingänge im Betrieb bis Kategorie 2, zwei bei Kategorie 4. Extrem kompakter Doppel-Slave (verwendet zwei volle AS-i Adressen).

• Anschluss von elektronischen Schaltern / Sicherheitssensoren (berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen, BWS):
  - K45F LS (light sensor): Sicheres Eingangsmodul zum Anschluss von elektronischen Sicherheitssensoren mit testenden Halbleiterausgängen (OSSD). Insbesondere berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen (BWS) wie aktive, optoelektronische Lichtgitter und Lichtvorhänge für Typ 2 und Typ 4 nach IEC / EN 61496. Sowohl Sender als auch Empfänger werden aus dem gelben AS-i Kabel mit Energie versorgt. Als Zubehör stehen die passenden Sensorkabel und optional ein separates Sender- Versorgungsmodul zur Verfügung.

Sicheres Kompaktmodul K45F für den Einsatz im Feld.

Sichere SlimLine-Module S22.5F für den Einsatz in Schaltschränken und Vor-Ort-Schaltkästen

Das sichere SlimLine-Modul S22.5F ist mit zwei sicheren Eingängen ausgestattet. Somit wird die sichere Anbindung von Signalen an ASIsafe Netzwerke im Schaltschrank ebenfalls möglich. Im Betrieb bis Kategorie 2 können beide Eingänge separat belegt werden; ist Kategorie 4 erforderlich, steht am Modul ein zweikanaliger Eingang zur Verfügung. Darüber hinaus gibt es zwei S22.5F-Modulvarianten, die zusätzlich zu den beiden sicheren Eingängen über zwei Standard-Ausgänge verfügen - entweder nur aus dem gelben AS-Interface Kabel versorgt oder über Hilfsspannung aus dem schwarzen DC-24-V-Kabel.

Sichere SlimLine-Module S22.5F für den Einsatz in Schaltschränken und Vor-Ort-Schaltkästen.

Positionsschalter 3SF1 mit ASIsafe-Anbindung

Mit Positionsschaltern werden mechanische Positionen bewegter Maschinenteile in elektrische Signale umgewandelt. Die Positionsschalter 3SF1 bestehen aus einem konventionellen Positionsschalter und einem im Schaltergehäuse eingebauten ASIsafe-Slave, dessen sichere Eingänge auf die Positionsschalter-Kontakte verdrahtet sind.

Mit den zweikanalig abgefragten Positionsschaltern 3SF1 wird bei entsprechendem Betrieb die Kategorie 3 nach EN 954-1 erreicht. Die Kategorie 4 kann durch die Kombination des Positionsschalters 3SF1 mit einem Positionsschalter 3SE5 erreicht werden.

Die 3SF1 Positionsschalter mit ASIsafe-Anbindung sind modular aufgebaut und entsprechend vielseitig verwendbar.

Die Positionsschalter gibt es als

- Standardpositionsschalter
  Basisschalter und passender Antriebskopf (Rollenhebel, Schwenkhebel, Stösel, etc.) werden getrennt voneinander bestellt.
- Positionsschalter mit getrenntem Betätiger
  Der Basisschalter wird komplett mit dem Antriebskopf (zum Einschub des Betätigers) geliefert, der passende Betätiger (für verschiedene Montagearten) wird getrennt bestellt.
- Positionsschalter mit getrenntem Betätiger und Zuhaltung
  Der Basisschalter wird komplett mit dem Antriebskopf (zum Einschub des Betätigers) geliefert, der passende Betätiger (für verschiedene Montagearten) wird getrennt bestellt. Die Zuhaltung verriegelt den Betätiger in der eingeschobenen Stellung.
- Scharnierschalter
  Basisschalter und passender Antriebskopf (für verschiedene Schaltwinkel, mit Hohlwelle oder Vollwelle) werden getrennt voneinander bestellt.

Die Positionsschalter gibt es im

- Kunststoffgehäuse
- Metallgehäuse

Die Standardpositionsschalter, Positionsschalter mit getrenntem Betätiger (ohne Zuhaltung) und Scharnierschalter gibt es in den Baubreiten

- Baubreite 31 mm (nach EN 50047)
- Baubreite 40 mm (nach EN 50047)
- Baubreite 50 mm
- Baubreite 56 mm

Der AS-i Anschluss erfolgt über den M12-Stecker (Pin 1 = ASI+, Pin 3 = ASI-). Über die seitliche M12-Buchse kann ein zweiter konventioneller Positionsschalter (ohne integriertem ASIsafe-Slave) angeschlossen werden, um die Sicherheitskategorie 4 (nach EN 954-1) zu erreichen. Der Strombedarf (aus der AS-i Leitung) beträgt max. 60 mA.

Bei Positionsschaltern mit Baubreite 50 mm und 56 mm kann über die seitliche M12-Buchse ein zweiter konventioneller Positionsschalter (ohne integriertem ASIsafe-Slave) angeschlossen werden, um die Sicherheitskategorie 4 (nach EN 954-1) zu erreichen.

Die Positionsschalter mit getrenntem Betätiger und Zuhaltung haben die

- Baubreite 54 mm

Die Zuhaltekraft beträgt im Kunststoffgehäuse 1.300 N und im Metallgehäuse 2.600 N.

Für die Verriegelung des Betätigers gibt es zwei Ausführungen:

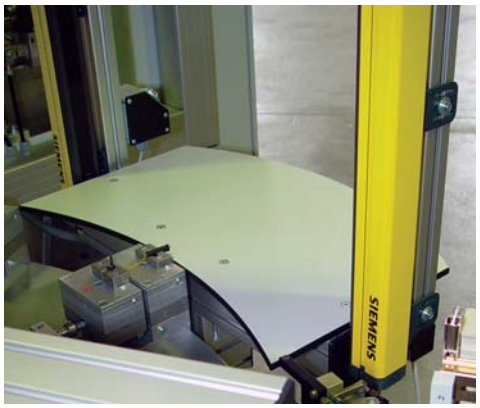
- Federkraftverriegelt (Ruhestromprinzip) mit verschiedenen Entriegelungsvarianten
- Magnetkraftverriegelt (Arbeitsstromprinzip)

Der AS-i Anschluss erfolgt über den M12-Stecker (Pin 1 = ASI+, Pin 3 = ASI-). Der Strombedarf (aus der AS-i Leitung) beträgt max. 230 mA (davon 170 mA für den Magneten).

Positionsschalter mit Zuhaltung für ASIsafe.

Lichtvorhänge und Lichtgitter Simatic FS400

Die berührungslos wirkenden und aktiven optoelektronischen Lichtvorhänge und Lichtgitter für Kategorie 2 und 4 nach EN 954-1 schützen Bedienpersonal an und in der Nähe von laufenden Maschinen oder Anlagen. Ein Lichtvorhang oder Lichtgitter besteht in der Standard-Ausführung aus einem Sender-Gerät und einem Empfänger-Gerät, die gegenüber zu montieren sind. Bei einem Transceiver-Gerät sind Sende- und Empfangseinheit in einem Gehäuse kombiniert, ein zusätzlich benötigter passiver Umlenkspiegel wirft die Lichtstrahlen zurück. Abhängig von der Auflösung und Länge sind eine bestimmte Anzahl von Sende- und Empfangsdioden übereinander angeordnet. Die Infrarot-LEDs des Senders senden kurze Lichtpulse aus, die von den Empfängerdioden aufgefangen werden.
Lichtvorhänge haben 8 bis 240 Strahlen und sind für die Gefahrstellensicherung und Gefahrbereichssicherung konzipiert. Je nach Auflösung ist die Erkennung von Finger, Hand, Arm, Fuß, Oberschenkel etc. möglich. Lichtgitter haben 2, 3 oder 4 Strahlen und sind für die Erkennung von Personen während des Zugangs zu Gefahrbereichen konzipiert.



Der Aufbau eines kaskadierten Systems kann folgendermaßen aussehen.

a=Sender Host, b=Sender Guest, c=Empfänger Host, d=Empfänger Guest.

Lichtvorhänge haben 8 bis 240 Strahlen.

Beachte:

Lichtgitter eignen sich nicht für die Absicherung von Gefahrstellen, für die Finger, Hand- oder Armerkennung etc. erforderlich ist.

Beim Transceiver-Lichtgitter sendet der Transceiver im oberen Gehäusebereich einen Lichtstrahl aus, der über den Umlenkspiegel um 500 mm (Strahlabstand) versetzt zurückgeworfen und im unteren Gehäusebereich des Transceivers wieder empfangen wird. Als Umlenkspiegel wird hier ein Gehäuse mit zwei Spiegelflächen bezeichnet. Die Reichweite des Transceivers wird als Abstand zwischen Transceiver und Umlenkspiegel angegeben (bei Aufbau mit einem Umlenkspiegel). Werden mehrere Umlenkspiegel eingesetzt, reduziert sich die Reichweite pro zusätzlichem Umlenkspiegel um 15 %.
Um verkettete Schutzfelder zu realisieren, können Lichtvorhänge durch Kaskadierung von Host- und Guest-Geräten über steckbare Kabelverbindungen hintereinander geschaltet werden. Dabei lassen sich auch Sender-Empfänger-Paare mit unterschiedlichen Auflösungen kombinieren. Die Lichtvorhänge und -gitter gibt es für konventionelle Verdrahtung und mit integriertem ASIsafe-Slave.

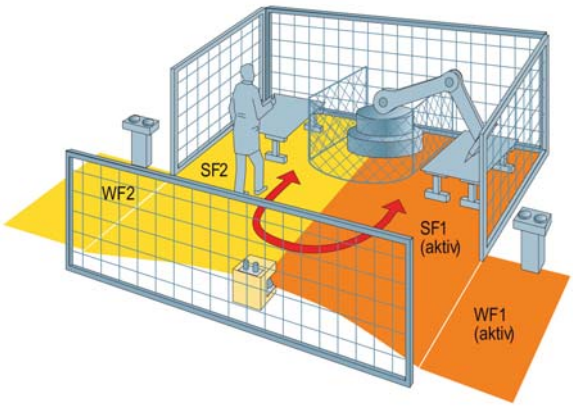
Laserscanner Simatic FS600

Der Laserscanner ist ein optischer Distanzsensor zur flexiblen Gefahrenbereichsabsicherung. Über eine Laserdiode mit Sendeoptik erzeugt der Laserscanner fortlaufend gebündelte Lichtimpulse, die ein integrierter Drehspiegel in den gesamten Arbeitsbereich streut. Dringen Objekte oder Personen in das Feld ein, wertet er die reflektierten Lichtimpulse aus und berechnet anhand der Lichtlaufzeit laufend die exakten Positionskoordinaten. Wird das definierte Personenschutzfeld verletzt, veranlasst er - über eine entsprechende ASIsafe-Konfiguration - innerhalb der Systemreaktionszeit einen sofortigen Maschinen-Stopp.
Die Stopp-Funktion wird, abhängig von der Betriebsart, bei freiem Schutzfeld selbsttätig oder nach Quittierung (über einen optional am Laserscanner anschließbaren Taster) wieder zurückgesetzt. Der Arbeitsbereich des Laserscanners erstreckt sich über 190°. Der Laserscanner erkennt Personen sicherheitsgerichtet bis auf vier Meter Entfernung (Schutzfeld). Bis zu einer Distanz von 15 Metern können Personen und Objekte darüber hinaus, zum Beispiel zur Ausgabe einer Warnmeldung, erfasst werden (Warnfeld, nicht sicherheitsgerichtet).
Durch vier variable – einfach über die PC-Software einstellbare – Schutzfeldpaare für Schutzfeld und Warnfeld ist der Laserscanner an jede Anforderung flexibel anpassbar. Es kann jeweils genau ein Schutzfeldpaar aktiv sein. Die Auswahl des aktiven Schutzfeldpaares erfolgt über Schaltkontakte, die an eine M12-Buchse am Laserscanner angeschlossen werden.
Der Laserscanner ist stationär an Maschinen und Anlagen einsetzbar, aber auch mobil an Fahrzeugen, fahrerlosen Transportsystemen oder Verschiebewagen. So können beispielsweise bei einem Roboter unterschiedliche Arbeitsbereiche abgesichert werden, in denen der Laserscanner zeitlich und räumlich nacheinander arbeitet. Dadurch kann die Anlagenverfügbarkeit deutlich erhöht werden.

Laserscanner tasten einen relativ großen Bereich bis zu 15 Metern ab und können je nach Parametrierung eine Warnmeldung ausgeben, sobald sich jemand in das Aktionsfeld begibt. Der Wirkbereich im Umkreis von vier Metern ist dabei sicherheitsgerichtet.

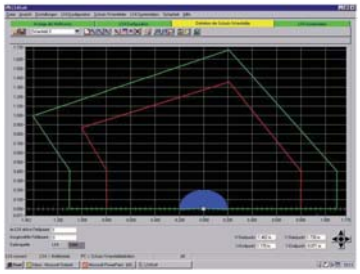
Bei fahrerlosen Transportsystemen lassen sich mit den vier programmierten Schutzfeldern (SF) z. B. schnelle Fahrt (SF2), langsame Fahrt (SF1), Linkskurven (SF3) und Rechtskurven (SF4) absichern. Im Vergleich zu Bumpern oder Schutzbügeln bietet der Laserscanner einen größeren Sicherungsbereich und erlaubt daher eine höhere Geschwindigkeit.

Laserscanner gibt es für konventionelle Verdrahtung und mit integriertem ASIsafe-Slave oder auch mit integrierter Profibus-Anbindung. Geräte mit integriertem ASIsafe-Slave benötigen für die Buskommunikation einen Anschluss an die AS-i Leitung und zur Versorgung eine separate Spannung von 24 VDC. Der Anschluss erfolgt über einen 5-poligen M12-Stecker (X1) an der Oberseite des Gehäuses. Der Laserscanner belegt eine AS-i Adresse.
Der Laserscanner hat eine Wiederanlaufsperre-Funktion (nach Erkennung einer Person oder eines Objekts) eingebaut, die über Software aktivierbar bzw. deaktivierbar ist. Der optional benötigte Start-Taster ist über einen weiteren 5-poligen M12-Stecker (X4) anschließbar. Ein Restart-Signal kann auch über AS-Interface (azyklische Parameterdaten) gesendet werden. Die Schutzfeldumschaltung erfolgt über eine 5-polige M12-Buchse (X3). Die Schutzfeldpaare werden über das Anlegen von 24 V (Pin 5) auf die entsprechenden Eingänge (Pin 1...4) aktiviert.
Es ist immer zuerst das zweite Schutzfeldpaar dazu-, danach das erste Schutzfeldpaar abzuschalten. Die Umschaltung muss innerhalb von 1 s erfolgen. Der Schaltvorgang darf zu keiner Zeit die Deaktivierung aller Schutzfeldpaare beinhalten. Bis auf den Umschaltvorgang darf jeweils nur ein Schutzfeldpaar aktiv sein.



Beispiel einer horizontalen Gefahrenbereichssicherung mit mehreren Schutzfeldpaaren:
SF = Schutzfeld
WF = Warnfeld

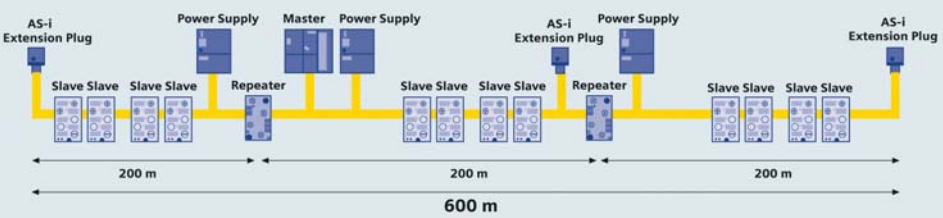
Über die PC-Software LS4soft werden die Schutzfelder parametriert und eingerichtet. Die Software ist zur Inbetriebnahme notwendig und im Lieferumfang des Laserscanners enthalten. Sie bietet auch umfangreiche Diagnosemöglichkeiten an. Zur Übertragung der Konfigurations- und Diagnosedaten wird ein spezielles PC-Kabel mit Infrarot-Adapter benötigt. Der 9-polige D-Sub-Stecker wird mit der seriellen Schnittstelle (z. B. COM1) des PCs verbunden. Der Infrarot-Adapter wird an der entsprechenden Position auf der Oberseite des ASIsafe Laserscanners aufgesetzt, wo er durch einen eingebauten Dauermagneten festgehalten wird.



Festlegung des Schutzfeldbereichs über die Software LS4soft.

AS-Interface / Extension Plug

Mit Einsatz eines Extension Plug oder Extension Plug Plus kann die maximal mögliche Leitungslänge in einem AS-Interface Segment von 100 m auf 200 m verdoppelt werden. Der Extension Plug / Extension Plug Plus ist eine passive Komponente und wird an dem Punkt im Netzwerksegment installiert, der die größte Entfernung zum AS-Interface Netzteil hat. Dabei ist es nicht erforderlich diesen Punkt exakt zu lokalisieren, sondern es ist ausreichend, den Extension Plug / Extension Plug Plus in der Nähe des Leitungsendes (≤ 10 m) anzuschließen.



Mit einem Extension Plug in der Nähe oder am Ende eines AS-i-Segments lässt sich die maximale Leitungslänge dieses Segments von 100 auf 200 m verdoppeln.

Er verfügt über einen M12-Stecker und kann mit einem AS-Interface M12-Abzweig in Schutzart IP67 angeschlossen werden. Der Extension Plug / Extension Plug Plus verfügt über eine integrierte Unterspannungserkennung zur Überwachung der AS-Interface Spannung, um sicherzustellen, dass auch am Ende der Busleitung noch die erforderliche Spannung anliegt. Eine Unterspannung wird beim Extension Plug mittels einer Diagnose-LED signalisiert. Der Extension Plug Plus ist mit einem AS-i A/B Slave ausgestattet und kommuniziert diese Diagnoseinformation direkt an den AS-Interface Master. Die AS-i Adresse des Extension Plug Plus kann durch Verbinden des AS-i M12-Steckers mit dem Adressiergerät erfolgen. Eine zusätzliche AS-i Adressierbuchse ist nicht vorhanden.

Der Extension Plug bzw. Extension Plug Plus wird mit einem AS-Interface M12-Abzweig in Schutzart IP67 angeschlossen.

Hinweis:

Der Extension Plug (ohne "Plus") belegt keine AS-i Adresse.

AS-Interface / Repeater

In der Grundausführung besteht ein AS-i Netz aus einem Segment mit einer maximalen Leitungslänge von 100 m. Mit Extension Plug kann die Leitungslänge auf 200 m erweitert werden. Reicht diese Länge nicht aus, können Sie einen oder mehrere Repeater einsetzen. Ein Repeater erweitert ein bestehendes Segment um ein zusätzliches Segment, das wiederum eine maximale Leitungslänge von 100 m (ohne Extension Plug) bzw. 200 m (mit Extension Plug) aufweisen kann.

Hinweis:

Jedes Segment benötigt ein eigenes AS-i Netzteil. Durch die zusätzliche Versorgung kann eine erhöhte Stromeinspeisung für Slaves/Sensoren sowie ein geringerer Spannungsabfall auf der AS-i Leitung realisiert werden.

Eigenschaften des Repeaters:

- Slaves können auf beiden Segmenten (vor und hinter dem Repeater) installiert werden.
- Die beiden AS-i Leitungssegmente sind galvanisch getrennt, d. h. Störsignale/EMV und Erdschlussfehler werden am Repeater geblockt.
- Der Repeater rekonstruiert die Bit-Informationen im AS-i Telegramm.
- Maximal zwei Repeater in Reihenschaltung einsetzbar, falls kein AS-i Extension Plug verwendet wird.
- Bei Verwendung des AS-i Extension Plug (auf Segment 1 oder/und Segment 2) ist die Reihenschaltung von Repeatern nicht erlaubt.
- Parallelschaltung mehrerer Repeater (Sternkonfiguration) möglich.
- Durch Kombination von Parallel- und Reihenschaltung (Baumkonfiguration) mehrerer Repeater kann die Leitungslänge auf einige Kilometer ausgedehnt werden. In Katalogen und Broschüren wird aus Gründen der vereinfachten Darstellung meist eine erreichbare Gesamtlänge von mehreren hundert Metern angegeben. Die Anzahl der anschließbaren Slaves bleibt auch mit Repeatern auf maximal 31 (ohne A/B-Slaves) bzw. 62 (mit A/BSlaves) begrenzt.
- Der Repeater kann auch zusammen mit ASIsafe-Slaves und Sicherheitsmonitoren bzw. F-Link verwendet werden.
- Die Verteilung der AS-i Adressen (und evt. Sicherheitsmonitore) auf die Segmente ist beliebig. Einzige Einschränkung: Damit die Kommunikationsspannung nicht zu sehr gedämpft wird, dürfen pro Segment maximal 35 Lastäquivalente installiert sein.
  Dabei gelten folgende Entsprechungen:
  - Standard-Slave (inklusive ASIsafe-Slave) ≡ 1 Lastäquivalent,
  - A/B-Slave ≡ 0,5 Lastäquivalent,
  - Sicherheitsmonitor ≡ 1 Lastäquivalent,
  - Repeater (pro Segmentanschluss) ≡ 1 Lastäquivalent,
  - Sonstige Komponenten ohne AS-i Adresse (z. B. Erdschlusserkennung) ≡ 1 Lastäquivalent,
- Der Repeater ist symmetrisch aufgebaut, d. h. es ist unerheblich, ob der AS-i Master im Segment 1 (vor dem Repeater) oder im Segment 2 (hinter dem Repeater) installiert ist.
- Der Repeater kann an beliebiger Stelle einer AS-i Leitung installiert werden. Die AS-i Flachleitung jedes Segments wird ohne Unterbrechung durch den Repeater hindurchgeführt. Bei Bedarf kann die Leitung im Repeater enden.

Hinweis:

Ein Repeater belegt keine AS-i Adresse.

Beispiel:

Segment mit 20 Standard-Slaves (inklusive ASIsafe-Slaves), 10 A/B-Slaves, 3 Sicherheitsmonitoren, 1 Repeater, 1 Erdschlusserkennung. Ergebnis: 20 + 10 x 0,5 + 3+ 1 + 1 = 30; ist eine zulässige Konfiguration, da Lastäquivalent ≤ 35.

AS-Interface / Extender

Der Extender hat eine nahezu identische Funktion wie der Repeater, besitzt jedoch folgende Unterschiede:

Extender

- Auf Segment 1 wird lediglich der AS-i Master angeschlossen. AS-i Netzteil und Slaves dürfen nicht im Segment 1 installiert sein. (Die für das AS-i System benötige Datenentkopplung ist für das Segment 1 im Extender integriert.)
- Auf Segment 2 werden AS-i Netzteil und Slaves sowie evt. Sicherheitsmonitor etc. angeschlossen.
- Keine galvanische Trennung der beiden AS-i Leitungssegmente. Segment 1 wird automatisch aus Segment 2 mitversorgt, wobei der Strom zum Segment 1 auf 100 mA begrenzt ist. Aus diesem Grund kann der Extender nur mit AS-i Mastern verwendet werden, die über eine separate Spannungsquelle versorgt werden. Ein Einsatz mit DP/AS-i Link20E ist nicht möglich, da das Link20E ca. 200 mA aus der AS-i Leitung benötigt. Desgleichen gilt für weitere AS-i Master wie z. B. DP/AS-i Link Advanced bei Eigenversorgung über AS-i.
- Reihen- oder Parallelschaltung mehrerer Extender ist nicht möglich.
- Maximal ein Extender und ein Repeater in Reihenschaltung einsetzbar, falls kein AS-i Extension Plug verwendet wird.
- Bei Verwendung des AS-i Extension Plug (auf Segment 1 oder/und Segment 2) ist die Reihenschaltung von Extender und Repeater nicht erlaubt. Ein eventueller AS-i Extension Plug auf Segment 1 muss in der Nähe des AS-i Masters installiert sein.

TIPP:

Der Extender wird z. B. dort eingesetzt, wo der AS-i Master (im Schaltschrank) weit abgesetzt vom Einbauort der Slaves (Maschinenaufbau) installiert ist.

Hinweis:

Der Extender belegt keine AS-i Adresse.

AS-Interface / Adressiergerät

Um am Datenaustausch mit dem Master teilnehmen zu können, müssen alle Teilnehmer vor dem Aufbau des AS-Interface Netzes adressiert werden. Dies kann

- offline über ein Adressiergerät geschehen oder
- online durch den Master des AS-Interface Systems.

Die Adressen selbst sind die Werte 1 bis 31 (bzw. 1A bis 31A und 1B bis 31B bei erweiterter AS-Interface Spezifikation 2.1). Ein neuer, noch nicht adressierter Slave hat die Adresse 0. Er wird dann auch vom Master als neuer, noch nicht adressierter Slave erkannt und in diesem Zustand noch nicht in die normale Kommunikation einbezogen. Die Zuordnung der Adressen ist beliebig, d. h., es ist vollkommen gleichgültig, ob der Slave mit der Adresse 21 beginnt oder ob man tatsächlich dem ersten Slave die Adresse 1 gibt.

Mit dem Adressiergerät lassen sich AS-i Slaves offline adressieren.

Das Adressiergerät ist mit folgenden Funktionen ausgestattet:

- Auslesen der Slave-Adresse 0 bis 31, A/B
- Auslesen der IO- und ID-Codes der Slaves
- Standard- und erweiterter ID-Code1 und ID-Code2
- Standard- und erweiterter Adressiermodus nach AS-Interface Version 2.1
- Programmierung des ID-Code1
- Funktionsprüfung von Slaves: Eingänge lesen und Ausgänge schreiben von digitalen bzw. analogen Slaves
- AS-Interface Test: Messung von Spannung (Messbereich 0 bis 35 V) und Stromverbrauch (Messbereich 0 bis 100 mA) des AS-Interface Busses
- Speicherung: komplette Anlagenkonfigurationen können gespeichert werden (Profile aller Slaves, auch mit Erweiterung nach AS-Interface Spezifikation 2.1)
- Erkennung kompletter Anlagenbestückungen

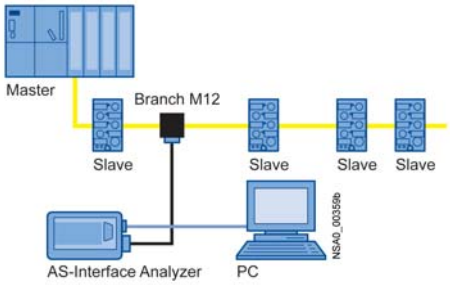
AS-Interface / Analyser

Der AS-Interface Analyser dient zur Prüfung von AS-Interface Netzen. Eine Fehlersuche wird systematisiert und eine permanente Überwachung erleichtert. Fehler bei der Installation, wie z. B. Wackelkontakte oder EMV-Störungen bei extremer Belastung, können durch dieses Gerät aufgedeckt werden. Durch die leicht bedienbare Software ist es möglich, auch ohne detailliertes Fachwissen zu AS-Interface, die Qualität von kompletten Netzen zu beurteilen. Der AS-Interface Analyser ermöglicht zudem die Dokumentation für Inbetriebnahmen und Serviceleistungen durch einfache Erstellung von Prüfprotokollen der getätigten Aufzeichnungen. Eine detaillierte Diagnose wird fortgeschrittenen AS-Interface Anwendern durch Trigger-Funktionen eröffnet.

Analyser

Als passiver Teilnehmer hört der AS-Interface Analyser bei der Kommunikation auf dem AS-Interface Netz mit. Gleichzeitig wird das Gerät aus der AS-Interface Leitung versorgt. Der Analyser interpretiert die physikalischen Signale am AS-Interface Netz und zeichnet die Kommunikation auf. Über eine RS232-Schnittstelle werden die gewonnenen Daten auf einem PC, beispielweise ein Notebook, übertragen und dort mittels der mitgelieferten Diagnosesoftware ausgewertet.

Die "Online-Statistik", ein Modus im Gerät, vermittelt einen schnellen Überblick über das vorhandene AS-Interface System. Die Fehlerraten werden pro Slave in einer Ampelfunktion (grün, gelb, rot) dargestellt. Die Buskonfiguration und die aktuell übertragenen Daten der Slaves werden übersichtlich dargestellt.
Über die erweiterte Statistik kann die Fehlerrate als Anzahl der übertragenen bzw. fehlerhaften Bus-Telegramme ermittelt werden.
Die Bündelfehler-Übersicht zeigt abgestuft an, wieviele Mehrfach-Wiederholungen von Telegrammen aufgetreten sind, damit die Übertragungsqualität gezielt und vorausschauend bewertet werden kann.
Im "Daten-Modul" zeigt der Analyser neben den digitalen Ein-/Ausgangswerten auch die aktuellen Analogwerte sowie den Eingangszustand der Sicherheitsslaves an.
Im "Trace-Modus" stehen umfangreiche Trigger-Funktionen sowie Aufzeichnungs- und Ansichtsfilter im Stil des Feldbus-Analysers zur Verfügung. Um auch schwierigste Fehler zu finden, runden externer Triggereingang und Triggerausgang den Funktionsumfang ab. Für die Fehlersuche im Zusammenhang mit Sicherheitsmonitor-Anwendungen werden Zustandswechsel in den Code-Tabellen von Sicherheitsslaves erkannt und ausgewertet.



Anschluss des Analysers am AS-i Netz. Das Gerät hört bei der Kommunikation auf dem AS-i Bus mit und erzeugt entsprechende Auswertungen.

Die aufgezeichneten Daten der Online-Statistik können über ein Prüfprotokoll einfach ausgegeben und dokumentiert werden. Dadurch kann ein Nachweis über den Zustand der Anlage für Freigaben oder für Serviceeinsätze geliefert werden. Der Messungsassistent zeichnet die Bus-Signale für eine einstellbare Zeitdauer auf und automatisiert damit die Erstellung des Prüfprotokolls. Somit kann eine standardisierte Qualitätsprüfung von AS-i-Anlagen durchgeführt werden.

Erschlusserken-nungsmodul

Erdschlusserkennungsmodul

"... Erdschlüsse in Steuerstromkreisen dürfen weder zum unbeabsichtigten Anlauf oder zu gefährlichen Bewegungen einer Maschine führen, noch deren Stillsetzen verhindern." (EN 60204, Teil 1 bzw. DIN VDE 0113). Zur Erfüllung dieser Anforderungen wird das AS-Interface Erdschlusserkennungsmodul eingesetzt. Mit diesem Modul aus der SlimLine-Baureihe können Erdschlüsse in AS-Interface Anlagen sicher erkannt und rückgemeldet werden.
Folgende Erdschlüsse werden erkannt:

- Erdschluss von AS-i "+"
- Erdschluss von AS-i "-"
- Erdschluss von Sensoren und Aktoren, die von der AS-Interface Spannung versorgt werden.

Hierzu genügt jeweils ein Modul pro AS-Interface Netz.
Der Erdschluss wird von dem Modul erkannt, über eine LED angezeigt und über zwei Meldeausgänge (1. kein Erdschluss / O.K., 2. Erdschluss/Fault) signalisiert. Die Erdschlussmeldung wird im Modul gespeichert. Erst nachdem der Erdschluss beseitigt wurde, kann das Modul durch Abschalten der AS-Interface Spannung, über einen Reset-Taster oder durch eine Highpegel an dem potentialfreien Remote-Reset-Eingang rückgesetzt werden.
Externe Hilfsspannungen werden mit diesem Modul nicht erdschlussüberwacht.

Beachte:

Überprüfen Sie regelmäßig die Funktion des Moduls

Hinweis:

Das Erdschlusserkennungsmodul ist ein passives Modul ohne IC und benötigt demzufolge keine eigene Adresse am AS-Interface Netz.

Alternativ dazu gibt es die Möglichkeit einer Prüfung auf Erdschluss mit einem Spannungsmessgerät:
Mit einem hochohmigen Spannungsmessgerät ($R_i \geq 20\ M\Omega$, z. B. Digitalmultimeter) kann ein Erdschluss an beliebiger Stelle der AS-i Leitung erkannt werden:

1. Stellen Sie das Messgerät auf Spannungsmessung (DC-Volt) ein.
2. Verbinden Sie die Minus-Messleitung mit Anlagenmasse/Erde

3a. Verbinden Sie die Plus-Messleitung mit AS-i-Plus.

- Ohne Erdschluss stellt sich eine Spannung von ca. 15 V (+/- 3 V) ein. Da die AS-i Leitung im Idealfall nur über einen kapazitiven Spannungsteiler symmetrisch zur Anlagenmasse eingestellt ist, kann infolge des Innenwiderstands des Messgeräts die gemessene Spannung leicht driften.
- Bei Erdschluss gegen AS-i-Plus sinkt die Spannung bis auf 0 V ab (je nach Widerstand in der Erdverbindung).
- Bei Erdschluss gegen AS-i-Minus steigt die Spannung bis zur max. AS-i Spannung (ca. 30 V) an (je nach Widerstand in der Erdverbindung).

Alternativ:

3b. Verbinden Sie die Plus-Messleitung mit AS-i-Minus.

- Ohne Erdschluss stellt sich ein negativer Spannungswert von ca. -15 V (+/- 3 V) ein. Da die AS-i Leitung im Idealfall nur uber einen kapazitiven Spannungsteiler symmetrisch zur Anlagenmasse eingestellt ist, kann infolge des Innenwiderstands des Messgeräts die gemessene Spannung leicht driften.
- Bei Erdschluss gegen AS-i-Plus steigt der Betrag der Spannung bis zur max. AS-i Spannung an, d. h. es wird eine negative Spannung bis ca. -30 V gemessen (je nach Widerstand in der Erdverbindung).
- Bei Erdschluss gegen AS-i-Minus sinkt der Betrag der Spannung bis auf 0 V ab, d. h. es wird eine kleine negative Spannung um 0 V gemessen (je nach Widerstand in der Erdverbindung).

Da die angeschlossenen Sensoren durch die AS-i Spannung versorgt werden, bewirkt ein Erdschluss auf der Sensorleitung auch einen Erdschluss auf der AS-i Leitung (Ausnahme: Module mit potentialgetrennten Eingängen).
Falls die Ausgänge aus der AS-i Leitung versorgt werden, gilt entsprechendes für die Aktorleitungen.
Die Ursache für einen Erdschluss kann an beliebiger Stelle im AS-i Netz liegen. Aufgrund der Topologiefreiheiten gibt es kein Messverfahren, um den Ort der Fehlerstelle automatisiert zu lokalisieren.

Beachte:

AS-i Leitung und Sensorleitungen dürfen an keiner Stelle mit Masse oder Fremdspannung verbunden sein.

Überspannungsschutzmodul

Das AS-Interface Überspannungsschutzmodul schützt nachgeschaltete AS-Interface Geräte oder einzelne Anlagenabschnitte in AS-Interface Netzen vor leitungsgebundenen Überspannungen, die durch Schaltvorgänge und entfernte Blitzeinschläge hervorgerufen werden können. Der Einsatzort des Überspannungsschutzmoduls bildet innerhalb des Blitzschutzzonen-Konzepts den Übergang von Zone 1 auf 2/3. Direkte Blitzeinschläge müssen mit zusätzlichen Schutzmaßnahmen an den Übergängen von Blitzschutz-Zone 0A auf 1 beherrscht werden. Mit dem AS-Interface Überspannungsschutzmodul kann jetzt auch AS-Interface in das Gesamtkonzept des Überspannungsschutzes einer Anlage oder Maschine eingebunden werden.
Das Modul besitzt Bauform, Anschluss und Schutzart (IP67) der AS-Interface Anwendermodule.

Hinweis:

Das Überspannungsmodul ist ein passives Modul ohne AS-i IC und benötigt somit auch keine eigene Adresse am AS-Interface Netz.

Überspannungsschutz-modul

Hinweis:

Die Erdung der Schutzmodule und der zu schützenden Geräte muss über einen gemeinsamen Erdungspunkt (Potentialausgleich) erfolgen. Werden schutzisolierte Geräte geschützt, muss deren Montagehalterung in den Erdungspunkten mit einbezogen werden.

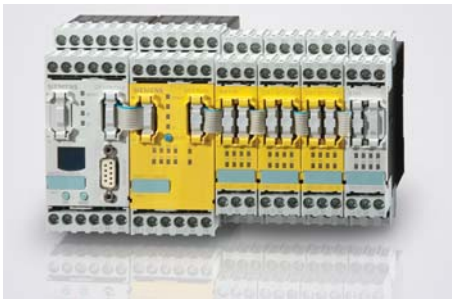
Die Anbindung an ein AS-Interface System erfolgt über das Koppelmodul FK-E oder PG-E. Durch die Verwendung der EEMS-Schnittstelle kann die AS-Interface Leitung und die Leitung für die Hilfsspannung gegen Überspannung geschützt werden. Die Ableitung von Überspannungen erfolgt über eine Erdungsleitung mit grün/gelben ölfesten Außenmantel. Diese Leitung ist fest in das Modul eingebunden und muss niederohmig mit Anlagenerde verbunden werden.

Der Nennableitstoßstrom ist der Scheitelwert eines Stoßstroms der Form 8/20 Mikrosekunden, für den das Überspannungsschutzmodul nach einem bestimmten Prüfprogramm bemessen ist. Bei der Wellenform 8/20 werden 100 % des Werts nach 8 Mikrosekunden und 50 % nach 20 Mikrosekunden erreicht.

Der Schutzpegel eines Überspannungsschutzmoduls ist der höchste Momentanwert der Spannung an den Klemmen, bestimmt aus Einzelprüfungen. Der Schutzpegel charakterisiert die Fähigkeit eines Überspannungsschutzmoduls, Überspannungen auf einen Restpegel zu begrenzen.

Modulares Sicherheitssystem MSS / 3RK3

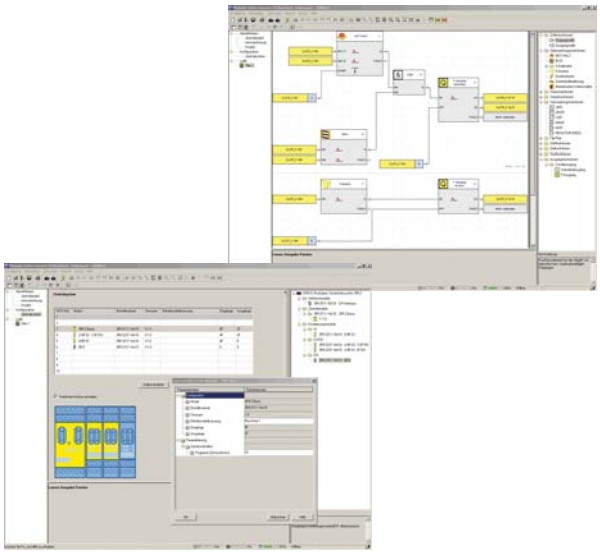
Das flexible, multifunktionale System Sirius MSS ist modular aufgebaut. Das Zentralmodul 3RK3 bildet das Herz des Sicherheitssystems. In ihm wird das gesamte Sicherheitsprogramm einer Applikation abgearbeitet. Es liest Eingänge ein, steuert Ausgänge an und kommuniziert über ein zusätzlich ansteckbares Busmodul mit übergeordneten Steuerungen. Das Interfacemodul DP-Interface dient der Übertragung von Diagnose- und Gerätezustandsdaten in ein überlagertes Profibus-Netz. Zyklisch können damit bis zu 32 Bit mit der Steuerung ausgetauscht werden. Azyklisch lassen sich Diagnosedaten abrufen.
Über Erweiterungsmodule lässt sich die Anzahl der Ein- und Ausgänge jederzeit verändern. So kann das Mengengerüst des Sicherheitssystems flexibel an die jeweiligen Applikationen angepasst werden. Dazu lassen sich an die rechte Seite des Zentralmoduls bis zu sieben Erweiterungsmodule anschließen. Die Modultypen sind dabei beliebig kombinierbar.



Mit dem modularen Sicherheitssystem Sirius MSS einfach, schnell und flexibel auf alle Applikationsänderungen in Maschinen und Anlagen reagiert werden. Über das Busmodul ist sogar die direkte Anbindung an Profibus möglich.

Das MSS kann in Sicherheitsapplikationen bis Kategorie 4 gemäß EN 954-1 beziehungsweise SIL 3 gemäß IEC 61508 und Performance Level e gemäß EN 13849-1 eingesetzt werden.
Das Zentralmodul 3RK3 Basic ist alleine, quasi als kleinste Ausbaustufe funktionsfähig. Es besitzt acht sicherheitsgerichtete Sensoreingänge, einen sicherheitsgerichteten Relais-Ausgang sowie einen sicherheitsgerichteten elektronischen Ausgang.

Die Parametriersoftware "MSS ES" ist Bestandteil des modularen Sicherheitssystems und ersetzt die langwierige Verdrahtung der einzelnen Funktionen durch eine schnelle und einfache Parametrierung. Alle Funktionselemente lassen sich per Drag & Drop platzieren. Sämtliche Funktionen – ob Sicherheits- oder Logikfunktionen – stehen als Bausteine zur Verfügung und können ebenfalls einfach miteinander verknüpft werden.
Ein Highlight ist das Testen durch Forcen. Die Software ermöglicht das Testen der Sicherheitsapplikation durch Forcen. Ausgänge lassen sich dabei gezielt setzen, um die Reaktion der nachgeschalteten Sicherheitsfunktion vorab zu beobachten. Das erleichtert und beschleunigt die Inbetriebnahme der Sicherheitsapplikation.
Die Software MSS ES eignet sich zudem als zuverlässiges "Diagnosewerkzeug", da sich der Zustand eines jeden Elements und die gesamte Verschaltung online beobachten lassen. Zusätzlich wird eine umfangreiche Dokumentation der Sicherheitsfunktionen erstellt.



Eines der Highlights der Parametriersoftware "MSS ES" für das modulare Sicherheitssystem MSS ist das "Forcen". Damit lassen sich Ausgänge gezielt setzen, um die Reaktion der nachgeschalteten Sicherheitsfunktion zu beobachten.

Sicherheitsschaltgeräte 3TK28

Die Sicherheitsschaltgeräte 3TK282 und 3TK283 gibt es in unterschiedlichsten Ausführungen; sie besitzen Relais-Freigabekreise. Entsprechende Beispielsschaltungen sind im Internet dargestellt.

Die Sicherheitsschaltgeräte 3TK284 gibt es in unterschiedlichen Ausführungen. Sie besitzen Halbleiter-Freigabekreise. Entsprechende Beispielschaltungen sind im Internet dargestellt.

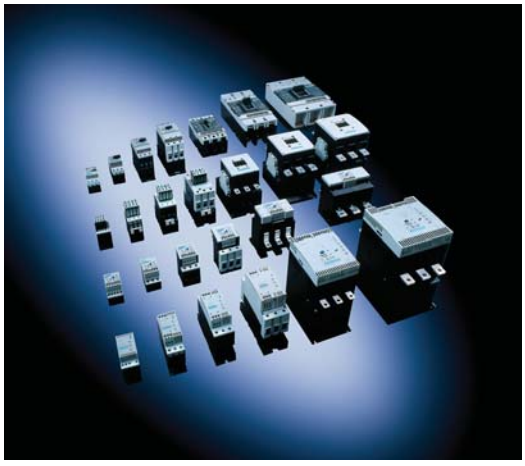
Die Sicherheitsschaltgeräte 3TK2845 besitzen Relais- und Halbleiter-Freigabekreise. Entsprechende Beispielschaltungen sind im Internet dargestellt.

Die Sicherheitsschaltgeräte 3TK285 gibt es in unterschiedlichen Ausführungen. Sie besitzen Hilfsschütz-Freigabekreise. Entsprechende Beispielschaltungen sind im Internet dargestellt.

Die sicheren Verbraucherabzweige 3RA71 gibt es in unterschiedlichen Ausführungen. Entsprechende Beispielschaltungen sind im Internet dargestellt.

Sirius / Simatic Systembaukasten

Siemens ist einer der bedeutendsten Hersteller von Schaltgeräten. Das Produktspektrum reicht von Geräten, die wenige mA schalten, bis zu Leistungsschaltern zur Energieverteilung.
Die Produktreihe "Sirius" besteht aus Leistungsschaltern 3RV, Schützen 3RT, Hilfs- und Koppelschützen 3RH/3RT, thermischen Überlastrelais 3RU, elektronischen Überlastrelais 3RB10/3RB12, Zeitrelais 3RP, Halbleiter-Motor-Steuergeräten (Sanftstarter) 3RW3 und aus Kombinationen dieser Geräte, den Verbraucherabzweigen 3RA. Die einzelnen Geräte sind so entwickelt und gebaut, dass sie sehr einfach zu Verbraucherabzweigen zusammengebaut werden können. Dies ist möglich, da alle Geräte elektrisch und mechanisch aufeinander abgestimmt sind.



Der Sirius Systembaukasten beinhaltet eine Vielzahl von Niederspannungs-Schaltgeräten, die in der Automatisierung, der Energieverteilung und in der gesamten Industrie notwendig sind. In nur sieben Baugrößen deckt das Gerätespektrum Leistungen bis zu 250 kW ab. Das Besondere ist auch, dass alle Geräte elektrisch und mechanisch aufeinander abgestimmt sind.

Das gesamte Sirius-Gerätespektrum ist in nur sieben Baugrößen (S00 bis 5,5 kW, S0 bis 11 kW, S2 bis 22 kW, S3 bis 45 kW, S6 bis 90 kW, S10 bis 160 kW und S12 bis 250 kW bei 400 V) mit sechs unterschiedlichen Baubreiten (45 mm für S00 und S0, 55 mm für S2, 70 mm für S3, 120 mm für S6, 145 mm für S10 und 160 mm für S12) unterteilt und verfügt über ein einheitliches Zubehörprogramm für alle Baugrößen.
Die einzelnen Komponenten des Sirius-Programms sind Module eines Baukastensystems, die sowohl in ihrer Baugröße als auch in ihren technischen Daten so aufeinander abgestimmt sind, dass individuelle Anforderungen schnell und kostengünstig erfüllt werden können.

Die Geräte sind in ihren Bemessungen und technischen Daten aufeinander abgestimmt:

- die gleiche Baubreite gewährleistet eine schnelle Montage.
- die Anschlusstechnik ist vereinheitlicht, Geräte gleichen Bemessungsstroms haben die gleichen Klemmen.

Hinweis:

Alle Sirius-Geräte können dicht an dicht montiert, ohne Derating bis zu einer Umgebungstemperatur von 60 °C eingesetzt werden.

Alles Zubehör, wie zum Beispiel Hilfsschalter und Überspannungsbegrenzer, ist ohne Werkzeug montier- und demontierbar. Für den Zusammenbau von Gerätekombinationen und sicherungslosen Verbraucherabzweigen stehen Verbindungsbausteine zur Verfügung, welche die mechanische und elektrische Verbindung der Geräte übernehmen.

Die Anbindung der Sirius-Schaltgeräte an übergeordnete Steuerungssysteme ist neben der konventionellen Verdrahtung auch über Feldbus möglich, nämlich über AS-Interface und/oder Profibus-DP bzw. Profinet. Über diese Feldbussysteme werden Sirius Schaltgeräte in das Siemens Automatisierungskonzept "Totally Integrated Automation" (TIA) eingebunden. TIA bietet dem Anwender eine dreifache Durchgängigkeit in Projektierung/Programmierung, Datenhaltung und Kommunikation. TIA zeichnet sich durch seine einzigartige Durchgängigkeit aus.

TIPP:

Mit Totally Integrated Automation bietet Siemens als einziger Hersteller eine durchgängige Basis zur Realisierung kundenspezifischer Automatisierungslösungen.

Sirius Schaltgeräte werden häufig in sicherheitsrelevanten Anlagenteilen eingesetzt. Mit dem "Safety Integrated"-Konzept können Lösungen vom Sicherheitsrelais bis hin zur fehlersicheren Kommunikation über AS-Interface oder Profibus-DP durchgängig realisiert werden.
Die Sirius-Schaltgeräte sind klimafest und für den weltweiten Einsatz geeignet und erprobt. Die zugehörigen Umweltbedingungen sind in DIN EN 60721-3-3 "Klassifizierung von Umweltbedingungen/ Teil 3: Klassen von Umwelteinflussgrößen und deren Grenzwerte/ Hauptabschnitt 3: Ortsfester Einsatz, wettergeschützt", beschrieben.
Wichtige Umweltbedingungen:

- Umgebungstemperatur: -25 bis +60 °C
- Luftfeuchtigkeit relativ: 10 bis 100 % (Betauung nur gelegentlich)

Hinweis:

Die Sirius-Schaltgeräte enthalten keine Halogene, kein Asbest, kein Cadmium.

Komponenten	Kurzbeschreibung/Merkmale	Zubehör
Leistungsschalter 3RV1	- Schalten und Schützen von Motoren und anderen Verbrauchern bis 100 A	- Hilfsschalter (querliegend, seitlich) - Unterspannungsauslöser - Spannungsauslöser - Meldeschalter - Gehäuse - 3-Phasen-Sammelschienensystem
Motorschütze 3RT1	- Schalten von Motoren bis 250 kW und Strömen bis 500 A - Ausführungen: 3-polig zum Schalten - 4-polig, mit 4 S und 2 S + 2 Ö - Lötstiftadapter - Kondensatorschütze - Wende und Stern-Dreieck-Kombinationen	- Hilfsschalterblöcke - Überspannungsbegrenzer - Parallelschaltverbindungen - Zeitrelaisblöcke - Verbindungsbausteine - Verdrahtungsbausteine
Hilfsschütze 3RH11	- Bauform wie 3RT1 (Baugröße S00) - Grundausführung: 4-polig, erweiterbar durch Hilfsschalterblöcke auf 8 Pole - hohe Kontaktsicherheit 1 mA; 17 V	- Hilfsschalterblöcke - Überspannungsbegrenzer - Parallelschaltverbindungen - Zeitrelaisblöcke - Verbindungsbausteine - Verdrahtungsbausteine
Koppelschütze 3RT10/ 3RH11	- Schütze zum Schalten von Motoren und Hilfsschützen mit erweitertem Arbeitsbereich 17 bis 30 V	- Hilfsschalterblöcke - Überspannungsbegrenzer - Parallelschaltverbindungen - Zeitrelaisblöcke - Verbindungsbausteine - Verdrahtungsbausteine
Überlastrelais 3RU11	- Auslöseklasse CLASS 10 - Phasenausfallempfindlichkeit - Serienmäßige Hilfskontakte 1 S + 1 Ö - Baugröße S00: Wiederholklemme für Hilfskontakt und Spulenanschluss bei Schützanbau - Integrierte, transparente und plombierbare Abdeckung für Einstellknopf und Test-Funktion	- Fern-Reset, elektrisch - mechanisches Reset - Anschlussträger für Einzelaufstellung
Überlastrelais 3RB10	- geringe Varianz - Auslöseklassen CLASS 10 und CLASS 20 - Schnelle Auslösung bei Phasenausfall (< 3s) - Serienmäßige Hilfskontakte 1 S + 1 Ö - geringe Verlustleistung, energiesparend - weite Einstellbereiche für einfache Projektierung	- Fern-RESET, elektrisch - mechanisches RESET - Anschlussträger für Einzelaufstellung

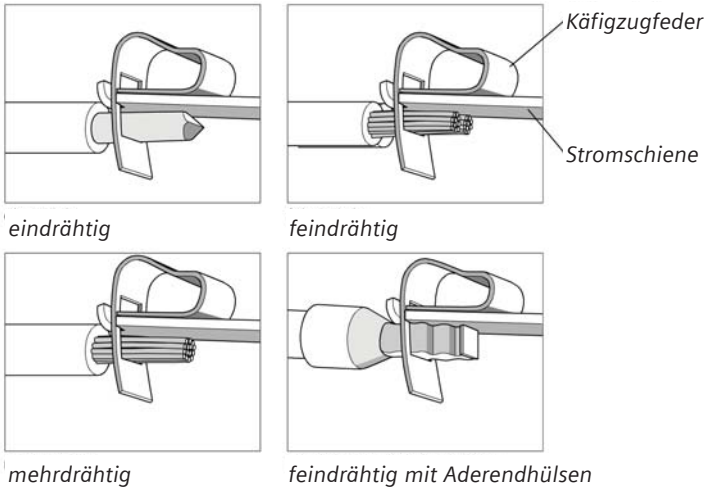
Komponenten	Kurzbeschreibung/Merkmale	Zubehör
Überlastrelais 3RB12 	- Auslöseklassen CLASS 5 bis CLASS 30 einstellbar - Phasenausfallempfindlichkeit - 2 Ausgänge je 1 S + 1 Ö - integrierte Stromwandler bei allen Größen - Motorschutz durch Anschluss eines Thermistor-Fühlerkreises - Erdschlussüberwachung - Überlastwarnung - Fern-und Automatikreset möglich - hohe Auslösegenauigkeit - große Einstellbereiche - Selbstüberwachung	- Summenstromwandler zur externen Erdschlusserfassung - Gleichspannungsvorsatz - Klemmenabdeckung
Verbraucherabzweige 3RA1 	- Sicherungsloser Verbraucherabzweig aus Leistungsschalter und Schütz - einfacher Aufbau durch Verbindungs- und Verdrahtungsbausteine - Wendekombination (Verbindungsbausteine) - Stern-Dreieck-Kombination	- Zubehör der Grundgeräte (Schütze und Leistungsschalter) - Spezielles Zubehör: Hilfsschalter von oben oder unten anschließbar
Elektronische Zeitrelais 3RP10/15 	- 8 umstellbare Zeitbereiche von 0,05 s bis 10 h - Gleichbleibend hohe Wiederholgenauigkeit - Kombispannungsausführung DC 24 V und AC 110 bis 240 V - 2 Geräteausführungen: ansprechverzögert und Multifunktion (7 Funktionen) - Hohe mechanische und elektrische Lebensdauer	- Codiersteckersätze - Abschließvorrichtung
Sanftstarter 3RW30/31 	- Reduzierung des Anlaufstroms ohne Einschaltruck - Sanftauslauffunktion - nur 3 Motorzuleitungen notwendig - Anpassung an die Anlage durch Einstellmöglichkeiten: Anlaufzeit, Startspannung, Auslaufzeit	- Lüfter
Kommunikationsfähige, Verbraucherabzweige 	- für AS-Interface in Schutzart IP 20: AS-Interface Verbraucherabzweig 3RA5 - für AS-Interface in Schutzart IP 65: AS-Interface Kompaktstarter - für Profibus-DP in Schutzart IP 20: dezentrales Peripheriesystem ET 200S - für Profibus-DP in Schutzart IP 65: dezentrales Peripheriesystem ET 200X - für AS-Interface und PROFIBUS-DP in Schutzart IP 65: ECOFAST Motorstarter - für Profibus-DP in Schutzart IP 65: Dez. Peripheriesystem ET 200 pro	- AS-Interface Systemzubehör - Energiestecker /-leitungen / AS-Interface Systemzubehör - Systemzubehör ET 200S - Energiestecker /-leitungen / Systemzubehör ET 200X - Energiestecker /-leitungen / Systemzubehör ECOFAST

Cage Clamp-Anschluss

Neben den Schraubanschlüssen gibt es bei den Sirius-Geräten auch die Möglichkeit, die Federzug-Anschlusstechnik (Cage Clamp®) zu nutzen. Käfigzugfeder-Klemmstellen, bei den Sirius-Produkten Cage Clamp-Anschlüsse genannt, ermöglichen eine schnelle und wartungsfreie Verdrahtung.

Der Cage Clamp-Anschluss besteht aus zwei Teilen:

- Stromschiene zur Stromleitung
- Käfigzugfeder zur Erzeugung der Klemmkraft



Die Federzug-Anschlusstechnik hat Vorteile bezüglich Verdrahtungskomfort und Verdrahtungssicherheit.

Die Käfigzugfeder an den Schaltgeräten klemmt alle Kupferleiter (ein-, mehr- und feindrähtig) von 0,25 mm^2 bis 2,5 mm^2. Die Leiter können direkt oder mit Leitervorbehandlung als Spleißschutz geklemmt werden. Hierzu können die Leiterenden mit Aderendhülsen oder Stiftkabelschuhen versehen werden. Die eleganteste Lösung sind ultraschallendverdichtete Leiter.

Die Geräte sind mit einem Zweileiter-Anschluss ausgerüstet, das bedeutet zwei unabhängige Anschlüsse je Strombahn. An jede Klemmstelle wird nur je ein Leiter angeschlossen. Die Käfigzugfeder drückt den Leiter gegen die an dieser Stelle durchgewölbte Stromschiene. Die dadurch erreichte hohe spezifische Flächenpressung ist gasdicht. Die Käfigzugfeder drückt flächig gegen den Leiter, ohne ihn zu beschädigen. Die Federkraft der Käfigzugfeder ist so ausgelegt, dass sich die Klemmkraft automatisch dem Durchmesser des Leiters anpasst. Dadurch werden Leiterverformungen, die durch Setz-, Kriech- oder Fließerscheinungen auftreten können, ausgeglichen. Ein Selbstlockern der Klemmstelle ist nicht möglich.

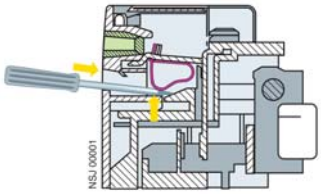
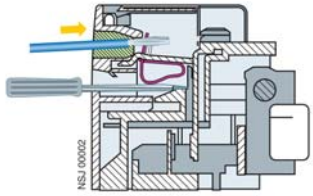
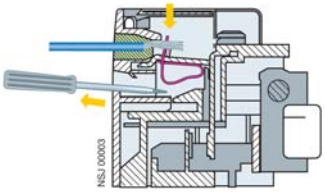
Hinweis:

Diese Verbindung ist rüttel- und schocksicher. Derartige Beanspruchungen beschädigen weder den Leiter, noch verursachen sie eine Kontaktunterbrechung. Besonders geeignete Einsatzgebiete sind Maschinen und Anlagen, bei denen derartige Belastungen auftreten, wie z. B. Rüttler, Schienenfahrzeuge und Aufzüge.

Der Kontaktdruck zwischen Leiter und Stromschiene ist optimal, so dass sich diese Klemmverbindung sowohl für Starkstromanwendungen als auch für die Übertragung von Spannungen und Strömen im mV- bzw. mA-Bereich in der Messtechnik und Elektronik eignet.
Als Betätigungswerkzeug werden zum Öffnen der Cage Clamp-Anschlüsse entsprechende Schraubendreher verwendet.

TIPP:

Bei Leiterquerschnitten, die ≤1 mm² sind, sollten Sie einen Isolierstopp verwenden, um ein Klemmen auf die Leiterisolierung zu verhindern.

Schritt	Montageschritte	
1	Stecken Sie den Schraubendreher bis zum Anschlag in die rechteckige Betätigungsöffnung. Die Schraubendreherklinge hält die Käfigzugfeder selbsttätig geöffnet.	
2	Stecken Sie den Leiter in die ovale Anschlussöffnung.	
3	Ziehen Sie den Schraubendreher wieder heraus. Die Klemme schließt sich dadurch und der Leiter ist sicher geklemmt.	

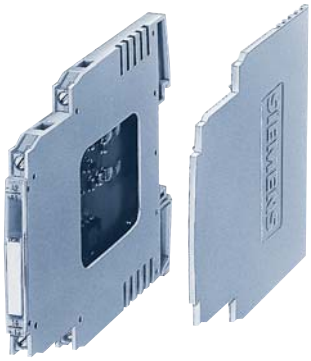
Montageschritte beim Cage Clamp-Anschluss

Schaltgeräte

Viele Niederspannungs-Schaltgeräte sind im Mastertree unter der Rubrik "Sirius Systembaukasten" zu finden. Zusätzlich gibt es weitere Produkte, die das Sortiment an Schaltgeräten erweiterten. Hierzu zählen unter anderem folgende:

Koppelrelais 3TX7 / 3RS18

Bei Koppelgliedern in Doppelstock-Bauform sind die Anschlüsse auf zwei Ebenen angeordnet; die Geräte haben eine äußerst schmale Bauform. Hierbei gibt es die konventionelle Schraubanschlusstechnik sowie die modernen Federzugklemmen. Für Prüfzwecke stehen Ausführungen mit Manuell-0-Automatik-Schalter zur Verfügung.
Die Eingangs- und Ausgangskoppelglieder unterscheiden sich durch die räumliche Lage der Anschlüsse und die Leuchtdiode. Zur Betriebsmittelerkennung trägt jedes Koppelglied ein Leerschild. In Anlehnung an die technischen Daten der Elektroniksysteme haben die Koppelglieder eine geringe Leistungsaufnahme.
Bei den Koppelrelais 3RS18 sind die Relaisspulen intern mit Entstördioden bedämpft.



Die Koppelrelais 3TX7 - wie hier in der schmalen Bauform - gibt es mit AC- und DC-Betätigung.

Steckrelais LZS, LZX

Die Steckrelais LZS, als Nachfolger der bekannten LZX-Typen, sind ebenfalls Komplettgeräte, die es neben der bewährten Schraubanschlusstechnik zusätzlich auch mit Steckklemmen (Push in) gibt.

Hinweis:

Aufgrund geometrischer Unterschiede sind die LED-Module, Stecksockel, Haltebügel und Beschriftungsschilder nur in der jeweiligen Reihe - LZS oder LZX - kombinier bzw. verwendbar.

Steckrelais LZS/LZX.

Powerrelais/Kleinschütze

Die Powerrelais/Kleinschütze 3TG10 mit vier Hauptkontakten sind mit Schraubanschlüssen oder Flachsteckanschlüssen 6,3 mm x 0,8 mm erhältlich. Die Ausführungen mit Schraubanschlüssen sind klimafest und berührungssicher nach DIN EN 61140. Die Baubreite beträgt 36 mm.

Durch ihre Brummfreiheit sind sie zum Einsatz in Hausgeräten und Verteilungen in Büro- sowie Wohnbereichen geeignet. Einsatzgebiete sind außerdem überall dort, wo wenig Platz zur Verfügung steht, z. B. in Klimageräten, Heizungen, Pumpen, Ventilatoren.

Die Niederspannungs-Schaltgeräte haben eine integrierte Beschaltung gegen Abschaltüberspannungen. Für den Überlastschutz kann das Überlastrelais 3UA7 verwendet werden. Dies gilt sowohl für den Schützanbau, als auch für die Einzelaufstellung.

Powerrelais/Kleinschütz 3TG10.

Halbleiterschaltgeräte

Gegenüber konventionellen Schaltgeräten zeichnen sich die Sirius-Halbleiterschaltgeräte durch ihr verschleißfreies und lautloses Schalten aus. Das ist trotz hoher Schaltfrequenzen möglich, weil Geräte besonders leistungsfähige Halbleiter integrieren. Kurzum: Es gibt keine mechanisch bewegten Teile. Außerdem erlauben sie einen Betrieb bis zu einer Umgebungstemperatur von 60°C.

Mit seiner schmalen Baubreite von 22,5 mm (10,5 A und 20 A) ist das Halbleiterrelais 3RF21 platzsparend. In Kombination mit entsprechend dimensionierten und angepassten Kühlkörpern wird aus einem Halbleiterrelais ein Halbleiterschütz. Die logische Anschlusstechnik, die Energiezuleitung von oben und der Anschluss der Last von unten sorgen für einen sauberen Aufbau im Schaltschrank.

Die 45 mm Standard-Bauform 3RF20 bietet den Anschluss der Energiezuleitung und der Last von oben. Dies ermöglicht den einfachen Ersatz vorhandener Halbleiterrelais in bestehenden Aufbauten. Der Anschluss der Steuerleitung funktioniert analog zur 22,5 mm Bauform durch einfaches Aufstecken.

Hinweis:

Bei den Halbleiterschaltgeräten gibt es ein- und dreiphasige Ausführungen zum Schalten von ohmschen Lasten.
Je nach Ausführung werden Stromstärken von bis zu 88 Ampere zugelassen.
Dreiphasige Drehstromlasten können bis zu 55 Ampere geschaltet werden.

Wahlweise können Sirius Halbleiterrelais und -schütze in sicherungslose oder sicherungsbehaftete Abzweige eingebaut werden. Die einphasigen Halbleiterschütze gibt es zudem in einer kurzschlussfesten Sonderausführung. Mit nur sieben Ausführungen wird bei den einphasigen Ausführungen ein Strombereich bis 88 A abgedeckt. Spezielle Ausführungen ermöglichen sogar den Einsatz in öffentlichen Netzen (ohne Entstörfilter etc. bis 16 A) oder den kurzschlussfesten Aufbau mittels Leitungsschutzschalter bis zu 25 A.
Die dreiphasigen Halbleiterschütze kommen speziell bei Applikationen mit Drehstrom zum Einsatz. Sie decken mit fünf Varianten den Strombereich von 10 bis 50 A ab und sind als zwei- und dreiphasig gesteuerte Ausführungen erhältlich.

Halbleiterschütze mit Kühlkörper gibt es zum Schalten von ohmschen Lasten und von Motoren.

Hinweis:

Wie die dreiphasigen Halbleiterrelais bedienen die dreiphasigen Halbleiterschütze einen Spannungsbereich von 48 bis 600 V und werden als "nullpunktschaltende" Version angeboten. Der weite Steuerspannungsbereich von 4 bis 30 V ermöglicht den Betrieb an digitalen Steuerungen (SPS) oder einfachen Temperaturreglern.

TIPP:

Durch spezielle Trägermaterialien und ausgewählte Halbleiter sind die technischen Daten wie der Wärmeübergang und die Verlustleistung optimiert worden. Deshalb können die Halbleiterrelais leicht auf unterschiedliche Kühlflächen montiert werden und bewältigen dennoch die nach der Produktnorm EN 60947-4-3 spezifizierten Bemessungsströme.
Zusätzlich gibt es dreiphasige Halbleiterschütze und Halbleiterwendeschütze zum Schalten von Motoren.

Die zweiphasig gesteuerten, "momentanschaltenden" Halbleiterschütze im isolierten Gehäuse gibt es in 45 mm Baubreite bis 9 A und in 90 mm Baubreite bis 16 A. Die Geräte lassen sich mit einem Verbindungsbaustein direkt an einen Leistungsschalter

anschließen. Auch die direkte Montage eines elektronischen Überlastrelais ist möglich. Somit können Motoren bis zu 7,5 kW betrieben werden.
Die Integration von vier Strombahnen zu einer Wendeschaltung, vereint in einem Gehäuse, macht dieses Gerät zu einer besonders kompakten Lösung. Im Vergleich zu herkömmlichen Systemen, für die zwei Schütze benötigt werden, kann mit den dreiphasigen Wendeschützen bis zu 50 Prozent Baubreite eingespart werden. Geräte in 45 mm Baubreite decken Motoren bis 2,2 kW und in 90 mm Baubreite bis zu 3 kW ab.

Um die Einsatzmöglichkeiten bzw. den Funktionsumfang von Halbleiterrelais und Halbleiterschützen zu erhöhen, gibt es eine Reihe von Zubehör:

- Last- oder Heizstromüberwachungsmodul zum Betrieb von mehreren Heizelementen mit konstantem Widerstand an einem Halbleiterrelais oder Halbleiterschütz bzw. zum Betrieb und zur Überwachung kritischer Heizsysteme
- Konvertermodul zur dezentralen, autarken Temperaturregelung.
- Leistungsstellermodul zum Stellen der Leistung mittels Analogsignal
- Leistungsreglermodul für komplexe Heizungssysteme, für Heizelemente mit temperaturabhängigem Widerstand, für Heizelemente mit Langzeitalterung sowie für einfache indirekte Temperaturregelung über Leistungsregelung.

Hinweis:

Die Leistungshalbleiter der Halbleiterrelais besitzen eine sehr hohe Sperrfähigkeit, weshalb weitgehend auf zusätzliche Schutzbeschaltungen verzichtet werden kann.

Schutzgeräte

Leistungsschalter

Leistungsschalter 3RV1 bis 100 A sind kompakte, strombegrenzende Leistungsschalter, die für Verbraucherabzweige optimiert sind. Die Schalter werden zum Schalten und Schützen von Drehstrommotoren bis 45 kW bei AC 400 V bzw. auch für andere Verbraucher mit Bemessungsströmen bis 100 A eingesetzt. Es gibt sie in vier Baugrößen mit Schraubanschlusstechnik bzw. auch mit Cage-Clamp-Anschluss.

Hinweis:

Die Leistungsschalter 3RV10 für den Motorschutz sind für den Überlastschutz von explosionsgeschützten Motoren der Zündschutzart "erhöhte Sicherheit" EEx e geeignet.

Die Leistungsschalter 3RV1 sind klimafest und für den Betrieb in geschlossenen Räumen bestimmt, in denen keine erschwerten Betriebsbedingungen (z. B. Staub, ätzende Dämpfe, schädigende Gase) herrschen. Für die Aufstellung in staubigen und feuchten Räumen sind geeignete Kapselungen vorzusehen. Die Geräte können von oben oder von unten eingespeist werden.

Beachte:

Diese Niederspannungs-Schaltgeräte sind auch für den Einsatz in IT-Systemen (IT-Netze) geeignet. Hierbei ist das unterschiedliche Kurzschlussausschaltvermögen im IT-System zu beachten.

Leistungsschalter 3RV1 können für die unterschiedlichsten Schutzfunktionen verwendet werden.

Da die Betriebsströme, die Anlaufströme und die Stromspitzen durch den Einschaltrush auch bei Motoren gleicher Leistung unterschiedlich hoch sein können, stellen die Motorleistungen in den Auswahltabellen nur Richtwerte dar. Maßgebend für die korrekte Auswahl von Leistungsschaltern sind immer die konkreten Anlauf- und Bemessungsdaten des zu schützenden Motors. Das Gleiche gilt für die Leistungsschalter für Transformatorenschutz.

Leistungsschalter 3RV1 können eingesetzt werden:

- für Kurzschlussschutz
- für Motorschutz (auch mit Überlastrelaisfunktion)
- für Anlagenschutz
- für Kurzschlussschutz von Starterkombinationen
- für Transformatorenschutz
- als Haupt- und Not-Aus-Schalter
- für Sicherungsüberwachung
- für den Einsatz in IT-Systemen (IT-Netze)
- für das Schalten von Gleichstrom
- als Spannungswandler-Schutzschalter
- in explosionsgefährdeten Bereichen (ATEX)

Überlastrelais

Es gibt sowohl thermische Überlastrelais (3RU1, 3UA) als auch elektronische Überlastrelais (3RB2, 3RB1). Dabei sind die Baugrößen bezüglich ihrer Abmessungen, Anschlüssen und sonstiger technischer Eigenschaften auf die übrigen Geräte des Systembaukastens Sirius abgestimmt. Mit ihrer Hilfe lassen sich schmale und kompakte Verbraucherabzweige zusammenstellen, die eine Breite von 45 bis 145 mm je nach Baugröße besitzen.
Die Überlastrelais ermöglichen aufgrund ihres lückenlosen Strombereichs eine einfache und durchgängige Projektierung mit einer einzigen Baureihe - bis zu Strömen von 630 A bzw. 820 A.

Die Überlastrelais gibt es in thermischen und elektronischen Ausführungen in durchgängigen Baugrößen bis zu Stromwerten von 630 A bzw. 820 A.

Die Überlastrelais gewährleisten einen optimalen stromabhängigen Schutz der Verbraucher gegen unzulässig hohe Erwärmung infolge einer Überlast. Außerdem eignen sie sich hervorragend dafür, einen stromabhängigen Schutz der Verbraucher gegen unzulässig hohe Erwärmung infolge einer Phasenunsymmetrie zu erreichen. Die Geräte minimieren die Erwärmung des Drehstrommotors beim Phasenausfall. Überdies ermöglichen Überlastrelais einen temperaturabhängigen Schutz der Verbraucher gegen unzulässig hohe Erwärmung, z. B. bei ständerkritischen Motoren, bei behindertem Kühlmittelfluss, bei Verschmutzungen der Motoroberfläche oder bei langen Anlauf- und Bremsvorgängen.
Durch die integrierte Thermistormotorschutz-Funktion sparen diese Überlastrelais ein weiteres Einzelgerät ein, sie sparen damit Platz im Schaltschrank und reduzieren sowohl Verdrahtungsaufwand als auch -kosten.
Natürlich ermöglichen die Geräte auch den Schutz einphasiger Verbraucher.

Die elektronischen Überlastrelais 3RB20/3RB21 sind für den Überlastschutz von explosionsgeschützten Motoren der Zündschutzart "erhöhte Sicherheit" EEx e geeignet. Die Relais entsprechen den Anforderungen von EN 60079-7.

Sitor Halbleiterschutzsicherungen

Sitor Halbleiterschutzsicherungen schützen seit Jahrzehnten Stromrichtergeräte (Umrichter, Gleichrichter, USV-Anlagen und vieles mehr) zuverlässig gegen Kurzschluss sowie deren Zuleitungen gegen Überlast. Die in diesen Geräten verwendeten Leistungshalbleiter (Dioden, Thyristoren, GTOs und andere) haben nur eine geringe Wärmekapazität und erfordern deshalb sehr schnell schaltende Schutzeinrichtungen. Sitor Sicherungseinsätze haben speziell für den Halbleiterschutz entwickelte superflinke Charakteristiken.

Hierzu musste die Charakteristik des metallischen Schmelzleiters der thermischen Belastbarkeit der Halbleiter angepasst werden. Wegen der geringen Wärmekapazität und der strengen Obergrenze der Sperrschichttemperatur von ca. 125 °C haben Halbleiter kaum thermische Reserven zwischen Betriebstemperatur und Grenztemperatur. Ein wirksamer Schutz muss Überströme folglich sehr schnell abschalten. Dafür wurden superflinke Sitor Sicherungen mit extrem kleinen Engstellenquerschnitten entwickelt. Diese Engstellen haben bereits bei Betriebsstrom sehr hohe Temperaturen, damit bei Überströmen die Schmelztemperatur möglichst schnell erreicht wird.

Als Schmelzleitermaterial eignet sich für die hohen Betriebstemperaturen der Engstellen nur oxidationsbeständiges Feinsilber mit einer Schmelztemperatur von 960 °C. Entsprechend ist auch der Sicherungskörper überwiegend aus temperaturwechselbeständiger Aluminiumoxidkeramik hergestellt. Zum Ausgleich von Längenänderungen bei stark zyklischer Strombelastung (Wechsellast) haben die Schmelzleiter Sicken zwischen den Engstellenreihen oder einen generell wellenförmigen Verlauf zwischen den Kontakten. Sitor Sicherungen haben einen hohen Wechsellastfaktor, d. h., dass auch bei ständig wechselnder Last die Betriebssicherheit und Anlagenverfügbarkeit nicht durch vorzeitige Ermüdung der Schmelzleiter unzulässig vermindert wird.

Hinweis:

Sitor Sicherungen bilden kein Sicherungssystem im Sinne der Norm, d. h. sie haben hinsichtlich der Form der Sicherungseinsätze und der Kontakte keine einheitlichen Konstruktionsprinzipien. Ihr gemeinsames Merkmal ist das superflinke Abschaltverhalten für den Schutz von Leistungshalbleitern. Sitor Sicherungseinsätze gibt es praktisch in vielen Bauformen.

Sitor Halbleiterschutzsicherungen gibt es in den unterschiedlichsten Bauformen.

Beachte:

Im Vergleich zu anderen Sicherungssystemen haben Halbleiterschutzsicherungen eine wesentlich höhere Leistungsabgabe, die bei der Zuordnung zu genormten Sicherungsunterteilen und Sicherungshaltern berücksichtigt werden muss. Neben größeren Leiteranschlüssen müssen in der Regel auch Obergrenzen für den maximalen Betriebsstrom (Reduktionsfaktoren) beachtet werden.

Sitor Sicherungen entsprechen IEC 60269-4. Die passenden Unterteile und Lasttrennschalter entsprechen IEC 60269-2 und IEC 60947-3. Die Bemessungswerte von Sitor Sicherungen überschreiten zum Teil deutlich die Maximalwerte für welche die Unterteile und Lasttrennschalter bemessen sind. Überschreitungen der Bemessungswerte gibt es bei

- Bemessungsstrom,
- Bemessungsspannung und
- Bemessungsleistungsabgabe

Beachte:

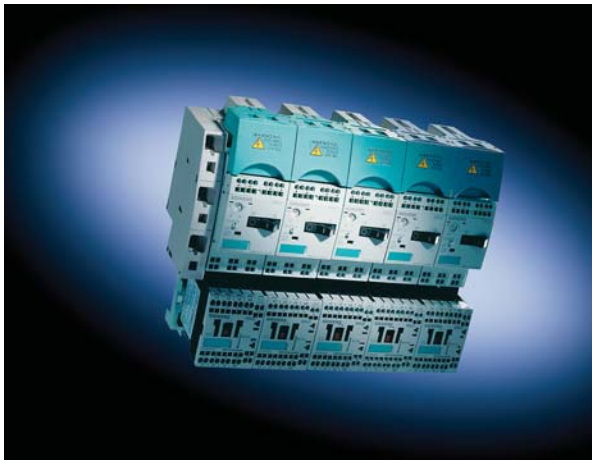
Bei der Zuordnung von Sitor Sicherungseinsätzen zu Sicherungsunterteilen, Sicherungssockeln, Sicherungshaltern oder Sicherungslasttrennschaltern sind unbedingt die SITOR Projektierungsunterlagen zu beachten.

Motor-, Sanftstarter und Verbraucherabzweige

Komplette Verbraucherabzweige

Einspeisesystem Sirius 3RV19

Das Einspeisesystem Sirius 3RV19 ergmöglicht die komfortable Energieeinspeisung und -verteilung für eine Gruppe von mehreren Leistungsschaltern oder kompletten Verbraucherabzweigen mit Cage Clamp-Anschlusstechnik. Diese Geräte gibt es im Sirius-Systembaukasten bis 5,5 kW bei AC 400 V. Für größere Leistungen können optional auch Leistungsschalter und Verbraucherabzweige der Baugröße S0 mit Schraubanschluss in das System eingebunden werden. Durch diese Option ist das System auch für Verbraucher bis 11 kW erweiterbar.
Die Basis des Systems besteht aus einem Grundmodul inklusive seitlicher Einspeisung als 3-Phasen-Sammelschiene. Dieses kann modular erweitert werden.



Das Einspeisesystem Sirius 3RV19 Cage Clamp schafft Platz und Übersicht im Schaltschrank.

Die Einspeisung kann je nach Ausführung links oder rechts angebaut sein und mit einem maximalen Leiterquerschnitt von 25 mm^2 (mit Aderendhülsen) eingespeist werden. Das spart erheblich Platz im Schaltschrank. Neben einer Ringeinspeisung gibt es auch die Möglichkeit, auf einer Seite einzuspeisen und auf der anderen Seite eine Ausspeisung zu machen, um damit weitere Verbraucher zu versorgen. Das gesamte System kann auf eine 35-mm-Hutschiene nach DIN EN 50022 aufgebaut und beliebig bis zur maximalen Stromtragfähigkeit von 63 A erweitert werden.

Kompaktabzweig Sirius 3RA6

Der neue Sirius Kompaktabzweig 3RA6 reiht sich funktionell zwischen den Einzelgeräten der Sirius Schalttechnik zum Aufbau von Verbraucherabzweigen und den kommunikationsfähigen Simatic ET 200S Motorstartern ein. In einer besonders kompakten Bauform vereint der universelle Motorabzweig nach IEC/EN 60947-6-2 die Funktionen eines Leistungsschalters, eines elektronischen Überlastrelais und eines Schützes. Der Sirius Kompaktabzweig kann in Anwendungen eingesetzt werden, in denen Drehstrom-Normmotoren bis 32 A (ca. 15 kW/400 V) direkt gestartet werden. Die kompakte Baugröße und die reduzierte Varianz vereinfachen die Planung ebenso wie die Verdrahtung und Montage. Das bringt Ordnung in die Lagerhaltung und schafft Platz im Schaltschrank.

Der Kompaktabzweig Sirius 3RA6 vereint Leistungsschalter, elektronisches Überlastrelais und Schütz in einem Gehäuse und spart damit erheblich Platz, Planungs- sowie Installationsaufwand.

Bis zu 32 A gilt ein und dieselbe Baugröße: 45 mm Breite bei den Direktstartern, 90 mm bei den Wendestartern - inklusive mechanischer Verriegelung für die elektrische Sicherheit. So kann das modulare System bis zu einer Gesamtbreite von 1,20 m erweitert werden. Die einheitliche Bauhöhe des Direkt- bzw. Wendestarters ermöglicht dabei einen durchgängigen Zeilenabstand beim Einbau in den Schaltschrank. Auch die Steuerstromkreisklemmen sind in nur eine Richtung ausgerichtet, was den Aufbau besonders erleichtert. Dank der abnehmbaren Klemmen in Schraub- oder Federzugtechnik lässt sich der Kompaktabzweig 3RA6 bequem montieren und bei stehender Verdrahtung mühelos austauschen.
Mit nur fünf Weiteinstellbereichen bis 32 A Bemessungsstrom und nur drei Weitspannungsbereichen für AC/DC 24 V, 42–70 V und 110–240 V ist der Kompaktabzweig besonders flexibel. Auch die Überlastauslöseklassen CLASS 10 und CLASS 20 lassen sich je nach Bedarf direkt am Gerät einstellen. Bereits vor der Inbetriebnahme können mittels des sogenannten optionalen Control Kits die Verdrahtung und die Drehrichtung des angeschlossenen Motors überprüft und mögliche Fehler erkannt werden. Ergänzend lassen sich mittels der am Kompaktabzweig 3RA6 integrierten Testtasten bereits vor Anlauf der Anlage die Abschaltfunktionen bei Kurzschluss und Überlast prüfen.

Darüber hinaus überzeugt der SIRIUS Kompaktabzweig 3RA6 besonders während des Anlagenbetriebs – auch bei starker Belastung oder häufigem Schalten der Hauptkontakte. Die Kontaktwerkstoffe herkömmlicher Geräte verschleißen früher oder später und die Hauptkontakte verschweißen – angeschlossene Motoren können nicht mehr gestoppt werden. Nicht so beim Kompaktabzweig 3RA6: Dieser erkennt unter allen Betriebszuständen – also auch nach Ende der Lebensdauer – jegliche Störung und schaltet den Verbraucherabzweig sicher ab.

TIPP:

Mittels integrierter PE-Schiene kann die Motoranschlussleitung direkt an das Sirius Einspeisesystem 3RA6 angeschlossen werden – endlose Reihen an Anschlussklemmen können damit entfallen.

Flexiblität pur: Das Einspeisesystem 3RA6 lässt sich über einen entsprechenden Erweiterungsstecker komfortabel mit dem Einspeisesystem 3RV19 verbinden.

Der Sirius Kompaktabzweig 3RA6 lässt sich über ein entsprechendes Anbaumodul direkt an das AS-Interface (in A/B-Technik) anschließen. In einer zweiten Ausführung steht das AS-i Anbaumodul auch mit zwei lokalen Eingängen zur sicheren Abschaltung zur Verfügung. Damit können Sicherheitsschaltgeräte direkt am Kompaktabzweig angeschlossen werden.

TIPP:

Ein entsprechend verdrahteter Endlagenschalter kann dann z. B. den Kompaktabzweig direkt und ohne Umweg über die Steuerung normkonform nach IEC/EN 954-1 abschalten (nach Kategorie 2).

Kommunikationsfähige Motorstarter Sirius Net

Mit "Sirius Net" wird die Familie der kommunikationsfähigen Motorstarter von Siemens bezeichnet. Sirius Net Motorstarter sind verfügbar mit AS-Interface und Profibus-Schnittstelle, in Schutzart IP 20 zum Einsatz im Schaltschrank oder in dezentralen Schaltkästen und in Schutzart IP 65 zum schaltschranklosen Aufbau direkt an der Maschine. Sirius Net Motorstarter bestehen aus komplett vorverdrahteten Verbraucherabzweigen. Dadurch reduziert sich der Montage- und Verdrahtungsaufwand auf ein Minimum. Alle notwendigen Ein- und Ausgänge sind bereits vorhanden. Je nach Ausführung unterstützen umfangreiche Diagnosefunktionen den Anwender und Betreiber. Stillstandszeiten werden somit reduziert, die Verfügbarkeit der Anlage steigt.

Für jeden Anwendungsfall der passenden Verbraucherabzweig: von AS-i zu Profibus, vom Schaltschrank zur Vor-Ort-Montage.

ET200X - Motorstarter

Das dezentrale Peripheriesystem ET 200X bietet mit einer Vielzahl von Erweiterungsmodulen die Möglichkeit, komplette Maschinenfunktionen direkt an der Maschine - in Schutzart IP 65 bzw. IP 67 - abzubilden. Ob Motorstarter, Frequenzumrichter, Pneumatik- oder Ein-/Ausgabemodul, ob harte

Umgebungsbedingungen, extrem zeitkritische Applikationen oder eine Vielzahl von Signalgebern und Verbrauchern an einem Ort - das modulare Peripheriesystem Simatic ET 200X bietet die passende dezentrale Lösung für jede Aufgabe im Feld. Via Profibus-DP sorgt es durchgängig für die optimale Kommunikation mit der übergeordneten Steuerung. Ein einziges Basismodul erlaubt den Anbau von bis zu 6 bzw. 7 Erweiterungsmodulen.

Die dezentrale Peripherie ET200X lässt sich individuell konfigurieren.

Mit dem AS-Interface-Mastermodul in der ET 200X können sehr einfach gemischte Bus-Architekturen preiswert aufgebaut werden. Mit der intelligenten Basisstation für Datenvorverarbeitung und Steuerung können unabhängig von der übergeordneten SPS autarke und zeitkritische Funktionen dezentral realisiert werden. Über den Profibus werden dann nur noch die wichtigsten Steuerungssignale und Diagnosedaten gesandt. Dies entlastet sowohl den Bus als auch die übergeordnete Steuerung. Die Programmierung und Projektierung derartiger Stationen erfolgt über das Simatic Standardtool STEP7. Die Motorstarter der ET200X gibt es in elektromechanischer Ausführung bis bis 5,5 kW und in elektronischer bis 2,2 kW.

Dezentrale Peripherie ET200S - Motorstarter

Das dezentrale Peripheriesystem ET 200S bietet am Profibus-DP eine Vielzahl von 2- und 4-kanaligen Ein-/Ausgabemodulen, Technologiemodule, sowie Motorstarter Standard, Motorstarter High Feature und Sicherheitstechnik, die nahezu beliebig gemischt aufgebaut werden können. Eingesetzt werden die Module in IP 20 sowohl in zentralen Schaltschränken als auch in dezentralen Schaltkästen. Alle Spannungspotentiale müssen nur einmalig eingespeist werden. Durch einfaches Aneinanderreihen der Terminalmodule werden sowohl die Hilfs- als auch die Hauptstromkreisspannungen automatisch weitergereicht. Die rein passiven Terminalmodule sind die Basis für die daraufzusteckenden Elektronikmodule. Diese können auch im laufenden Betrieb gezogen und gesteckt werden.
Die Motorstarter der ET 200S sind komplett vorverdrahtete Verbraucherabzweige mit Kurzschluss- und Überlastschutz. Die zur Ansteuerung und Überwachung notwendigen Ein- und Ausgänge sind bereits im Motorstarter integriert. Auch wird die richtige Funktion des Motorstarters ohne zusätzlichen Programmieraufwand überwacht und bei Bedarf eine eindeutige Fehlermeldung via Profibus-DP ausgelöst.

Die einzelnen Module der dezentralen Peripherie ET 200S lassen sich nahezu beliebig miteinander kombinieren.

Die Motorstarter können bei sicherheitstechnischen Anwendungen mit Powermodulen Siguard ergänzt werden. An diesen Modulen werden Not-Aus-Taster, Sicherheitsendschalter oder sonstige potentialfreie Kontakte von Sicherheitseinrichtungen zweikanalig angeschlossen. Die Funktion auf der Sensorseite wird normgerecht unter anderem auf Quer- oder Kurzschluss überwacht. Die integrierten Sicherheitsrelais kontrollieren auch die korrekte Abschaltung der nachfolgenden Motorstarter.
ET 200S Motorstarter Standard bestehen aus einer Leistungsschalter-Schützkombination aus der Sirius S00-Baureihe. Bei einer Leistung von maximal 5,5 kW greifen die Motorstarter über die Terminalmodule auf den selbstaufbauenden Energiebus zu (40 A). Pro Motorstarter verbleiben somit lediglich die drei Adern der Motorabgangsleitung und optional der PE-Anschluss.

TIPP:

Rangierverdrahtung auf vorgelagerte Klemmenreihen werden überflüssig, da die Terminalmodule der ET 200S diese Funktion bereits wahrnehmen.

ET200S - High Feature

Mit ET 200S Motorstarter High Feature wurde eine neue Klasse von Verbraucherabzweigen bis 7,5 kW eingeführt. Starterschutzschalter für den Kurzschlussschutz, elektronisches Überlastrelais für den Überlastschutz und Schütz oder Sanftstarter zum Schalten des Abzweigs bieten eine Reihe neuer Features:

- Mit den Schaltgeräten der Baugröße S0 wird über den gesamten Leistungsbereich bis 16 Ampere (7,5 kW) die Zuordnungsart 2 erreicht. Das heißt, dass selbst nach einem Kurzschluss in Höhe von 50 kA der Motorstarter nicht zerstört werden darf und wieder in Betrieb genommen werden kann. Lediglich leichte Verschweißungen der Kontakte, die ohne nennenswerte Verformung durch den Anwender wieder gelöst werden können, sind zulässig.
- Die Strommessung in allen drei Phasen dient sowohl der Überlastauswertung als auch der Weiterverarbeitung in der übergeordneten Steuerung. Alternativ zur zyklischen Stromwertübertragung ist auch die Parametrierung je eines oberen und eines unteren Grenzwertes möglich. Diese können zum Beispiel zur lastabhängigen, autarken Abschaltung des Starters verwendet werden.

- Alle Parameter, so auch der Motornennstrom werden im Falle eines Austausches automatisch von der übergeordneten Steuerung an den neuen Starter übertragen.
- Im Austauschfall muss nur zwischen zwei Startertypen gewählt werden. Das elektronische Überlastrelais bietet einen außergewöhnlich weiten Stellbereich (0,3 bis 3,0 A und 2,4 bis 16 A).
- Bei kritischen Anwendungen kann der Prozess wichtiger als der Schutz des Motors sein. Deswegen besteht beim Motorstarter High Feature die Möglichkeit, im Ermessen und unter Aufsicht des Anwenders die Überlastabschaltung zu unterdrücken und mit der Notstartfunktion den Motorstarter weiter zu betreiben. Schnellster Aufbau durch komplette Vorverdrahtung und einfache Stecktechnik werden somit ergänzt um eine Reihe von Funktionen zu Steigerung der Verfügbarkeit. Dies prädestiniert die Starter besonders für Anwendungen mit zeitkritischen und wertvollen Prozessen.

ET200S Motorstarter Failsafe

Mit dem ET 200S Motorstarter Failsafe werden die Vorteile des Motorstarter High Feature um Anforderungen aus der Sicherheitstechnik ergänzt. Eine integrierte Überwachungsfunktion kontrolliert bei der Abschaltung des Motorstarters, ob das Schütz ordnungsgemäß abgeschaltet hat. Sollte dieses z. B. verschweißt sein und daher nicht abschalten können, wird automatisch mit Hilfe des Starterschutzschalters sicher getrennt. Damit ist die in EN 954-1 für Kategorie 4 geforderte Redundanz ohne zusätzlichen Montage und Verdrahtungsaufwand gegeben. Mit jedem vorgeschalteten Powermodul können so bis zu sechs getrennte Sicherheitskreise unterschiedlichen Motorstartern innerhalb einer Station zugeordnet werden.

Die Ansteuerung erfolgt entweder über eine Sicherheitssteuerung, z. B. Simatic S7-300F und Profibus-DP (PROFIsafe) oder über externe Sicherheitsschaltelemente, z. B. den Sicherheitsmonitor von ASIsafe. Der Vorteil dieser Lösung mit Motorstarter Failsafe liegt in der flexiblen Zuordnung unterschiedlicher Sicherheitskreise und der in jedem Starter integrierten Schaltredundanz. Der Aufwand zur Realisierung derartiger Anlagen mit konventioneller Technik ist ungleich höher. Werden dagegen größere Gruppen von Motorstartern in einem Sicherheitssegment benötigt, kann eine Lösung mit ET 200S Siguard die günstigere sein. Der Motorstarter Failsafe benötigt für seine Sicherheitsfunktion die galvanische Trennung der Schützkontakte. Daher ist eine Variante mit Sanftstarterfunktionalität nicht verfügbar.

Software Switch ES Motorstarter

Mit Switch ES Motorstarter, dem komfortablen Parametrier- und Diagnosetool lassen sich die Motorstarter High Feature vor Ort mit einer Punkt zu Punkt-Verbindung nicht nur bequem im laufenden Betrieb parametrieren und diagnostizieren, sondern auch eine Reihe von Zusatzinformationen, wie zum Beispiel Statistikdaten auslesen.

So können Betriebsstunden oder der Motorstrom der letzten Überlastauslösung herangezogen werden, um wichtige Informationen zum Zustand der Anlage abzuleiten. Mit der Steuerfunktion lässt sich der Motorstarter auch bequem ohne übergeordnete Steuerung testen bzw. vorinbetriebnehmen.

Dezentrale Peripherie ET200pro

Simatic ET 200pro ist das dezentrale Peripheriesystem mit modularem Aufbau für Komplettlösungen in hoher Schutzart. Über die intelligente Motorstarter-Generation ET 200pro Motorstarter Standard und High Feature werden Motoren und Verbraucher bis 5,5 kW direkt an Profibus DP/Profinet angebunden. Parametriert werden die Motorstarter in einfacher Weise mit dem Simatic Manager.
Mit den Motorstartern lässt sich die konventionelle Schaltgerätetechnik in die durchgängige Automatisierungsebene einbauen und damit einfach mit dem übergeordneten Leitsystem verbinden.
Elektromechanische Motorstarter schalten mit konventionellen Schützen und stehen in den Varianten als Direkt- bzw. Wendestarter mit optionaler 400V Bremsansteuerung zur Verfügung. Der Motorstarter High Feature hebt sich durch mehr Parameter und durch vier integrierte frei parametrierbare digitale Eingänge vom Motorstarter Standard ab.

Die dezentrale Peripherie ET200pro ist modular aufgebaut und kann durch die hohe Schutzart IP65/IP67 ohne Schaltkasten direkt vor Ort verwendet werden.

Elektronische Motorstarter mit integrierter Sanftstarter Funktionalität
Neben den elektromechanischen Motorstartern gibt es auch elektronische Motorstarter. Die elektronischen Motorstarter sind mit Halbleiterschaltelementen ausgestattet und eignen sich daher besonders für Anwendungen mit hohen Schaltfrequenzen. Diese High-Feature-Geräte beherrschen nicht nur das direkte Ein- und Ausschalten von Motoren mit hoher Schalthäufigkeit, sondern erfüllen zusätzlich die Funktion eines vollwertigen Sanftstarters für einen sanften An- und Auslauf. Die Umstellung von Motor- zu Sanftstarter erfolgt durch einfache Umparametrierung im Simatic Manager.
Alle ET 200pro Motorstarter verfügen über ein elektronisches Überlastrelais zum Schutz des Motors. Darüber hinaus sind die elektronischen Motorstarter mit einem zusätzlich eingebauten Thermistor-Motorschutzrelais ausgestattet und bieten somit

Motorvollschutz. Die beiden Schutzfunktionen können unabhängig voneinander parametriert werden. Die elektronischen Motorstarter sind geeignet zum Schalten und Schützen von Drehstromverbrauchern bis zu 4 kW / 5,5 kW bei AC 400 V.

Durch den integrierten elektronischen Überlastschutz ist bei den Motorstartern eine Abdeckung des Strombereichs bis 12 A mit nur zwei Geräteausführungen möglich. Die ET 200pro-Motorstarter können parametriert werden und erlauben den Zugriff auf umfangreiche Diagnose- und Statistik-Daten. Hierzu steht das PC-Projektierungstool "Motor Starter ES" ab Version 2006 zur Verfügung. Eine Verbindung mit dem Motorstarter kann auf zwei Arten aufgenommen werden:
1. Lokal vor Ort über die optische Geräteschnittstelle des Motorstarters
2. Remote am Profibus DP über DPV1

TIPP:

Durch den Betrieb von in Stern geschalteten Drehstrommotoren (speziell wenn <1 kW) können hohe EMV-Störungen auftreten. Störungen oberhalb der IEC-Grenzwerte können zu Funktionsbeeinträchtigungen oder zum Ausfall der Elektronik führen. Bei hohen EMV-Störungen empfehlen wir Motoren mit EMV-Schutzbeschaltungen zu verwenden.
Ausnahme: Elektronische Starter dürfen nicht mit einer EMV-Schutzbeschaltung betrieben werden. Die beste Filterwirkung wird mit 3-phasen-RC-Entstörmodulen erreicht. Varistor-Entstörmodule sollten nicht verwendet werden, da diese schnelle Transienten nur ungenügend ausfiltern.

Die ET 200pro Motorstarter werden als Direkt- (DSe) und Reversierstarter (RSe) jeweils in zwei Ausführungen angeboten:

- Standard-Reihe (Kurzbezeichnung: DSe ST, RSe ST)
  - wahlweise mit Ansteuerung für fremdgespeiste Bremse mit 400 V
  - ohne digitale Eingänge
- High Feature Reihe (Kurzbezeichnung für Direktstarter: DSe HF, RSe HF)
  - wahlweise mit Ansteuerung für fremdgespeiste Bremse mit 400 V
  - mit vier digitalen Eingängen
  - mit erweiterten Parametriermöglichkeiten

Die elektronischen Starter ET 200pro werden als Direkt- (sDSSte / sDSte) und Reversierstarter (sRSSte / sRSte) in der Ausführung High Feature mit folgender Ausstattung angeboten.

- Vier digitale Eingänge
- mit Sanftstart- und Sanftauslauffunktion
- mit deaktivierter Sanftstartfunktion als elektronische Starter für Applikationen mit hoher Schalthäufigkeit
- wahlweise mit Ansteuerung für fremdgespeiste Bremse mit 400 V
- mit erweiterten Parametriermöglichkeiten

DSe ST sind Motorstarter für eine Drehrichtung, die im Dezentralen Peripheriegerät ET 200pro eingesetzt werden können.
RSe ST sind Motorstarter für zwei Drehrichtungen mit mechanischer Verriegelung von Links- und Rechtslauf, die im Dezentralen Peripheriegerät ET 200pro eingesetzt werden können.
Sie besitzen einen parametrierbaren elektronischen Überlastschutz und haben eine integrierte Nullstromerkennung. Außerdem ist eine Unsymmetrieerkennung integriert (fester Grenzwert 30 % I_e) und der Ist-Strom wird gemessen und für Auswertungen übertragen. Außerdem wird der Schaltzustand vom Schütz erfasst und auch sonst besitzen diese Geräte eine Reihe weiterer Diagnose- und Logbuchfunktionen.

ET 200pro Motorstarter DSe HF, RSe HFbesitzen die selben Grundeigenschaften wie Motorstarter DSe ST und RSe ST, haben aber zusätzlich vier digitale Eingänge für 2-Draht- und 3-Draht-Sensoren mit LED-Anzeige. Die Eingänge können zusätzlich für parametrierbare Vor-Ort-Steuerfunktionen genutzt werden. Die Geräte besitzen erweiterte Parametriermöglichkeiten und es können obere- sowie untere Stromgrenzwerte zur Anlagen- und Prozessüberwachung festgelegt und überwacht werden.

Elektronische Starter ET 200pro sDSSte / sDSte, sRSSte / sRSte besitzen die selben Grundeigenschaften wie Motorstarter DSe HF und RSe HF besitzen zusätzlich jedoch eine Sanftstart- und Sanftauslauffunktion. Bei deaktivierter Sanftstartfunktion kann der Motorstarter als elektronischer Direkt- und Wendestarter eingesetzt werden - mit Strombegrenzungsfunktion und Thermistormotorschutz.

Hinweis:

Für elektronische Starter sDSSte / sDSte, sRSSte / sRSte gilt: Bei aktivierter Bremsverzögerung muss bei eingestellter Auslaufzeit die Bremsverzögerung größer sein als die Auslaufzeit.

ET 200pro für sicherheitsgerichtete Anwendungen

Für sicherheitsgerichtete Anwendungen kann die dezentrale Peripherie ET 200pro in der Ausführung Solution local oder Solution PROFIsafe genutzt werden.

Für sicherheitsgerichtete Anwendungen stehen das Safety Local Reparaturschaltermodul mit sicherem Eingang und einfachem Einstellen von Grundfunktionen sowie das 400 V Abschaltmodul zur Verfügung. Beide Geräte sind nur zusammen wirksam, da das 400 V Abschaltmodul die zweifache Abschaltung der Hauptstromkreisversorgung und die Rückmeldung des Modul-Funktionszustands über Bus ermöglicht. Diese beiden Komponenten ermöglichen ein sicheres Abschalten der 400 V Versorgung der Motorstarter bis zur Kategorie 4 / SIL 3.

Safety Motorstarter Solution local:
Das Safety Local Reparaturschaltermodul besitzt die selben Funktionen wie ein Reparaturschaltermodul und ist mit lokaler Safety-Funktion ausgelegt. Das Safety Local Reparaturschaltermodul schaltet im Not-Aus/Not-Halt-Fall das nachgeschaltete 400 V Abschaltmodul. Dieses trennt den 400 V Stromkreis sicher bis Kat 4.
Das 400 V Abschaltmodul kann in Verbindung mit dem Safety Local Reparaturschaltermodul für lokale Sicherheitsanwendungen eingesetzt werden. Es enthält zwei in Reihe geschaltete Schütze zur sicherheitsgerichteten Abschaltung des Hauptstromkreises. Die Hilfsstromkreisversorgung des Geräts erfolgt über eine Safety-Schiene im Rückwandbusmodul.

Safety Motorstarter Solution PROFIsafe:
Die Safety Motorstarter ET 200pro Solution PROFIsafe ist bestens geeignet, wenn Sicherheitstechnik auf der Steuerungsebene gefragt ist. Standard- und sichere Kommunikation erfolgen über ein einziges Bussystem – Profibus oder Profinet mit PROFIsafe-Profil.
Die Modularität der ET 200pro bietet die Möglichkeit, durch Einsatz des F-Switch Moduls einen einfachen Umstieg auf PROFIsafe Lösungen zu realisieren. In Verbindung mit dem 400 V-Abschaltmodul ist bei PROFIsafe-Applikationen eine fehlersichere Abschaltung der ET 200pro Motorstarter bis Kat. 4/SIL 3 möglich. Die hohe Schutzart IP65/67 spart außerdem den Schaltschrank vor Ort.

Der F-Switch ist ein fehlersicheres Elektronikmodul für PROFIsafe Sicherheitsanwendungen. Er besitzt zwei fehlersichere Ein- und Ausgänge zum sicheren Schalten der 24 V-Versorgung über Rückwandbusschienen.

F-Switch für fehlersichere Anwendungen.

Das 400 V-Abschaltmodul kann in Verbindung mit dem F-Switch für PROFIsafe Sicherheitsanwendungen eingesetzt werden. Es enthält zwei in Reihe geschaltete Schütze zur sicherheitsgerichteten Abschaltung des Hauptstromkreises. Die Hilfsstromkreisversorgung des Gerätes erfolgt über eine Safety-Schiene im Rückwandbusmodul.

Motorstarter MCU

Siemens bietet so genannte MCU Motorstarter (Motor Control Unit) an, die nach individuellen Kundenvorgaben in einem speziellen Gehäuse bereits fertig konfektioniert, verdrahtet und geprüft sind. Solche einbaufertigen, speziell an den Bedarf angepassten Lösungen unterstützen den Trend zur Vereinheitlichung.
Der Vorteil dieser fertig gelieferten Motorabzweige liegt im einheitlichen Aufbau und der einfachen Handhabung im gesamten Bestell-, Liefer- und Ersatzteilszenarios.

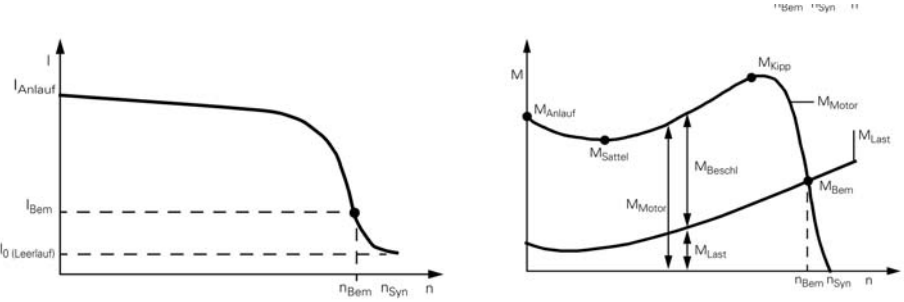
Die individuellen Motorstarter MCU werden im Siemens-Werk genau nach Kundenwunsch konfektioniert, geprüft und von dort einbaufertig ausgeliefert.

Sanftstarter

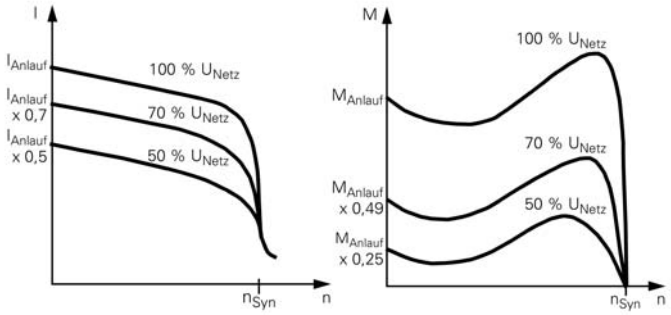
Die Sanftstarter SIRIUS 3RW3 bzw. 3RW4 sind ein Bestandteil des SIRIUS Systembaukastens. Sie sind zu den übrigen Sirius-Schaltgeräten kompatibel. Während sich der zweiphasig gesteuerte Sirius 3RW30 zum Beispiel für Standardanwendungen bis 55 kW eignet, bietet der 3RW40 zusätzlich Motorüberlast-, Geräteeigen- sowie Termistormotorschutz in einem Anwendungsbereich von 5,5 kW bis 250 kW.

Hinweis:

Drehstrom - Asynchronmotoren haben einen hohen Einschaltstrom $I_{(Anlauf)}$. Dieser kann je nach Motorausführung zwischen dem 3- bis 15-fachen des Bemessungsbetriebsstroms liegen. Als typischer Wert kann der 7- bis 8-fache Motorbemessungsstrom angenommen werden.



Typischer Strom- und Momentenverlauf eines 3-Phasen-Asynchronmotors.



Strom- und Momentenverlauf bei Einsatz eines Sanftstarters

Dank konsequenter Optimierung seiner Leistungsteile in Hybridtechnik ist der Sirius 3RW30 besonders kompakt. Damit erlaubt er auch eine Dicht-an-dicht-Anordnung bis 60°C. Mögliche Kombinationen bestehen aus:

- Sanftstarter 3RW3 + Leistungsschalter 3RV
- Sanftstarter 3RW3 + Überlastrelais 3RU/3RB + Schütz 3RT

Der Sirius 3RW30 sorgt dank der zweiphasigen Ansteuerung und des patentierten "Polarity Balancing" - ein Verfahren zur Vermeidung von Gleichstromkomponenten in zweiphasig gesteuerten Sanftstartern - für einen sicheren Betrieb. Der Sanftstarter lässt sich direkt von der SPS ohne Zuhilfenahme von Koppelgliedern ansteuern; oder direkt über den Steuereingang. Der jeweilige Betriebszustand wird über einen Relaisausgang gemeldet.

Hinweis:

Das integrierte Überbrückungskontaktsystem reduziert die Wärmeverlustleistung des Sanftstarters im Betrieb.

Durch den Einsatz von Sanftstartern lässt sich im Schaltschrank bis zu 70 Prozent Platz sparen im Vergleich zu konventionellen Stern-Dreieck-Startern. Auch benötigen die Geräte nur drei Motorzuleitungen statt sechs.

TIPP:

Durch die optional abnehmbaren Klemmen reduziert sich die Servicezeit bei Austausch eines Geräts erheblich.

Bei den Standard-Sanftstartern lassen sich Anlaufzeit, Startspannung und Auslaufzeit bequem über Potentiometer einstellen. Innerhalb der üblichen Einstellbereiche lassen sich die Werte besonders fein justieren. Bei den Sanftstartern mit Motorüberlastschutz gilt dies auch für den Motornennstrom, die Auswahl der Auslöseklasse und die einstellbare Strombegrenzung.
Die vielfältigen Funktionen der High-Feature-Sanftstarter werden schnell und komfortabel über das integrierte Keypad mit menügeführtem grafischen Display eingestellt; damit sind auch Inbetriebnahme und Diagnose einfach durchführbar.

Bei zweiphasig gesteuerten Sanftstartern fließt in der ungesteuerten Phase der aus der Überlagerung der zwei gesteuerten Phasen resultierende Strom. Dadurch kommt es physikalisch bedingt zu einer asymmetrischen Verteilung der drei Phasenströme während des Anlaufvorgangs des Motors. Diese kann zwar nicht beeinflusst werden, ist in den meisten Anwendungen aber unkritisch.
Neben dieser Asymmetrie verursacht das Steuern der Leistungshalbleiter in den beiden gesteuerten Phasen aber auch Gleichstromkomponenten, die bei Startspannungen von weniger als 50 Prozent zu starker Geräuschentwicklung am Motor führen können. Das von Siemens patentierte "Polarity Balanching" eliminiert diese Gleichstromkomponenten während der Hochlaufphase.
Es erzeugt einen in Drehzahl, Drehmoment und Stromanstieg gleichmäßigen Motorhochlauf. Dabei erreicht die akustische Qualität des Anlaufvorgangs nahezu die Qualität eines dreiphasig gesteuerten Anlaufvorgangs. Möglich wird dies durch die fortlaufende dynamische Angleichung bzw. Ausbalancierung von Stromhalbwellen unterschiedlicher Polarität während des Motorhochlaufs

Für die Geräte bis 55 kW gibt es zusätzliche Lüfter, die sich einfach auf die Geräte aufschnappen lassen. Deshalb lassen sie sich in nahezu jeder Einbaulage montieren oder damit können höhere Schalthäufigkeiten genutzt werden. Darüber hinaus sind Verbindungsbausteine zur elektrischen und mechanischen Verbindung zwischen Leistungsschalter und Sanftstarter sowie Bezeichnungsschilder aus der Sirius-Familie erhältlich.

Die Sanftstarter 3RW40 sind äußerst kompakt und sparen durch die Dicht-an-dicht-Anreihung viel Platz im Schaltschrank. Außerdem besitzen sie eine Reihe von wichtiger Diagnosefunktionen.

Als High-End-Gerät kann der Sanftstarter-Typ 3RW44 mit einem Kommunikationsmodul ausgerüstet werden. Damit lässt sich das Gerät über Profibus DP einfach in das Automatisierungssystem mit einbinden. Hierzu gibt es ein eigenes Modul, das einfach eingesteckt wird - oder aber ein in die Schaltschranktür einbaubares Anzeige- und Bedienmodul.
Bei diesem Sanftstarter gibt es auch die Möglichkeit der Wurzel-3-Schaltung. Dadurch, dass die Phasen des Sanftstarters dann in Reihe mit den einzelnen Motorwicklungen geschaltet werden, muss der Sanftstarter nur noch den Strangstrom, d. h. ca. 58 Prozent des Motornennstroms (Leiterstrom) führen.

TIPP:

Die Wurzel-3-Schaltung wird bei den Geräten selbständig erkannt und erlaubt den Einsatz von zum Teil wesentlich kleineren Geräten.

Pro Ampere, das über einen angesteuerten Thyristor fließt, werden üblicherweise etwa 3 W Wärmebelastung erzeugt. Bei einem Motor mit 250 kW (bei 400 V) ergibt sich daraus eine Heizleistung von rund 1.500 W in der Schaltgeräteumgebung. Aus diesem Grund sind alle Leistungsgrößen standardmäßig mit mechanischen Bypasskontakten ausgestattet, die die Thyristoren nach erkanntem Motorhochlauf überbrücken. Das reduziert die Wärmebelastung erheblich.
Für Positionier- und Einrichtaufgaben steht eine Schleichgangfunktion zur Verfügung, mit der sich - bei reduziertem Moment und einstellbarer kleiner Drehzahl - der Motor in beiden Drehrichtungen steuern lässt.

Für eine schnelle Stillsetzung von treibenden Lasten gibt es für den 3RW44 eine kombinierte DC-Bremsfunktion.

Der Sanftstarter 3RW44 ist kommunikationsfähig und kann in Wurzel-3-Schaltung betrieben werden.

Überwachungs- und Steuergeräte

Sirius Motormanagement Simocode pro

Simocode pro (**Si**rius **Mo**tor Management and **Co**ntrol **De**vices) sind Motormanagement- und Steuergeräte mit Profibus DP-Schnittstelle. Simocode pro ist die Weiterentwicklung des Systems Simocode DP. Simocode pro ist ein flexibles, modulares Motormanagementsystem, das in sich alle für einen Motorabzweig notwendigen Funktionen vereint. Zusätzlich werden nur noch die Schalt- und Kurzschlussschutzeinrichtungen des Hauptstromkreises (Schütze, Leistungsschalter, Sicherungen) benötigt. Simocode pro ersetzt große Teile des Steuerstromkreises und realisiert dabei automatisch alle notwendigen Verriegelungen. Es stellt viele Betriebs-, Service- und Diagnosedaten zur Verfügung und macht den Motorabzweig damit nach außen transparenter. Es integriert den Motorabzweig über Profibus DP vollständig in ein übergeordnetes Automatisierungssystem.

Das Motormanagementsystem Simocode pro gibt es in den beiden Varianten "pro C" und "pro V".

Simocode pro lässt sich in zwei funktionell abgestufte Gerätereihen untergliedern:

- Simocode pro C - Das kompakte System für Direkt- und Wendestarter und
- Simocode pro V - Das variable System, das neben allen Simocode pro C Funktionen noch viele zusätzliche Funktionen bietet.

In Simocode pro V sind weitere Steuerprogramme für Stern-Dreieckstarter, Dahlander, Polumschalter, Sanftstarter - jeweils auch in Kombination mit Drehrichtungsumkehr - möglich, Ventil oder Schieber integriert. Zudem ist das Motormanagementsystem besonders vielseitig. Es lässt sich nach Bedarf in seiner Funktion erweitern, z.B.

- kann die Art und Anzahl der binären Ein- und Ausgänge schrittweise erhöht und angepasst werden
- kann ein Strom-/Spannungserfassungsmodul zur zusätzlichen Erfassung der Spannung und zur Überwachung leistungsbezogener Messgrößen (Energiemanagement) verwendet werden
- macht ein Temperaturmodul die Auswertung mehrerer analoger Temperaturfühler möglich
- kann eine Erdschlusserfassung in Verbindung mit einem Summenstromwandler integriert werden
- erweitert ein Analogmodul das System um zusätzliche analoge Ein- und Ausgänge, beispielsweise zur Füllstands- oder Durchflussüberwachung.

Hinweis:

Simocode pro C ist aufwärts-kompatibel zu Simocode pro V. Das bedeutet, Sie können in Ihrer Anlage beide Reihen je nach funktionellem Bedarf gemischt einsetzen.

Simocode pro C und pro V schützen und steuern den Motorabzweig unabhängig vom Automatisierungssystem. Auch bei Ausfall des Automatisierungssystems (SPS) oder bei Störungen der Kommunikation bleibt der Motorabzweig vollständig geschützt und steuerbar. Simocode pro kann ohne Anschluss an den Profibus DP eingesetzt werden. Dieser kann bei Bedarf auch nachträglich problemlos angeschlossen werden.

Aufbau ohne Motormanagement Simocode pro:
Für die komplette Steuerung, Überwachung und Signalvorverarbeitung werden einzelne Komponenten verwendet. Dabei müssen folgende Komponenten eingesetzt bzw. Verdrahtungen durchgeführt werden:

- Überlastrelais, Thermistor-Auswertegeräte, Stromwandler, Analog/Digitalwandler einsetzen und verdrahten
- Steuerstromkreis verdrahten
- Befehlsgeräte für Start/Stop anschließen
- über Hilfsschalter das Schütz in Selbsthaltung bringen
- Verriegelungen verdrahten.

Aufbau mit Motormanagement Simocode pro:
Für die komplette Steuerung, Überwachung und Signalvorverarbeitung wird nur Simocode pro verwendet. Damit ergeben sich folgende Vorteile:

- Zusätzliche Überlastrelais, Thermistor-Auswertegeräte, Stromwandler, Analog/Digitalwandler entfallen
- Die Verdrahtung des Steuerstromkreises (Verriegelung) vereinfacht sich
- Die Schalter Start und Stop sind direkt auf die Eingänge des Grundgeräts verdrahtet
- Die Schützspule wird über den Ausgang des Grundgeräts angesteuert. Der Hilfskontakt zur Selbsthaltung entfällt.

Für das Motormanagement gibt es neben dem Standard-Bedienbaustein (BB) auch einen Bedienbaustein mit Display (BBD). Damit lassen sich vor Ort wichtige Werte und Statusinformationen anzeigen. Hierzu ist allerdings das Grundgeräte 2 (Simocode pro V) notwendig.

Betriebs-, Service- und Diagnosedaten von Simocode pro

Betriebsdaten	Servicedaten	Diagnosedaten
• Schaltzustand Motor (ein, aus, links, rechts, langsam, schnell), abgeleitet vom Stromfluss im Hauptstromkreis; damit sind keine Rückmeldungen über Hilfskontakte von Leistungsschaltern und Schützen notwendig • Strom in den Phasen 1, 2 und 3 und maximaler Strom in % vom Einstellstrom • Spannung in den Strängen 1, 2 und 3 in V [2)] • Wirkleistung in W [2)] • Scheinleistung in VA [2)] • Leistungfaktor in % [2)] • Phasenunsymmetrie in % • Phasenfolge [2)] • Temperatur in den Sensormesskreisen 1, 2 und 3 und maximale Temperatur in K [1) 4)] • Aktuelle Werte der Analogsignale [1) 5)] • Zeit bis zur Auslösung in s • Erwärmung Motormodell in % • Verbleibende Abkühlzeit des Motors in s usw. Durch die geräteinterne Umrechnung einzelner Messwerte mit Hilfe der in Simocode pro V hinterlegten Logikbausteine (Calculatoren) ist eine Anpassung der Einheiten möglich. Beispielsweise kann die von Simocode pro ermittelte Temperatur auch in °F oder °C umgerechnet und über Profibus an das Automatisierungssystem übermittelt werden.	Simocode pro liefert unter anderem folgende für die Wartung relevante Daten: • Anzahl der Motorbetriebsstunden, auch rücksetzbar • Motorstillstandszeiten, auch rücksetzbar • Anzahl der Motorstarts, auch rücksetzbar • Anzahl der noch zulässigen Motorstarts • Anzahl der Überlastauslösungen, auch rücksetzbar • Abzweigbezogener Energieverbrauch in kWh, auch rücksetzbar [3)] • Interne Kommentare, Abzweigbezogen im Gerät gespeichert, z.B. Hinweise bei Wartungsereignissen usw.	• Zahlreiche detaillierte Frühwarn- und Störmeldungen, auch zur weiteren Verarbeitung im Gerät oder im Leitsystem • Geräteinterne Fehlerprotokollierung mit Zeitstempel • Wert des letzten Auslösestroms • Rückmeldefehler (z.B. kein Stromfluss im Hauptstromkreis nach Ein-Steuerkommando) usw.

1) Bei Verwendung von Grundgerät 2
2) Bei Verwendung von Grundgerät 2 mit Strom-/Spannungserfassungsmodul
*3) Bei Verwendung von Grundgerät 2 (ab Erzeugnisstand *E03*) mit Strom-/Spannungserfassungsmodul*
4) Zusätzlich Temperaturmodul notwendig
5) Zusätzlich Analogmodul notwendig

An das Grundgerät der variablen Motormanagementvariante Simocode pro V lassen sich folgende weitere Module anschließen:

- 2 Digitalmodule
- 1 Analogmodul
- 1 Temperaturmodul
- 1Erdschlussmodul

Sirius Überwachungs- und Zeitrelais

Elektronische Zeitrelais 3RP1/3RP2 werden für alle zeitverzögerten Schaltvorgänge in Steuer-, Anlass, Schutz- und Regelschaltungen eingesetzt. Dank ihrer ausgereiften Konzeption sowie der Platz sparenden, kompakten Bauform sind sie ideale Timer-Bausteine für Schaltschrank-, Schaltanlagen- und Steuerungshersteller aus der Industrie. Ansprechverzögert lassen sie sich für die Störimpulsunterdrückung (Ausblenden von Störimpulsen) sowie zum stufenweisen Starten von Motoren einsetzen (Entlastung des Netzes).
Rückfallverzögert eignen sie sich zur Erzeugung von Nachlauffunktionen nach Wegnahme der Steuerspannung (Lüfternachlauf) sowie als Notabschaltung, bzw. um eine Anlage trotz ausfallender Versorgungsspannung in einen definierten Zustand zu bringen.
In der Variante Stern-Dreieck sorgen sie beim Umschalten von Motoren von Stern auf Dreieck mit einer Umschaltpause von 50 ms, um einen Phasenschluss zu verhindern.

Das elektronische Zeitrelais 3RP15 eignet sich als idealer Timer-Baustein für unterschiedlichste Aufgaben.

Die Überwachungsrelais 3UG4 ermöglichen einen maximalen Schutz für Maschinen und Anlagen. So können Netz- und Spannungsfehler frühzeitig erkannt und darauf reagiert werden, bevor weit größere Folgeschäden auftreten.
Die Geräte überwachen die Phasenfolge, Phasenausfall, Phasenunsymmetrie, Unterspannung, Überspannung und ermöglichen eine Isolationsüberwachung.
Die 3UG4 eignen sich auch für die einphasige Überwachung der Belastung von Motoren und der Funktionalität von elektronischen Verbrauchern. Damit lässt sich der Strom, der cos φ und der Wirkstrom überwachen. So lassen sich Verschleiß und Fehler frühzeitig erkennen.
DAs 3UG4 eignet sich auch ideal zur Fehlerstromüberwachung. Denn durch Feuchtigkeit oder hohe Verschmutzung können mit der Zeit Isolationsprobleme entstehen. Deshalb empfiehlt sich, das Fehlerstromüberwachungsrelais 3UG4624 in Kombination mit einem Summenstromwandler 3UL22 einzusetzen. Dank einstellbarer Grenz- und Warnschwellwerte gibt das Relais bereits vor Erreichen des Grenzwerts eine Warnung aus und schaltet bei Überschreiten des Grenzwerts nach einer gewissen Verzögerungszeit ab.
Überwachungsrelais 3UG4 kontrollieren auch nichtelektrische Größen wie zum Beispiel Füllstand und Drehzahl.

Das Überwachungsrelais 3UG4 kann für unterschiedlichste Anwendungen eingesetzt werden.

Der Thermistor-Motorschutz 3RN1 gibt Schutz vor Überhitzung.

Thermistor-Motorschutzrelais wie das 3RN1 bringen überall dort Vorteile, wo stromabhängig Schutz durch Leistungsschalter oder Überlastrelais nicht die ideale Überwachungsgröße ist. In bestimmten Situationen und dann oft durch äußere Einflüsse bedingt, kann es zur Überhitzung kommen, ohne dass das thermische Abbild im Leistungsschalter/Überlastrelais dies erfassen kann. Beispiele dafür sind der Schweranlauf bei Zentrifugen, der Betrieb mit Frequenzumrichter oder häufiges Schalten, Bremsvorgänge oder eine behinderte Kühlung z. B. durch verschmutzte Umgebung.
Die Geräte messen direkt die Temperatur der Motorwicklung; ein Gerät genügt dabei für alle Motorleistungen. Sie zeigen auch Drahtbruch und Kurzschluss im Fühlerkreis an. Die Geräte besitzen die ATEX-Zulassung für Gase und Staub.

Das Temperatur-überwachungs-relais 3RS10/3RS11 eignet sich für feste, flüssige und gasförmige Medien.

Für die Messung von Temperaturen in festen, flüssigen und gasförmigen Medien eignen sich die analogen Temperaturüberwachungsrelais 3RS10/3RS11 hervorragend. Dabei wird die Temperatur über Fühler im Medium erfasst, vom Gerät ausgewertet und auf Über- oder Unterschreitung der Grenztemperatur überwacht. Das Ausgangsrelais schaltet je nach Parametrierung an den Schwellwerten ein oder aus.

TIPP:

Die Geräte gelten als gute Alternative zu Temperaturreglern im Low-End-Bereich.

Erfassungsgeräte

Positionsschalter 3SE5, 3SF1, 3SE2, 3SE3, 3SF3

Die innovative Sirius Positionsschalterbaureihe 3SE5 zeichnet sich durch eine kompakte Bauform aus, einen modularen Aufbau und einen einfachen Geräteanschluss. Die neuen Schalter 3SE5 sind in fünf unterschiedlichen Gehäusegrößen lieferbar. Es gibt sie sowohl mit Kunststoffgehäuse (50 mm breit) als auch mit Metallgehäuse nach EN 50041 (40 mm bzw. 56 mm breit). Die Basisschalter gibt es mit Schaltelementen mit zwei oder drei Schaltgliedern (Schraubanschluss) - ausgeführt als Schleich- oder Sprungschaltglieder. Optional besitzen sie eine LED-Statusanzeige.
Die hohe Flexibilität dieser Positionsschalter wird auch dadurch erreicht, dass alle Antriebe auf sämtliche Gehäuse passen. Hierzu gibt es Kuppenstößel, Rollenstößel, Rollenhebel, Winkelrollenhebel, Federstab, Schwenkhebel und Stangenhebel sowie Gabelhebel. Diese lassen sich über einen Zahnkranz sehr einfach fixieren, tauschen und um jeweils 22,5 Grad drehen.
Der Kontaktblock mit zwei- und dreipoligen Schaltelementen ist austauschbar, was eine einfache Verdrahtung ermöglicht. Außerdem gibt es sie mit einer integrierten Elektronik für den direkten Anschluss an AS-Interface. Die neuen Schaltelemente gewährleisten eine sehr hohe Kontaktsicherheit. Dies gilt auch, wenn die Geräte niedrige Ströme und Spannungen schalten müssen wie z. B. 1 mA bei DC 5 V.
Die Schaltglieder mit Öffnerfunktion werden vom Betätigungsstößel mechanisch formschlüssig und zuverlässig geöffnet. Dies bezeichnet man als Zwangsöffnung.

Die neuen Positionsschalter 3SE5 gibt es in unterschiedlichen Standard- und fehlersicheren Ausführungen.

Die mit diesem Zeichen gekennzeichneten Geräte sind für sicherheitstechnische Anwendungen einsetzbar.

Die Norm IEC 60947-5-1 bzw. DIN EN 60947-5-1 fordert Zwangsöffnung der Öffnerkontakte. Das heißt im Hinblick auf den Personenschutz wird für die elektrische Ausrüstung von Maschinen in allen Sicherheitskreisen das gesicherte Öffnen von Öffnerschaltgliedern ausdrücklich vorgeschrieben und entsprechend der Norm IEC 60947-5-1 mit einem Pfeil im Kreis gekennzeichnet.
Mit den Positionsschaltern 3SE5, die mit einem Pfeil gekennzeichnet sind, kann die Kategorie 4 nach DIN EN 954-1 erreicht werden, wenn die entsprechenden fehlersicheren Auswertegeräte ausgewählt und korrekt angeschlossen werden. Als Erkennungsmerkmal für solche fehlersicheren Positionsschalter können die Geräte mit einem gelben Gehäusedeckel versehen werden.

Magnetschalter 3SE6

Ein Magnetschalter besteht aus einem codierten Schaltmagnet und einem Schaltelement (Gebereinheit). Die Magnetschalter Sirius 3SE6 sind zum Anbau an beweglichen Schutzvorrichtungen wie Hauben, Klappen, Türen, etc. vorgesehen. Die Auswertung erfolgt über ein Sicherheitsschaltgerät oder den Anschluss an ein Bussystem.

Die berührungslosen, magnetischen Sicherheitsschalter 3SE6 6 zeichnen sich durch ihre geschlossene Bauform mit der hohen Schutzart IP67 aus. Sie sind daher besonders geeignet für Bereiche, die durch Verschmutzung, Reinigung oder Desinfektion belastet sind.

Ein Magnetüberwachungssystem besteht aus einem oder mehreren Magnetschaltern und der Auswerteeinheit, z. B. einem Sicherheitsschaltgerät. Bei Verwendung von Schaltelementen 1S + 1Ö bietet das Sicherheitsschaltgerät 3SE6 806 einen hohen Schutz gegen Manipulation und kann in Sicherheitsstromkreisen bis Kategorie 3 nach EN 954-1 eingesetzt werden. Dieses Sicherheitsschaltgerät verfügt über zwei potentialfreie Freigabekreise (sichere Kreise) als Schließerkreise und einen potentialfreien Meldekreis als Öffnerkreis. Die Anzahl der Freigabekreise kann durch Hinzuschalten eines oder mehrerer Erweiterungsmodule 3TK2830 ergänzt werden.

Die Magnetschalter mit codierten Schaltmagneten lassen sich in fehlersicheren Schaltungen verwenden.

Befehls- und Meldegeräte

Drucktaster und Leuchtmelder 3SB3, 3SB2, 3SF5

Die Drucktaster und Leuchtmelder 3SB2 sind für Frontplattenbefestigung und rückseitigen Anschluss mit Flachsteckern vorgesehen. Für den Einsatz auf Leiterplatten werden zusätzlich Schaltelemente und Lampenfassungen mit Lötstiften angeboten. Die Geräte sind klimafest und für den Einsatz auf Schiffen geeignet. Für Steuerungen nach IEC 60204-1 bzw. DIN EN 60204-1 (VDE 0113 TEil 1) sind die Pilzdrucktaster der Reihe 3SB2 als Sicherheits-Not-Halt verwendbar.

Drucktaster und Leuchtmelder 3SB2 gibt es für Frontplattenbefestigung und Leiterplattenmontage.

Die Norm IEC 60947-5-1 bzw. EN 60947-5-1 fordert Zwangsöffnung. Das heißt im Hinblick auf den Personenschutz wird für die elektrische Ausrüstung von Maschinen in allen Sicherheitskreisen das gesicherte Öffnen von Öffnerschaltgliedern ausdrücklich vorgeschrieben und entsprechend der IEC 60947-5-1 mit dem Zeichen ⊖ gekennzeichnet. Mit den Not-Halt-Pilzdrucktastern kann die Kategorie 4 nach DIN EN 954-1 erreicht werden, wenn die entsprechenden fehlersicheren Auswertegeräte ausgewählt und korrekt angeschlossen werden.

Die Reihe 3SB3 ist ein modular aufgebautes Befehls- und Meldegeräteprogramm für Frontplattenbefestigung und rückseitigen Leiteranschluss. Als Alternative sind auch einzelne Elemente für den Einbau auf Leiterplatten lieferbar. Für die häufigsten Anwendungsfälle werden komplette Gerätekombinationen angeboten wie zum Beispiel im Gehäuse als handbetätigte Befehlsgeräte bei räumlich getrennter Anordnung von Steuereinheiten und Schaltschränken. Es gibt sie in Kunststoff-Ausführung in flacher runder und quadratischer Bauform sowie in Metall-Ausführung (IP67 und NEMA 4) in runder Bauform.

Die Drucktaster und Leuchtmelder in runder Bauform können auch in explosionsgefährdeten Bereichen eingesetzt werden.

Hinweis:

Die Befehls- und Meldegeräte 3SB3 können schnell und sicher an AS-Interface angeschlossen werden.

Für typische Einsatzfälle von Drucktastern und Leuchtmelder gibt es Kombinationen wie zum Beispiel handbetätigte Befehlsgeräte 3SF5 oder 3SB3 Handbedienpulte.

Seilzugschalter 3SE7, 3SF2

Die Seilzugschalter Sirius werden zur Überwachung oder als Not-Halt-Einrichtung an besonders gefährdeten Anlagenteilen eingesetzt. Da der Wirkungsbereich von Seilzugschaltern durch die Länge der Reißleine begrenzt wird, können auch große Anlagen damit abgesichert werden. Beidseitig ziehende Seilzugschalter sowie Bandschieflaufgeräte überwachen in erster Linie sehr lange Bandanlagen.
Die Schalter sind mit zwangsläufiger Verrastung und zwangsöffnenden Öffnerkontakten ausgestattet und somit für den Einsatz in Not-Halt-Einrichtungen entsprechend der Norm ISO 13850 geeignet.
Über AS-Interface mit sicherheitsgerichteter Kommunikation können auch AS-Interface Seilzugschalter direkt angebunden werden. Die Sicherheitsfunktionen müssen daher nicht mehr konventionell verdrahtet werden.

Die Schalter mit zwangsläufiger Verrastung sind für den Einsatz in Not-Halt-Einrichtungen entsprechend EN ISO 13850 geeignet. Sie sind einsetzbar bis Kategorie 4 nach EN 954-1.

Fußschalter 3SE2, 3SE3

Das Fußschalterprogramm 3SE2 9 und 3SE3 9 umfasst Ausführungen mit Metallgehäuse für robuste Anwendungen sowie Ausführungen mit Kunststoffgehäuse. Die Geräte sind mit oder ohne Abdeckhaube lieferbar und können über Befestigungslöcher auf dem Fußboden verschraubt werden.
Je nach Anwendungsfall sind die Geräte in tastender oder verrastender Ausführung verfügbar.

Die Fußschalter gibt es in Kunststoff und Metallausführung.

Die einpedaligen Sicherheits-Fußschalter nach ISO 13850 verriegeln beim Betätigen. Nach Beseitigung der Gefahr ist ein Wiederanlauf der Maschine erst nach einer manuellen Entriegelung direkt am Schalter möglich. Die Entriegelung erfolgt über einen Drucktaster an der Oberseite des Gehäuses. Die Geräte werden mit Abdeckhaube geliefert.
Für den Einsatz in weniger rauen Umgebungen werden Pedaltaster mit Kunststoffgehäuse angeboten. Sie sind in ein- oder zweipedaliger Ausführung lieferbar, die einpedalige auch mit Abdeckhaube. Die Pedaltaster besitzen einen Mikroschalter (Wechslerkontakt) pro Betätigungspedal.

Signalsäulen 8WD4

Die Signalsäulen 8WD4 dienen an Maschinen oder in automatisierten Prozessen zur Kontrolle komplexer Abläufe oder als visuelle oder akustische Warneinrichtung in Notfallsituationen. Über ein integrierbares Adapterelement lassen sich die Signalsäulen direkt an AS-Interface anschließen. Das reduziert den Verdrahtungsaufwand. Die A/B-Technik ermöglicht den Anschluss von bis zu 62 Teilnehmern an einem AS-Interface.
Für die Reihe 8WD44 sind GSM-Funkelemente lieferbar. Sie können Fehlermeldungen ohne Zeitverzug an ein Mobiltelefon melden, z. B. als SMS oder als Ruf. Das Gerät kann auf die in der EU und in Nordamerika üblichen GSM-Frequenzen eingestellt werden.

Die Signalsäulen gibt es mit Dauer-, Blink-, Blitz- und Rundumlicht, Summer und Sirene.

Hinweis:

Die Funkelemente dürfen nicht in sicherheitsrelevanten Anwendungen eingesetzt werden.

Transformatoren und Stromversorgungen

Einphasen-Transformatoren 4AM, 4AT, 4BT, 4AX22, 4AX23

Eine wichtige Eigenschaft von Transformatoren ist die vielfältige Anpassungsmöglichkeit an vorhandene und die gewünschten Spannungen. Deshalb ist es wichtig, ein möglichst umfangreiches Produktspektrum wie Siemens zu besitzen. Die Transformatoren (Ein- und Dreiphasen-Transformatoren) sind zusammengefasst in Trenn-, Steuer- und Netztransformatoren gemäß
EN 61558-2-4, -2-2, -2-1 oder Spartransformatoren nach EN 61558-2-13 mit wählbaren Ein- und Ausgangsspannungen.

Hinweis:

Netztransformatoren mit ≤50 V auf der Ausgangsseite sind bei Sirius Transformatoren immer als Sicherheitstransformatoren ausgeführt.

Dreiphasen-Transformatoren 4AP, 4AU

Die Geräte sind wie die einphasigen Geräte auch für "sicherungslose Bauweise" geeignet. Durch den kleinen Einschaltrush können auch primärseitig Leistungsschalter für den Motorschutz eingesetzt werden. Außerdem ist der weltweite Einsatz möglich aufgrund der erteilten Approbationen für USA und Kanada. Die Transformatoren bieten einen optimalen Schutz durch hohe zulässige Umgebungstemperaturen bis 40 °C bzw. 55 °C, hohe Kurzzeitleistung bei Steuertransformatoren sowie durch ihren Sicherheitsstandard "Safety Inside" EN 61558.

Ungeregelte Stromversorgungen 4AV

Stromversorgungen 4AV2, 4AV3, 4AV4 und 4AV5 liefern eine ungeregelte Gleichspannung von DC 24 V auf der Basis von Einphasen- bzw. Dreiphasen-Sicherheitstransformatoren mit nachgeschalteten Gleichrichtern und Kondensatorsiebung.
Durch den robusten Aufbau weisen die 4AV-Geräte eine sehr hohe Zuverlässigkeit auf. Sie zeigen sich ausgesprochen stabil gegen den Einfluss externer Netzstörungen und wirken dämpfend gegenüber EMV. Auch für die Versorgung kapazitiver Lasten sind sie gut geeignet, da ein Zuschalten dieser Verbraucher nur geringe Spannungseinbrüche verursacht.

Diese Geräte werden zur Versorgung allgemeiner elektrischer Lasten eingesetzt, zur Speisung von Steuerstromkreisen und zur Stromversorgung elektronischer Steuerungen. Sie erfüllen die Anforderungen nach EN 61131-2 "Speicherprogrammierbare Steuerungen - Betriebsmittelanforderungen und Prüfungen" und sind unter anderem für Simatic geeignet.

Die ungeregelten Stromversorgungen 4AV sind für den Einbau in gekapselten Steuerungen und Elektronikschränken konzipiert.

Geregelte Stromversorgungen SITOP

Die primär-getakteten Schaltnetzteile SITOP liefern eine geregelte Gleichspannung von 24 Volt, aber auch andere Ausgangsspannungen zwischen 3 und 52 V DC. Selbst bei großen Eingangsspannungs-Schwankungen wird die Ausgangsspannung mit einer Genauigkeit von +/- 3 % stabil gehalten. Dadurch sind die robusten Hutschienen-Netzgeräte in vielen Applikationen der Industrie- und Gebäudeautomatisierung einsetzbar, zur Versorgung von sensibler Elektronik bis hin zu Verbrauchern mit hohem Strombedarf bis zu 40 A. Die zuverlässigen Stromversorgungen zeichnen sich durch die kompakte und robuste Bauform, hohen Wirkungsgrad und hohe Überlastfähigkeit aus. Der große Eingangsspannungsbereich und internationale Zertifizierungen erlauben den Einsatz an fast allen Netzen der Welt. Darüber hinaus schützen Zusatzmodule gegen verschiedenste primär- und sekundärseitige Störungen.

Drei Produktlinien bieten für verschiedenste Anforderungen und Leistungen das passende SITOP-Netzgerät.

SITOP modular:

Die kompakten Netzgeräte im robusten Metallgehäuse eignen sich für anspruchsvollste 24-V-Applikationen von 5 bis 40 A. Der Weitbereichseingang ermöglicht den weltweiten Netzanschluss an 1, 2 oder 3 Phasen. Die Geräte verfügen bereits über umfangreiche Funktionen und können zusätzlich mit allen SITOP-Zusatzmodulen erweitert werden.

SITOP smart:
Die schmalen 24-V-Stromversorgungen für 1-phasige Netze 120/230 V liefern 2,5 A, 5 A oder 10 A. Die hohe Überlastfähigkeit ermöglicht das problemlose Einschalten von Verbrauchern mit hohem Einschaltstrom. Umfangreiche Zertifizierungen, wie für den Schiffbau und explosionsgefährdete Bereiche, ermöglichen den universellen Einsatz.

LOGO!Power:
Mit den Mini-Netzteilen im flachen stufenförmigen Profil profitieren nicht nur 24-Volt-Verbraucher von den Vorzügen einer geregelten Stromversorgung, sondern auch 5, 12 und 15 V-Verbraucher.

SITOP-Zusatzmodule bieten additive Sicherheit, u. a. durch Netzausfallüberbrückung, redundanten Betrieb und selektive Absicherung einzelner 24-V-Pfade.

Niederspannungs-Energieverteilung

Sivacon / Sentron Programm

Im Zuge von Totally Integrated Power (TIP) sind alle Komponenten und Systeme von Siemens aufeinander abgestimmt und entsprechend optimiert.

Multifunktionsmessgerät PAC3200

Das PAC3200 ist ein Multifunktionsmessgerät zur Anzeige aller relevanten Netzparameter in der Niederspannungs-Energieverteilung. Es ist in der Lage, ein-, zwei- oder dreiphasig zu messen und kann in Zwei-, Drei- oder Vierleiter- TN-, TT- und IT-Netzen verwendet werden. Durch seine kompakte Bauform im 96 x 96 mm Format ist es ein idealer Ersatz für alle herkömmlichen analogen Anzeigeinstrumente.

Das Multifunktionsmessgerät PAC3200 lässt sich aufgrund seines großen Messspannungsbereichs in allen Niederspannungsnetzen bis zu einer Netzspannung von 690 V direkt anschließen.

Aufgrund seines großen Messspannungsbereichs ist das PAC3200 in jedem Niederspannungsnetz bis zu einer Netznennspannung von 690 V direkt anschließbar. Höhere Spannungen können über Spannungswandler gemessen werden. Das PAC3200 besitzt eine Reihe nützlicher Überwachungs-, Diagnose- und Service-Funktionen, einen Zweitarif-Wirk- und Blindarbeitszähler, einen Universalzähler, sowie einen Betriebsstundenzähler zur Überwachung der Laufzeit angeschlossener Verbraucher. Zur Kommunikation kann die integrierte Ethernet-Schnittstelle (MODBUS TCP, SEAbus TCP) oder ein optional erhältliches Schnittstellenmodul verwendet werden.
Darüberhinaus verfügt das PAC3200 über einen multifunktionalen Digitaleingang und Digitalausgang. Die Parametrierung kann entweder am Gerät direkt oder über die Kommunikationsschnittstelle vorgenommen werden. Zum Schutz vor unberechtigtem Zugriff über die Gerätefront ist ein Passwortschutz integriert.

Die große Funktionsvielfalt des Geräts bringt viele Vorteile:

- Ableitung von über 50 Messgrößen aus den Basismessgrößen mit Maximal- und Minimalwerten (Schleppzeigerfunktion), sowie Mittelwerten für Phasenspannungen, Außenleiterspannungen und Ströme. Zusatzlich zu den Mittelwerten werden deren Minimum und Maximum angezeigt.
- Insgesamt 10 Energiezähler erfassen Wirkarbeit, Blindarbeit, Scheinarbeit für Niedertarif und Hochtarif, Bezug und Abgabe.
- Ermittlung und Speicherung des letzten Messperiodenmittelwerts für Wirk- und Blindleistung zur einfachen Generierung von Lastprofilen mittels Software. Programmierbare Messperiode von 1 bis 60 Min.
- Konfigurierbarer Universalzähler zum Zählen von Grenzwertverletzungen, Zustandsänderungen am Digitaleingang oder -ausgang oder zur Anzeige der Wirkarbeit oder Blindarbeit eines angeschlossenen Impulsgebers.
- Betriebsstundenzähler zur Überwachung der Laufzeit eines angeschlossenen Verbrauchers.
- Überwachung von 6 Grenzwerten. Die Grenzwerte können mit UND / ODER logisch verknüpft werden. Mit einer ODER-Verknüpfung kann eine Sammelmeldung erzeugt werden, die die Verletzung mindestens eines Grenzwerts anzeigt.
- Drehrichtungsüberwachung.
- Passwortschutz am Gerät durch 4-stelligen Code.
- Betriebszustandsüberwachung des PAC3200, und vieles mehr.

Offene Leistungsschalter 3WL

Die kommunikationsfähigen offenen Leistungsschalter Sentron WL und Kompaktleistungsschalter Sentron VL in Energieverteilungsanlagen können über Bussysteme wichtige Informationen für Diagnosemanagement, Störungsmanagement, Instandhaltungsmanagement und Kostenstellenmanagement an eine zentrale Leitwarte übertragen. Diese Geräte sind die ersten Leistungsschalter, die auch ohne Nutzung von Feldbussystemen und übergeordneten B&B (Bedienen und Beobachten) Systeme über die Ferne parametriert, diagnostiziert und gewartet werden können. Dies funktioniert mit Hilfe des innovativen Internet-fähigen Leistungsschalterparametriergeräts, dem Breaker Data Adapter (BDA).

Das Herzstück der kommunikationsfähigen Sentron Leistungsschalter bildet die gemeinsame Datenbibliothek. In dieser sind alle verfügbaren Datenpunkte (Status, Messwerte, Parameter, etc.) beschrieben - inkl. Formate und Skalierungsfaktoren. Mit Hilfe der Kommunikation erhält man schnell gezielte Informationen über Ort und Ursache von Energieausfällen. Durch die Aufzeichnung der Phasenströme kann die exakte Störungsursache ermittelt werden. Die Erfassung der Leistungen, der Arbeit und des Leistungsfaktors cos . eröffnet weitere Möglichkeiten. Durch die transparente Darstellung des Energieverbrauchs für die kaufmännische Auswertung, lassen sich Energieprofile erstellen und die Kosten klar zuordnen. Nachgelagert lassen sich so durch den Ausgleich von Lastspitzen und -tälern die Energiekosten optimieren.

TIPP:

Der Einsatz kommunikationsfähiger Leistungsschalter ist ein wichtiger Schritt auf dem Weg zu einem durchgängigen Energiemanagement und damit zu Kosteneinsparungen. Leistungsschalter können über Profibus-DP, Ethernet oder Internet parametriert bzw. ausgelesen werden.

Die Sentron Leistungsschalter decken den weiten Strombereich zwischen 16 A bis 6.300 A ab und eignen sich durch ihre Modularität als Systemlösung für eine Vielzahl von Anwendungen in der Energieverteilung.

Offene Leistungsschalter WL, Kompaktleistungsschalter VL und Multifunktionsmessgerät PAC3200 bilden die Hardware-Basis für ein umfassendes Energiemanagement.

Bei der Energieverteilung zählt immer mehr auch die Kommunikations-fähigkeit, um in allen Ebenen über Vorgänge und Verbrauchswerte Bescheid zu wissen.

Der Leistungsschalter Sentron WL deckt mit drei Baugrößen den kompletten Bereich von 250 A bis 6.300 A ab. Die Geräte erfüllen neben IEC weitere Normen wie zum Beispiel UL etc. Das sowohl in dreipoliger als auch in vierpoliger Ausführung, ob für den Festeinbau oder als Einschub-Variante. Die Geräte stehen in verschiedenen Schaltleistungsklassen zur Verfügung, so können Kurzschlussströme bis 150 kA sicher abgeschaltet werden.
So kann z. B. mittels eines Bemessungsstrommoduls jeder Schalter – falls erforderlich – auf den jeweils passenden Bemessungsstrom eingestellt werden. Der Wechsel des Moduls geschieht innerhalb weniger Sekunden, ohne aufwändigen Wandlerwechsel. Auch eine Umschaltung zwischen zwei unterschiedlichen Parametersätzen ist möglich. Diese Funktion wird überall dort wichtig, wo beispielsweise bei Stromausfall automatisch von Netz- auf Generatorbetrieb umgeschaltet wird und sich möglicherweise sämtliche Auslösebedingungen ändern. Für erhöhte Sicherheit bei kritischen Prozessen sorgen zahlreiche Verriegelungs- und Abschließmöglichkeiten. Jegliches Zubehör, ob Hilfsauslöser, Motorantrieb bis hin zur Kommunikation, ist einfach und schnell nachrüstbar.
Das Herzstück eines jeden Schalters ist der elektronische Überstromauslöser (ETU). Um die Schutz-, Mess- und Meldefunktionen ganz dem Bedarf der Anlage anzupassen, gibt es unterschiedliche Ausprägungen: Vom einfachen Überlast- und Kurzschlussschutz bis hin zum fernparametrierbaren Auslöser mit einer Vielzahl von Mess- und Meldefunktionen. Damit lässt sich die Selektivität sehr präzise an die vorhandenen Anforderungen anpassen.

Der Leistungsschalter Sentron 3WL deckt mit drei Baugrößen den kompletten Bereich von 250 A bis 6.300 A ab.

Rückgrat der durchgängigen und modularen Architektur des Sentron WL ist der CubicleBUS, der alle intelligenten Komponenten innerhalb des Sentron WL verbindet und den einfachen und sicheren Anschluss weiterer externer Zusatzkomponenten ermöglicht. Alle Teilnehmer, die an dem CubicleBUS angeschlossen sind, können Daten von anderen Modulen über den Bus anfordern und generieren selbst auch Daten, die dann von anderen Teilnehmern gelesen werden können.
Das so genannte COM15-Modul für den Sentron WL ermöglicht den Anschluss des Leistungsschalters an den Profibus-DP. Über diese Kommunikationsweg können die Geräte auch mithilfe der Software Switch ES Power sowie von Bedien- und Beobachtungssystemen wie WinCC aus in Betrieb genommen werden. Ein im COM15-Modul integrierter Temperatursensor misst die Temperatur im Schaltschrank.

Hinweis:

Es ist möglich, den steuernden/schreibenden Zugriff auf Leistungsschalter über Hardware und Software zu verriegeln, falls dies aus Sicherheitsgründen notwendig ist, um z.B. das Schalten über den PROFIBUS (Hand-/Automatikbetrieb) oder das Ändern von Parametern zu unterbinden.

TIPP:

Der Einsatz der Sentron Leistungsschalter in Verbindung mit dem Planungstool Simaris deSign gibt vor allem Planungsbüros, aber auch Schaltschrankbauern die Möglichkeit, bislang langwierige und schwierige Prozesse bequem zu lösen.

Kompaktleistungsschalter 3VL

Der Leistungsschalter, der in der Grundausführung für den Festeinbau konzipiert ist, lässt sich mit dem passenden Bausatz einfach in eine steckbare oder eine Einschub-Ausführung ändern. Die 3- und 4-polig erhältlichen Leistungsschalter Sentron VL eignen sich insbesondere für Anwendungen im Bereich des Anlagen-, Motor- bzw. Generatorschutzes, bei Starterkombinationen oder als Leistungs-Trennschalter.

Die Kompaktleistungsschalter 3VL gibt es mit thermisch-mechanischen Auslösern für Bemessungsströme von 16 A bis 630 A, mit elektronischen Überstromauslösesystemen von 63 bis 1.600 A. Die Geräte erfüllen unterschiedliche Normen wie IEC, UL, etc.

Der Sentron VL kann über das Profibus-DP-Modul COM10 oder über das Motormanagement Simocode von Siemens am Profibus angeschlossen werden. Über den BDA bzw. BDA Plus (Breaker Data Adapter) ist es zusätzlich möglich, eine Kommunikation auf höherer Ebene (Ethenet/ Intranet/Internet) zu betreiben. Beide Vernetzungsarten gestalten sich denkbar einfach. Für erhöhte Sicherheit bei kritischen Prozessen sorgen Verriegelungs- und Abschließmöglichkeiten. Jegliches Zubehör, ob Hilfsauslöser, Motorantrieb bis hin zur Kommunikation, ist einfach und schnell nachrüstbar.
Die thermisch-magnetischen Überstromauslöser sind für Bemessungsströme im Bereich von 16 A bis 630 A einsetzbar. Eine Kommunikation über den Profibus mit einem Sentron VL mit thermisch-magnetischem Auslöser ist nur über den Simocode möglich. Die elektronischen Überstromauslösesysteme ETU und LCD ETU sind für Bemessungsströme im Bereich von 63 A bis 1.600 A geeignet.

Sentron Lasttrenner
Lasttrennschalter 3KA, 3KE und 3LD werden als Haupt-, Not-Aus-, Reparatur- und Netzumschalter im Verteilerbau für Wohn- und Zweckgebäude sowie industriellen Schaltanlagen eingesetzt. Als drei und vierpolige Varianten gewährleisten sie das Ein- und Ausschalten des angegebenen Bemessungsnennstroms unter Last. Gleichzeitig bilden sie eine Sicherheitstrennfunktion und -strecke in allen Niederspannungs-Stromkreisen.
Für den Einsatz als Sicherheitstrennschalter werden Lasttrennschalter im typgeprüften Isolierstoff-Verteilergehäuse angeboten.

Lasttrennschalter 3KA werden als Haupt- und Not-Aus-Schalter zum betriebsmäßigen Schalten und Trennen von Haupt- und Hilfsstromkreisen eingesetzt. Auch das Schalten von Drehstrommotoren und anderen Verbrauchern im Falle der Wartung und Reparatur ist damit möglich.

Lasttrennschalter mit Sicherung
Lasttrennschalter mit Sicherungen 3KL und 3KM schützen vor Überlast und Kurzschluss als Haupt- und Not-Aus-Schalter von Schaltanlagen, Verteilern, Energieversorgungs- und Motorabgängen. In Verbindung mit Siemens Halbleiterschutzsicherungen (Sitor) finden sie auch in USV-Anlagen, Frequenzumrichtern und Kondensator-Regelanlagen Verwendung. Alle Lasttrennschalter 3K sind klimafest.
Alle Lasttrennschalter mit Sicherungen 3NJ6 in Leistenbauform sind standardmäßig für Kabelschuhanschluss ausgelegt. Der Mittenabstand der Steckkontakte beträgt 185 mm.

Die Sentron Familie der Lasttrennschalter ist sehr umfangreich und für viele Anwendungsbereiche ideal geeignet.

Sentron Sicherungs-Lasttrennschalter

Sicherungs-Lasttrennschalter Sentron 3NP4 und 3NP5 sind Schaltgeräte zum gelegentlichen manuellen Schalten bzw. Freischalten von Verbrauchern und Verteilern. Sie sind in der Lage, den angegebenen Bemessungsnennstrom (einschließlich einer bestimmten Überlast) einzuschalten, zu führen und auszuschalten.
Mit Sicherungs-Lasttrennschaltern werden nachgeordnete elektrische Verbraucher allpolig und unter Last gefahrlos vom Netz getrennt. Sie eignen sich optimal für den Auf- und Einbau in Installationsverteiler, Zählerschränke und Isolierstoff-Verteilersysteme. Die Möglichkeit der Montage auf unterschiedlichsten Sammelschienen-Systemen ermöglicht den breiten Einsatz im Schaltschrank- und Steuerungsbau. Die Niederspannungs-Schaltgeräte sind klimafest und plombierbar.

TIPP:

In Verbindung mit Halbleiterschutz-Sicherungen werden die Sicherungs-Lasttrennschalter 3NP4 und 3NP5 zum wirkungsvollen Schutz von Frequenzumrichtern und Sanftstartern eingesetzt.

Die Sicherungs-Lasttrennschalter 3NP4 bzw. 3NP5 ermöglichen durch ihre Montage auf unterschiedlichsten Sammelschienen einen breiten Einsatz im Schaltschrank- und Steuerungsaufbau.

Die 1- bzw. 3-polig schaltbaren Sicherungs-Lasttrennschalter Sentron 3NJ41 und 3NJ56 in Leistenbauform werden in Niederspannungs-Verteilern, Netz- und Transformatorenstationen sowie Kabelverteilerschränken eingesetzt. Die Geräte sind klimafest.

Sicherungs-Lasttrennschalter in Leistenbauform.

Niederspannungs-Schaltanlagen

Niederspannungs-Schaltanlagen in Zweck- und Industriebauten werden zum Schalten und Schützen von Stromkreisen eingesetzt. Die Generation Sivacon S8 bis 4.000 A sind standardmäßig auf folgenden Komponenten aufgebaut:

- Leistungsschalter Sentron 3WL in Festeinbau- und Einschubtechnik
- Leistungsschalter Sentron 3VL in Festeinbau und mit Stecksockel
- Lasttrennschalter Sentron 3K
- Lasttrennschalter Sentron 3NJ
- Installationseinbaugeräte

Die Niederspannungs-Schaltanlage Sivacon S8 besitzt nicht nur optisch, sondern auch technisch allerlei Finessen.

Sivacon S8 ist eine typgeprüfte Niederspannungs-Schaltgerätekombination (TSK), die sich durch eine Reihe von Innovationen auszeichnet. Die Schaltanlagen besitzen beispielsweise ein einheitliches Bezeichnungssystem für Feld- und Abzweigbezeichnungen und sind mit einem Verschlusssystem für Einfach- oder Zentralverriegelung ausgestattet. Die Türen besitzen zudem einen Universalanschlag für die schnelle Änderung des Türanschlags.
Ein innovativer Schnellverschluss ermöglicht die einfache und schnelle Blendenmontage. Die Blenden selbst sowie die Blendenrahmen sind schwenkbar, was den Bedienkomfort spürbar erhöht.
Im Innern der Niederspannungs-Schaltanlagen Sivacon S8 dominiert eine ebenso hohe Flexibilität. So ist zum Beispiel die Kombination unterschiedlicher Einbautechniken in einem Feld möglich und es gibt ein patentiertes Anschlussterminal für die innere Unterteilung bis Form 4b.
Die Sammelschienen können oben und hinten (oben und/oder unten) liegen und die Sammelschienensysteme sind durchgängig. Die Sammelschienen besitzen beim Übergang zum nächsten Feld wartungsfreie Verbindungsstücke. Die Transporttrennstellen für die einzelnen Felder sind leicht zugänglich.
Standardmäßig besitzen S8-Anlagen ein Dachblech mit Druckentlastung. Es gibt die neuen Anlagen mit einer Blindleistungskompensation bis 600 kvar pro Feld. Die Bemessungsstoßstromfestigkeit reicht bis 220 kA, die Bemessungskurzzeitstromfestigkeit bis 100 kA (85 kA, 3 s).

Die typgeprüften Niederspannungs-Schaltanlagen haben die Sonderprüfung nach IEC 61641 für den Personen- und Anlagenschutz bestanden. Beim Nachweis der Störlichtbogensicherheit dürfen sich keine Türen und Abdeckungen öffnen und keine Teile wegfliegen. Außerdem dürfen keine Löcher in der Umhüllung entstehen und Indikatoren dürfen sich nicht entzünden. Der Schutzleiterstromkreis muss auf jeden Fall funktionsfähig bleiben. Optional gibt es bei den Sivacon S8 Lichtbogenbarrieren und zusätzlich isolierte Sammelschienen.

Die Niederspannungs-Schaltanlagen Sivacon S8 sind typgeprüft und somit besonders sicher.

Die Niederspannungs-Schaltanlagen Sivacon S8 bieten höchste Anlagensicherheit durch typgeprüfte Standardbausteine (TSK) aus denen sie konfiguriert werden. Dabei können unterschiedliche Einbautechniken in einem Feld kombiniert werden.

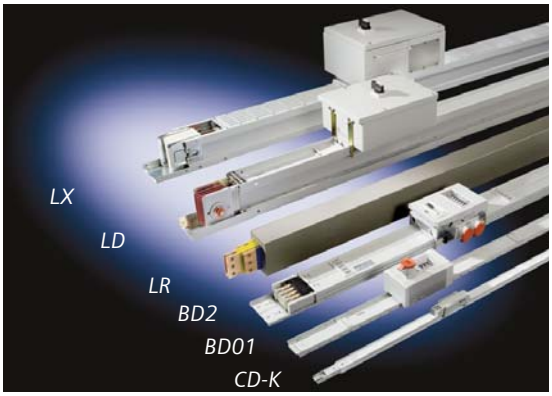
Leistungsschaltertechnik:
Der Vorteil sind klar voneinander getrennte Funktionsräume. Dabei ist die Wahl von Test- und Trennstellung der Leistungsschalter bei geschlossener Tür möglich. Eine Wartungsstellung wird ohne Entnehmen des Leistungsschalters erreicht. Der Kabel- bzw. Schienenanschluss kann von oben, unten und hinten erfolgen. Die Leistungsschaltertechnik erlaubt eine typgeprüfte Anbindung an Schienenverteiler-Systeme vom Typ Sivacon 8PS.
Außerdem haben Anwender dabei die freie Wahl der Einspeiserichtung ohne Einschränkung der technischen Daten. Darüber hinaus gibt es für jeden Leistungsschalter einen separaten Hilfsgeräteraum und somit Platz für umfangreiche Steuerungen und Verriegelungen. Der Hilfsgeräteträger lässt sich vom Leistungsteil trennen und herausnehmen.

Universaleinbautechnik:
Die Universaleinbautechnik erlaubt die Kombination unterschiedlicher Einbautechniken wie zum Beispiel den Festeinbau und die Leistentechnik. Die innere Unterteilung ist bis Form 4b möglich. Die vertikalen, 3- und 4-poligen Feldschienen können einen Bemessungsstrom bis zu 1.120 A führen.

Leistentechnik gesteckt:
Über Adapter lassen sich bis zu zehn Lasttrennschalter 3NJ6 aneinanderreihen. Der Kabelanschluss erfolgt frontseitig. Bis zu 35 Abzweige können pro Feld installiert werden. Die Kurzschlussfestigkeit beträgt 100 kA, das Schaltvermögen S und H. Die Geräte arbeiten mit Doppelunterbrechung, was die Arbeitssicherheit zusätzlich erhöht.
Es gibt die Lasttrennschalter mit und ohne Strommessung (Stromwandler ist in der Leiste integriert). Ein großer Vorteil dieser Geräte ist, dass Zubehör wie Stromwandler, -messer, elektronische Sicherheitsüberwachung, Hilfsschalter jederzeit nachrüstbar sind. Außerdem besitzen sie einen integrierten Berührungsschutz und sind berührungssicher IP20B.
Festeinbautechnik mit Fachtüren:
Es gibt frei bestückbare Geräteplatten und die Bedienung der Leistungs- bzw. Lasttrennschalter kann auf oder hinter der Tür erfolgen. Die Bemessungsströme liegen bei 630 A.
Festeinbautechnik Frontblende
Es gibt Feldbreiten von 600, 1.000 und 1.200 mm. Der Kabelanschlussraum misst 400 oder 600 mm. Es besteht die Möglichkeit der Einzel- und Mehrfachabzweige. Besonders praktisch sind die stufenlos einstellbaren Geräteträger für einen einheitliche Frontebene. Multifunktionsschienen erleichtern den Aufbau von Installationseinbaugeräten.
Leistentechnik fest eingebaut:
Die Kabelabzweige sind 3-polig, der bedingte Bemessungskurzschlussstrom reicht bis 50 kA. Bis zu 14 Abzweige sind pro Feld möglich. Außerdem kann eine Summenstrommessung erfolgen.
Blindleistungskombination:
Die Kondensatorbaugruppen erreichen unverdrosselt Werte bis 200 kvar und verdrosselt bis 100 kvar. Dadurch ergeben sich pro Feld 600 kvar unverdrosselt und 500 kvar verdrosselt. Die Regler-Baugruppe mit elektronischem Blindleistungsregler ist für den Türeinbau konzipiert.
Die typischen Kennzeichen solcher typgeprüften Anlagen sind ihr standardisierter Aufbau und ihre erhöhte Sicherheit. Deshalb gibt es die Schaltanlagen nicht nur zur reinen Energieverteilung als Haupt- oder Unterverteiler, sondern auch als Motor Control Center (MCC) zum Betrieb vieler motorischer Verbraucher.
Die großen Vorteile eines MCC sind neben der erhöhten Sicherheit die extrem kompakte Bauweise, sowie die hohe Wartungsfreundlichkeit. Durch die Verwendung von Einschubtechnik und standardisierter Einschübe lassen sich Stillstandszeiten deutlich minimieren.

Schienenverteiler-Systeme Sivacon 8PS
Vor allem in der Energieverteilung zeigen sich die Stärken von Schienenverteiler-Systemen. Im Gegensatz zur herkömmlichen Kabelinstallation, bei der sich Strom nur an den einmal festgelegten Stellen entnehmen lässt, können bei den Schienenverteiler-Systemen Sivacon 8PS Stromabgänge beliebig variiert werden. An

die in einem engen Raster (0,5 m bzw. 1 m) vorbereiteten Abgangsstellen lassen sich Abgangskästen schnell und einfach anbringen.
Siemens bietet unterschiedliche Schienenverteiler-Systeme an, die von 25 A bis 6.300 A reichen. Einige gibt es nicht nur mit Kupferleitern, sondern auch mit Leitern aus Aluminium.



Das Schienenverteiler-System Sivacon 8PS deckt mit sechs unterschiedlichen Schienentypen den Strombereich zwischen 25 A und 6.300 A ab. Für bestimmte Umgebungen gibt es besondere Lösungen - sogar bis zur Schutzklasse IP68.

Das Schienensystem CD-K ist für Werte von 25 A bis 40 ausgelegt und dient zur Versorgung von Leuchten und Kleinstverbrauchern. Typische Einsatzgebiete sind Warenhäuser, SB-Märkte, Lagerräume oder Reinräume.
Das Schienensystem BD01 reicht von 40 A bis 160 A und eignet sich für die Versorgung von Werkstätten mit Abgängen bis 63 A.
Das Schienensystem BD2 versorgt zwischen 160 A und 1.250 A mittelgroße Verbraucher in Gebäuden und der Industrie.
Das ventilierte System LD von 1.100 A bis 5.000 A ist ideal für den Energietransport und zur Energieverteilung an Produktionsstätten mit hohem Energiebedarf. Typische Einsatzgebiete sind Krankenhäuser, Bahnhöfe, Flughäfen, Messen, Bürogebäude.
Das Sandwichsystem LX von 800 A bis 5.000 A dient vorwiegend zum lageunabhängigen Energietransport in Gebäuden mit den Anforderungen nach Schutzart IP54 und speziellen Leiterkonfigurationen wie doppelter N und isolierter PE. Einsatzgebiete sind Krankenhäuser, Bahnhöfe, Flughäfen, Rechenzentren, Bürogebäude.
Das vergossene System LR von 630 A bis 6.300 A ist prädestiniert für den Energietransport bei extremen Umgebungsbedingungen (IP68). Typische Einsatzgebiete sind Bahnhöfe, Flughäfen, Bürogebäude.
Für die Schienenverteilersysteme gibt es eigene Brandschotts (S90, S120), die eine qualitativ hochwertige Abschottung von Wanddurchbrüchen ermöglichen.
Außerdem erweist sich die Brandlast von Schienenverteiler-Systemen erheblich niedriger gegenüber Kabellösungen (Funktionserhaltklassen E60, E90, E120). Zum direkten Anschluss der Schienen an Niederspannungs-Schaltanlagen gibt es sogar entsprechende Adapterstücke.
Bei Verwendung von Siemens Schaltanlagen und Stromschienen handelt es sich um eine Typgeprüfte Schaltgerätekombinationen (TSK).

Auf einen Blick – Leistungsspektrum Sirius - Sentron - Sivacon

Das gesamte Leistungsspektrum der Niederspannungs-Schalttechnik ist bei Siemens in drei große Produktfamlien untergliedert:

- Sirius Lösungen für die Niederspannungs-Schalttechnik
- Sentron Schalt-, Schutz- und Messgeräte für die Niederspannungs-Energieverteilung
- Sivacon Lösungen für die Niederspannungs-Energieverteilung

Sämtliche Systeme sind modular aufgebaut und aufeinander abgestimmt. Sie folgen damit der Siemens-Maxime von Totally Integrated Automation (TIA) und Totally Integrated Power (TIP). Das bedeutet: Die Komponenten und Systeme lassen sich einfach miteinander kombinieren und erleichtern damit Planung, Projektierung, Installation, Inbetriebnahme und Service.
Siemens arbeitet konsequent daran, die Einsatzmöglichkeiten der Produkte und Lösungen so weit und universal zu halten wie möglich. Außerdem wird bei Entwicklung und Weiterentwicklung streng auf Praxisnähe und den einfachen Umgang mit Geräten geachtet.

Beispiel:
Alle Sirius-Geräte dürfen zum Beispiel bis zu einer Umgebungstemperatur von 60 °C betrieben werden.
Die Farbkennung für Sicherheitsschaltgeräte ist beispielsweise gelb.

Darüber hinaus widmet Siemens den Trends in Industrie und Zweckbau sehr viel Aufmerksamkeit. Neben Profibus und AS-Interface wird die Verbreitung von Profinet, dem Industrial Ethernet, unterstützt. Immer mehr Siemens-Geräte sind mit diesen drei dominierenden Bussystemen ausgerüstet.
Das Gerätespektrum und die Lösungen von Siemens sind so vielfältig, dass hier lediglich die prägnantesten dargestellt werden können. Für ausführliche Informationen gibt es den Gesamtkatalog LV 1. Das gesamte Siemens-Leistungsspektrum finden Sie auch im Internet unter

www.siemens.de/automation

oder

www.siemens.de/lowvoltage

Dort sind alle Produkte, Lösungen, Serviceangebote, Unterstützung - praktisch alles rund um das Thema Automatisierung, Industrielle Schalttechnik, Niederspannungs-Energieverteilung - in einem so genannten "Mastertree" übersichtlich geordnet und leicht zu finden.

	Schütze 3RT: 3- bzw. 4-polig zum Schalten von Drehstrommotoren, sieben Baugrößen von 3 bis 250 kW/400 V, für AC- und DC-Betätigung. Besonderheit: Bei den Baugrößen S6, S10 und S12 können die Spulen am eingebauten Schütz ohne Werkzeug und Lösen der Hauptverdrahtung gewechselt werden. Die Spulen gibt es als konventionellen und elektronischen UC-Antrieb mit und ohne Restlebensdauermeldung sowie mit AS-Interface
	Vakuumschütze 3RT12: Baugrößen S10 und S12 über alle Leistungsklassen von 110 bis 250 kW/400 V kein Lichtbogen und keine Schaltgase; geringer Verschleiß bzw. Abbrand der Hauptkontakte Einsatzbereich: Dort, wo eine besonders hohe elektrische Lebensdauer wichtig ist, wie bei Schweranlauf oder bei Applikationen mit 1.000 V sowie bei hoher Schalthäufigkeit und Staubbelastung
	Hilfsschütze 3RH: Schaltgeräte für Steuer- und Hilfsstromkreise Grundausführung 4-polig, durch aufschnappbare Hilfsschalterblöcke bis auf 8 Pole erweiterbar Hilfsschütze 3RH1 und Motorschütze Baugröße S00 sind gleich groß und haben gleiches Aussehen, für AC- oder DC-Betätigung ausgelegt, mit Schraub- oder Federzugtechnik
	Schützkombinationen: 3RA13 - Wendekombination - für zwei Drehrichtungen. Bestehend aus zwei phasenvertauschten Standardschützen S00 bis S3 komplett verdrahtet; S00 bis S12 als Einzelteile zum Selbstzusammenbau 3RA14 - Stern-Dreieck-Kombination - bestehend aus drei Standard-Schützen und einem Zeitrelais, für AC- und DC-Betrieb, Baugrößen wie bei Wendekombination
	Koppelrelais 3TX7, 3RS18: 3TX7 - AC- und DC-Betätigung, schmale Baubreite bis 6,2 mm, als Relais- und Halbleiterkoppler, Spannungsumsetzung von z. B. 24 VDC auf 230 VAC 3RS18 - mit 1, 2 und 3 Wechslern in Schraubklemmen- und Federzugtechnik im 22,5 mm breiten Gehäuse, Kombi- und Weitspannungsbereich, intern mit Entstördioden bedämpfte Relaisspulen
	Steckrelais LZS: 8-, 11- und 14-polig, als Komplettgerät sowie als Einzelmodule erhältlich, in Schraub- und Federzugtechnik, geprüftes AC15 und DC13 Schaltvermögen, hartvergoldete Kontakte, LZS kompatibel zu LZX, Spannungsumsetzung von z. B. 24 VDC auf 230 VAC, verfügbare Spulenspannungen DC 24 V, AC 24 V, AC 115 V, AC 230 V

	Powerrelais / Kleinschütze 3TG10: Kontaktbestückungen - 4 Schließer oder 3 Schließer + 1 Öffner, hohes Schaltvermögen und Lebensdauer, Schraub- oder Flachsteckanschlüsse 6,3 mm x 0,8 mm, Baubreite 36 mm, AC- und DC-Betätigung, brummfrei, integrierte Beschaltung gegen Abschaltüberspannungen, AC-Betätigung 45 bis 450 Hz,
	Halbleiterschaltgeräte 3RF: Schalten von ohmschen Lasten - Baubreite 22,5 bzw. 45 mm, 1- bzw. 3-phasig, einphasig bis 88 A, dreiphasig 10 bis 50 A, 48 bis 600 V, nullpunktschaltend, Kühlkörper vorhanden, Steuerspannungsbereich 4 bis 30 V, Low-Noise-Ausführung bis 16 A für öffentliche Netze ohne zusätzliche Maßnahmen, mit aufsteckbaren Funktionsmodulen Schalten von Motoren - momentanschaltend, dreiphasig bis 16 A und 7,5 kW, auch als Wendeschütz (bis 3 kW),

	Leistungsschalter 3RV: Überlast- und Kurzschlussschutz, vier Baugrößen bis 100 A, bis 45 kW bei 400 VAC, wie alle Sirius-Geräte bis 60 °C für Dicht-an-Dicht-Bauweise, Überstromauslöser bis 20-facher Bemessungsspannung, I_{CU} bei 400 VAC 50/100 kA, auch mit UL489 bzw. CSA 22.2 No. 5-02 erhältlich, damit lassen sich auch nicht motorische Lasten sicherungslos schützen, 3RV1742 - 10 bis 70 A, 3RV1721 - 0,16 bis 22 A, 3RV1821 - 0,16 bis 20 A
	Thermische Überlastrelais 3RU: für stromabhängigen Überlastschutz von el. Verbrauchern im Hauptstromkreis, I_e bis 100 A, bis 45 kW für Drehstrommotoren 400 VAC, U_e 690 bzw. 1000 VAC, Frequenz 50/60 Hz, Baugröße S00 bis S3, thermischer Überlastauslöser bis 100 A, CLASS 10
	Elektronische Überlastrelais 3RB: modularer Aufbau, strom- und temperaturabhängiger Schutz durch Anschluss eines Kaltleiter(PTC)-Fühlerkreises, Variantenreduzierung durch Einstellbereich von 1:10, Kommunikation über Analogausgang, U_e 690 bzw. 1.000 VAC, bis 450 kW für Drehstrommotoren bei 400 VAC, 50/60 Hz, CLASS 5, 10, 20, 30 einstellbar, elektronischer Überlastauslöser bis 630 A, S00 bis S12,
	Thermistormotorschutz 3RN1: eignen sich in Verbindung mit PTC-Widerständen Typ A (Kaltleiter) zur Temperaturüberwachung von elektrischen Antrieben, Transformatorwicklungen, Ölen, Lager, Luft usw., mit automatischer oder Handrückstellung, mit 1, 2 bzw. 6 Messkreisen und Sammelstörmeldung, für Ex-Bereiche zugelassen, U_e AC/DC 24 V bis AC/DC 240 V, 50/60 Hz, hartvergoldete Kontakte,
	Sitor-Sicherungen 3NE, 3NC, : Sitor-Sicherungen eignen sich für den Überlastschutz von Leitungen und den Kurzschlussschutz von Halbleitern, Sicherungsbemessungsströme von 1 bis 1.250 A, hohe Wechsellastfähigkeit, mit aR und gR Charakteristik, auch als ultraflinke Zylindersicherungen erhältlich (10x38, 14x51, 22x58), auch UL zertifiziert,

	Sanftstarter 3RW: Bemessungsstrom von 3,6 bis 1.214 A, Bemessungsspannung 200 bis 690 V, Motorleistung bei 400 V 1,1 bis 710 kW und bei Wurzel-3-Schaltung 22 bis 1.214 kW, An- und Auslaufzeit 1 bis 360 s, Start-/Stopp-Moment 20 bis 100 %, Drehmomentbegrenzung 20 bis 100 Prozent, 2 bzw. 3 gesteuerte Phasen, optional mit Profibus Kommunikation, auch UL/CSA Approbation,
	Sicherungslose Verbraucherabzweige 3RA: bestehend aus Leistungsschalter 3RV (kurzschlussfest bei 400 V bis 50 bzw. 100 kA) und Schütz 3RT, Leistungsbereich zwischen 0,06 und 250 kW bei 400 V, vorgefertigte Bausätze bis 45 kW, Baugröße S00 bis S3, für sicherungslose Verbraucherabzweige über 100 A können Sentron Leistungsschalter 3VL und Sirius Schütze 3RT verwendet werden,
	Sicherungslose Kompaktabzweige 3RA6: Leistungsschalter/Schütz/elektronisches Überlastrelais in einem, Direkt- (45 mm breit) und Wendestarter (90 mm) bis 32 A (ca. 15 kW/400V), Weiteinstellungs- und Weitspannungs-bereiche, CLASS 10/20 am Gerät einstellbar, verschweißfreie Kontakte, integrierte Funktionalität wie sichere Abschaltung am Lebensdauerende, stehende Verdrahtung, optionales AS-i Anbaumodul, Einspeisesystem 3RA6, kombinierbar mit Einspeisesystem 3RV19
	Einspeisesystem 3RV19: S00 und S0 für Motorabzweige bis 11 kW (25 A), in Federzugtechnik mit Baugröße S00 bis 5,5 kW/400 VAC (12 A), maximale Stromtragfähigkeit 80 A, Einspeisung links oder rechts, Schützsockel, Direkt- und Wendestarter möglich - entweder nebeneinander (90 mm Breite) oder untereinander (45 mm Baubreite), für eine 35-mm-Hutschiene, Erweiterungsstecker für Aneinanderreihen mehrerer Trägerplatten
	Verbraucherabzweige 3RA71 mit integr. Sicherheitstechnik: Für Direktanlauf 230 V 50/60 Hz (Kategorie 3) und 24 VDC (Kategorie 3 und 4), bis 7,5 kW Leistung und 22 A Motorstrom sicherungslos bzw. 11 kW Leistung und 15,5 A Motorstrom sicherungsbehaftet, Erweiterungsgeräte mit und ohne Zeitverzögerung (bis 30 s),
	Motorkompaktstarter AS-Interface: Verbraucherabzweig in Schutzart IP65, für Drehstromverbraucher bis 5,5 kW, für AC 400/500 V, bestehend entweder aus einer elektromechanischen Schaltgerätekombination oder aus einer elektronischen Überlastschutz- und Leistungsschalteinheit (max. 2,2 kW), direkter Anschluss an AS-Interface,

	Motorstarter AS-Interface: DC-24-V-Motorstarter K60, Leistung bis 70 W, drei Varianten: einfach-Direktstarter (ohne Bremse und zuschaltbarer Quickstopp-Funktion) doppel-Direktstarter (mit Bremse und zuschaltbarer Quickstopp-Funktion) Wendestarter (mit Bremse und zuschaltbarer Quickstopp-Funktion), Anschluss über M12-Stecker
	Motorstarter ET200X: Motorstarter - Frequenzumrichter - Pneumatik - SPS-Funktionalität, Schutzart IP65/67 (NEMA 4), mit CP142-2 als AS-i-Master einsetzbar, profibusfähig, kanalgenaue Diagnose, Kommunikation 12 Mbit/s, LWL-Schnittstelle, mit CPU, elektromechanischer und elektronischer Motorstarter, max. 5,5 kW bei 400 VAC, max. 6 Motorstarter pro Station, FU bis 1,5 kW bei 380-500 VAC,
	Motorstarter ET200pro optional mit Sicherheitsfunktionen: Als Standard- und High-Feature-Starter, zwei Varianten bis 5,5 kW, Profibus DP/Profinet, Parametrierung über STEP 7 HW-Config, mit optionalem AC 400 V Bremsausgang, 400 V Abschaltmodul, Reparaturschalter, Diagnosefunktionen, fehlersichere Ausführung bis Kat. 4/SIL 3, F-Switch für PROFIsafe, Als High-Feature-Starter mit Sanftstart- und Sanftauslauffunktion, 4 digitale Eingänge, IP65/67, stehende Verdrahtung
	Motorstarter ET200S optional mit Sicherheitsfunktionen: Direkt-, Wende- und Sanftstarter für Drehstrommotoren, Standard bis 5,5 kW, High-Feature bis 7,5 kW, Profibus/Profinet, selbstaufbauender 40/50-A-Energiebus, stehende Verdrahtung, fehlersichere Ausführung Kat. 4/SIL 3, PROFIsafe, Ansteuermöglichkeit für elektromechanische Bremsen, Diagnosefunktionen, CLASS 10/20, Schutzfunktionen, Frequenzumrichter bis max. 4 kW,
	Motor- und Sanftstarter ECOFAST: Wendestarter bis 4kW, Sanftstarter bis 5,5 kW, Sanftstarter mit mehreren Geschwindigkeiten bis 1,5 kW, Profibus DP, AS-Interface, 2 Digitaleingänge, Online-Diagnose, IP65/67, 400 VAC,
	Gekapselte Starter 3RE: Drei Baugrößen, S00 (5,5 kW/12 A), S0 (11 kW/25 A), S2 (22 kW/50 A), Direkt- und Wendestarter (bis 11 kW), 400 VAC, IP65, 50 Hz, Baugröße S00 auch für 60 Hz,

	Motorstarter-System MCU: Kundenspezifische Motorstarter (**M**otor **C**ontrol **U**nit), individuell zusammengestellt, getestet und einbaufertig, Kunststoff- und Metallgehäuse,

	Simocode pro 3UF7: Motormanagementsystem mit unterschiedlichen Steuerfunktionen, Profibus DP, Kompakt als Variante "pro C" und modular als "pro V", mit Bedienbaustein (Display), Strom-/Spannungserfassungsmodul (bis 690 V), Motorvollschutz für Motornennströme bis 820 A (3UF18), CLASS 5...40, riesiges Spektrum an Steuer- sowie Überwachungs- und Diagnose-funktionen, ATEX, UL/CSA, CCC, digitale, Erweiterungs-module, Erdschlussmodul, Temperaturmodul, Analogmodul
	Stromwandler 3UF18 für Überlastschutz: Schutzwandler zur Ansteuerung von Überlastrelais oder zur Verwendung mit Simocode 3UF, Sicherstellung der proportionalen Stromübertragung bis zu einem Vielfachen des primären Nennstroms, Arbeitsbereich bis 820 A, Übersetzung auf das Normsignal 1 A sekundär
	Summenstromwandler 3UL22: U_i 690 V, zulässige Umgebungstemperatur -20 °C bis +55 °C,
	Zeitrelais 3RP, 7PV: Im Industriegehäuse bzw. zum Aufbau auf Schütze, viele unterschiedliche Varianten, bis zu 15 Zeitbereiche einstellbar, auch ansprechverzögert, Zweidrahtausführung, auch als Halbleitervariante, auch rückfallverzögert, Taktgeber, Stern-Dreieck-Funktion, U_s bis 440 V, AC 50/60 Hz, zwangsgeführte Relaiskontakte, plombierbare Abdeckkappe
	Überwachungsrelais 3UG für elektrische und sonstige Größen: Phasenfolge, Phasensymmetrie, Unterspannung, Überspan-nung, Isolationsüberwachung, N-Leiter-Überwachung, ein-phasige Stromüberwachung, cosφ- und Wirkstromüberwachung, Fehlerstromüberwachung, Füllstand und Drehzahl
	Temperaturüberwachungsrelais 3RS10, 3RS11: Analog einstellbare Relais, teilweise mit galvanischer Trennung, max. Messbereich -50 °C bis 1.000 °C, Über- und Unterschreitung der Grenztemperatur, AC/DC 24 - 240 V digital einstellbare Relais, Widerstandssensoren in 2- oder 3-Leitertechnik anschließbar, max. Messbereich -50 °C bis 1.800 °C bzw. 1.830 °F, AC/DC 24 - 240 V

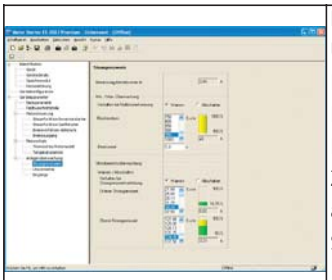
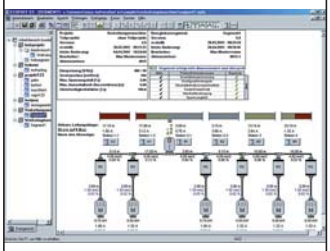
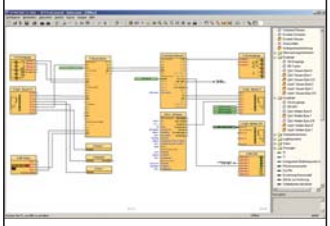
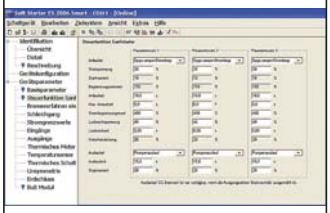
	Thermistormotorschutz 3RN1: Monostabil und bistabil, Ruhestromprinzip, Relais mit hartvergoldeten Kontakten, ATEX-Zulassung für Gase und Staub, AC/DC 24 - 240 V, Variante mit sicherer Trennung bis 300 V, Anzeige von Drahtbruch und Kurzschluss im Fühlerkreis via LED, Schraubanschluss oder Federzugklemme
	Sicherheitsschaltgeräte 3TK282./3.: Zur Überwachung und Auswertung von potenzialfreien sicherheitsgerichteten Sensoren, bis Sicherheitskategorie 4 bzw. SIL 3, Sensorleitung bis max. 2.000 m, Kaskadierung möglich, Verzögerungszeiten 0,5 bis 30 s, Bemessungssteuerspannungen AC/DC 24 V, AC 115 V, AC 230 V,
	Sicherheitsschaltgeräte 3TK2845: Überwachung und Auswertung von potenzialbehafteten und potenzialfreien sicherheitsgerichteten Sensoren. Es können zwei Sensoren gleichzeitig ausgewertet werden. Mit Schlüsselschalterfunktion, umschaltbare Sicherheitslogik (Normal-/Servicebetrieb), 2 elektronische und 2 Relais-Freigabekreise, Bemessungssteuerspannung 24 VDC, Verzögerungszeit 0,05 bis 300 s,
	Sicherheitsschaltgeräte 3TK2826: Für kontaktbehaftete und elektronische Sensoren, einfache Parametrierung, flexibel einstellbar über 8 DIP-Schalter: 1Ö+1S-Auswertung bzw. 2Ö-Auswertung, mit/ohne Querschlusserkennung, 2x 1-kanalig bzw. 1x 2-kanalig, 50 ms/10 ms Entprellzeit für Sensoreingänge, Autostart bzw. überwachter Start Sensoreingang, Autostart bzw. überwachter Start Kaskadiereingang, mit/ohne Anlauftestung, mit/ohne automatischem Anlauf nach Netzausfall
	Sicherheitsschaltgeräte 3TK2840 - 42: Zur Überwachung und Auswertung von potenzialbehafteten und potenzialfreien sicherheitsgerichteten Sensoren, Kaskadiereingang 24 VDC möglich, 1- und 2-kanalig, Bemessungsbetriebsspannung 24 VDC bzw. 230 VAC, Schaltvermögen 2 A (AC-15 bei 230 V) bzw. 1,5 A (DC-13 bei 24 V)
	Modulares Sicherheitssytem 3RK3: Modular aufgebautes Sicherheitssystem, Kat. 4 bzw. SIL 3 bzw. Performance Level e, 8 sicherheitsgerichtete Sensoreingänge, 1 sicherheitsgerichteter Relais-Ausgang, 1 sicherheitsgerichteter elektronischer Ausgang, unterschiedliche Erweiterungsmodule, Profibus-Anschluss über Interfacemodul zur Übertragung von Diagnose- und Gerätezustandsdaten, 24 VDC, Schalthäufigkeit 1.000/h,

	Schnittstellenwandler 3RS17: Koppelfunktion für analoge Signale, galvanische Trennung, Wandlung von normierten und nicht normierten Signalen, Verstärkung und Impedanzanpassung, Eingang: 0...10 V, 4...20 mA, 0...20 mA, 2...10 V, 0...20 mA und viele weitere durch Universalwandler, Mehrbereichs- und Universalwandler umschaltbar
	Relaiskoppler 3RS18: Weitspannungsbereich AC/DC 24 V bis 240 V, 22,5 mm breit, mit 1, 2, und 3 Wechslern, Schraubklemmen- und Federzugtechnik, hartvergoldete Kontakte und deshalb prädestiniert für Ein- und Ausgänge an SPS, stehende Verdrahtung, 2 Leiter pro Klemmstelle möglich, Us 50/60 Hz,

	Positionierschalter 3SE, 3SF: Positionsschalter mit drehbaren Antriebsköpfen in 22,5°-Schritten, mit Status-LED, Einfache Steckmontage der Antriebsköpfe durch einheitliche Schnittstelle, integrierter AS-i-Knoten, Strombelastung ≤ 170 mA, auch für sicherheitsgerichtete Aufgaben bis Kat. 4 bzw. SIL 3, Positionsschalter mit getrenntem Betätiger, Positionsschalter mit Zuhaltung, Zuhaltekräfte bis 2.600 N, Entriegelungsvarianten, Scharnierschalter, 2x3 Kontakte sind Standard, Metall- und Kunststoffgehäuse
	Scharnierschalter 3SE: zwei Gehäusegrößen in Kunststoff und Metall, 2- oder 3-polige Schaltelemente, Metallgehäuse für Explosionsschutz (ATEX), ASIsafe, Antrieb mit Hohlwelle, Durchmesser innen 8 mm - außen 12 mm, Antrieb mit Vollwelle, Durchmesser 10 mm, Schaltwinkel 15°,
	Magnetschalter 3SE6: Der berührungslose Magnetschalter besteht aus einem codierten Schaltmagnet und einem Schaltelement (Gebereinheit), zwei potenzialfreie Freigabekreise als Schließerkreise und ein potenzialfreier Meldekreis als Öffnerkreis, IP67, mit Leitung bzw. M8- bzw. M12-Stecker,

	Drucktaster und Leuchtmelder 3SB: Nenndurchmesser 16 und 22 mm, Kunststoff- und Metallausführung, 1- und 2-polig, Anschlüsse: Steckverbindung - Schraubanschluss - Federzugklemmen - Lötstifte - AS-Interface, Besondere Betätiger: Koordinatenschalter - Doppeldrucktaster - Potentiometerantrieb, rund und quadratisch
	Gehäuse 3SB3: Kunststoff und Metall, Leuchtmelder und akustische Melder, Schaltelemente 1-, 2-, 3- und 4-polig, unterschiedliche Betätigervarianten, Anschlüsse: Schraubanschluss - Federzugklemmen - angegossene Leitung - Steckverbindung - AS-Interface
	Zweihand Bedienpulte 3SB3: Kunststoff- und Metallgehäuse, 1- und 2-polige Schaltelemente, Schraubanschluss
	Seilzugschalter 3SE7: Metallgehäuse, Leuchtmelder, 2- und 4-polig, Schraubanschluss, Betätiger: NOT-HALT-Pilzdrucktaster und Seilzug
	Fußschalter 3SE: Kunststoff- und Metallgehäuse, 2-, 3- und 4-polig, Schraubanschluss bzw. angegossene Leitung
	Signalsäulen und Einbauleuchten 8WD: Kunststoffgehäuse, Beleuchtung: Glühlampe - LED - Blitzlicht, Anschlüsse: Schraubanschluss - Federzugklemmen - AS-Interface Einbauleuchten nur Schraubanschluss

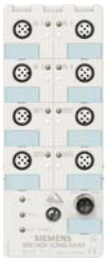
	Transformatoren: Einphasentransformatoren: Sicherheits-, Trenn-, Steuer- und Netztransformatoren, Leistungstransformatoren, Spannungskonstanthalter, Stelltransformatoren Dreiphasentransformatoren: Sicherheits-, Trenn-, Steuer- und Netztransformatoren, Leistungstransformatoren, Spartransformatoren, Spannungskonstanthalter, Stelltransformatoren
	Stromversorgungen: Ungeregelte und geregelte Stromversorgungen, gesiebt (unter 5 % Welligkeit, 1 und 3 Phasen) zur Versorgung elektronischer Steuerungen, ungesiebt zur Versorgung allgemeiner Lasten, auch UL-Zulassungen, Bemessungseingangsspannung 120 bis 500 VAC, Bemessungsausgangsspannung 5 bis 52 VDC

	**Motor Starter ES:** Unterstützungstool zur Inbetriebnahme, Parametrierung, Diagnose, Dokumentation und vorgebeugenden Wartung der High-Feature-Motorstarter von Simatic ET200S, ET200pro und ECOFAST, Zugriff über serielle Geräteschnittstelle bzw. Profibus, als Stand-alone-Programm oder über einen Objektmanager in STEP 7 ab V5.1 SP3 integriert
	**ECOFAST ES:** Projektierungstool zur Konfiguration, Berechnung und Dokumentation von Motorstartern der ECOFAST-Familie, grafische Oberfläche zur Auswahl und Verschaltung der Energiebus-Teilnehmer, automatische Schnittstellen- und Funktionsprüfung, Kabeleigenschaften und Verlegebedingungen werden mit einbezogen, Steckverbindungen werden automatisch angepasst
	**Simocode ES:** Software als “Smart” und als “Professional”, zentrale Software für Inbetriebnahme, Betrieb und Diagnose von Motormanagementgeräten Simocode pro, einfaches Arbeiten über grafische Oberfläche des Grafikeditors (Simocode ES Graphic), Online-Parametrierung, übersichtliche Darstellung wichtiger Informationen, Software kann alleine genutzt oder in Simatic STEP 7 eingebunden werden
	**Soft Starter ES:** Softwareprogramm zur Inbetriebnahme, Parametrierung, Diagnose und Dokumentation der Sirius Sanftstarterreihe 3RW44 für High-Feature-Anwendungen, “Smart”: Zugriff über PC oder PG “Professional”: Zugriff zusätzlich über Profibus

	Sicherheitsmonitor AS-Interface: Überwacht sichere Teilnehmer und verknüpft sichere Eingänge, Kat. 4 bzw. SIL 3, sorgt für die sichere Abschaltung, mit 1 oder 2 Freigabekreisen erhältlich, erweiterter Sicherheitsmonitor mit erweitertem Arbeitsspeicher und erweitertem Funktionsumfang, einfache Konfiguration über PC-Software “asimon”
	Sichere Module - Kompaktmodul K45F / K45F LS: K45F: Anschluss von kontaktbehafteten Schaltern/Sicherheitssensoren, wahlweise zwei sichere Eingänge, zwei sichere Eingänge/zwei Standard-Ausgänge oder vier sichere Eingänge K45F LS (light sensor): speziell für elektronische Schalter/Sicherheitssensoren mit testenden Halbleiterausgängen
	Sichere Module - Kompaktmodule K20F: 2 sichere Eingänge, M12-Buchsen, besonders schmale Bauweise, niedriges Gewicht, Anschluss an AS-Interface über Rundleitung mit M12-Kabeldose, ideal für Montage auf bewegten Maschinenteilen
	Sichere Module - SlimLine-Modul S22.5F: Zwei sichere Eingänge plus zwei zusätzliche Standard-Ausgänge, abnehmbare Klemmen, IP20, beide Eingänge können separat belegt werden, für Sicherheitskategorie 4 steht ein zweikanaliger Eingang zur Verfügung
	Sichere Positionsschalter 3SF1: Integrierte ASIsafe-Elektronik, Anschluss an AS-Interface über M12-Stecker, geringe Belastung der Datenleitung (max. 170 mA), unterschiedliche Varianten mit Antriebsköpfen, getrennter Betätiger, Zuhaltung, unterschiedliche Arten der Entriegelung
	Seilzugschalter 3SF2: IP65, Kat. 4 bzw. SIL 3, mit getrenntem Betätiger oder mit Zuhaltung bzw. formstoff- oder metallgekapselt

	Lichtvorhänge und -gitter: IP65, Kat. 2 bzw. Kat. 4, integrierte Muting-Funktion, Lichtvorhänge (8 bis 240 Strahlen, Auflösung 14, 30, 50 mm, Reichweite 6 oder 18 m), Lichtgitter (2, 3 oder 4 Strahlen, Strahlabstand 500, 400, 300 mm, Reichweite bis 18 bzw. 70 m), ASIsafe-Lichtvorhänge mit integriertem Funktionspaket (über Einstellschalter deaktivierbar),
	Laserscanner LS4: Rundumschutz bis Kat. 4, Arbeitsumfeld 190°, Distanz bis zu 4 m (in nicht sicherheitsgerichteten Anwendungen bis 15 m), bis zu vier programmierbare und umschaltbare Schutzfeldpaare, ASIsafe und PROFIsafe, separate 24 VDC notwendig, Parametrierung über Software “LS4soft”,
	NOT-HALT-Taster: IP65/67, Metall- und Kunststoffausführung (1,2,3,4 oder 6 Befehlsstellen), direkter Anschluss an AS-Interface und komplett verdrahtet geliefert, feste Standard-Bestückung oder individuell zusammengestellt lieferbar (Konfigurator unter www.siemens.de/sirius-befehlen)
	F-Adapter 3SF5: Zur Anbindung eines NOT-HALT-/NOT-AUS-Befehlgeräts nach ISO 13850 bzw. EN 418 aus der Baureihe 3SB3 an AS-Interface, Kat. 4 bzw. SIL 3, zwei Ausführungen: ohne zusätzlichen Ausgang bzw. mit einem Ausgang zur Ansteuerung eines Leuchtmelders mit LED,

	Kommunikationsprozessoren: Bis zu 62 AS-i-Slaves anschließbar, integrierte Analogwertübertragung, CP 243-2: Masteranschluss der Simatic S7-200 an AS-Interface CP 343-2 P: Master für die S7-300 und das dezentrale Peripheriegerät ET200M, der Kommunikationsprozessor besitzt Statusanzeigen der Betriebszustände und Anzeigen der Funktionsbereitschaft von angeschlossenen Slaves mit LEDS in der Frontplatte
	DP/AS-i F-Link: Dolmetscher zwischen AS-Interface und Profibus, sichere Kommunikation von sicheren Sensoren mit der überlagerten F-SPS, einfache zellenübergreifende Zusammenführung mehrerer ASIsafe-Netze, arbeitet gemäß AS-i Spec. 3.0, in STEP 7 Distributed Safety integriert, gleiches Handling von ASIsafe-Slaves wie von PROFIsafe-Slaves, Kat. 4 bzw. SIL 3
	IE/AS-i Link PN IO: Profinet IO-Device (nach IEC 61158) und AS-i Master (gemäß AS-i Spec. 3.0 nach EN 50295 und IEC 62026-2), als Einfach- und Doppelmaster erhältlich zum Anschluss von je 62 AS-i Slaves, wireless Anbindung an Industrial Ethernet, integrierte Erdschlussüberwachung für die AS-i Leitung, vollgrafisches Display, performante integrierte Analogwertübertragung
	DP/AS-i Link Advanced: Kompakter Netzübergang zwischen Profibus und AS-Interface, Einfach- und Doppelmaster für je 62 AS-i Slaves, integrierte Analogwertübertragung, integrierte Erdschlussüberwachung für die AS-i Leitung, Webinterface,
	DP/AS-i Link 20E: Verbindet Profibus und AS-Interface, bis zu 62 AS-i Slaves mit je 4 Ein- und 3 Ausgängen anschließbar, integrierte Analogwertüertragung, AS-i Spezifikation V2.1

	E/A-Kompaktmodul K60: IP65/67 erhältlich, ATEX für Ex-Zone 22, Anschlussbuchsen M8/M12, verpolsichere Kontaktierung, A/B-Technik, AS-i Spec. 3.0, z. B. 4 digitale Eingänge und 4 digitale Ausgänge bzw. 8 digitale Eingänge und 2 digitale Ausgänge, UL- und CSA-Approbation
	**E/A-Kompaktmodul K60R:** IP68/69K, Rundleitungsanschluss, M12-Stecker, verschärfter Test gegenüber IP67, Salzwassertest, Test mit besonders kriechfähigem Öl, Test mit Bohremulsion, Test im Ölbad, Reinigung mit Hochdruckreiniger gemäß IP69K
	E/A-Kompaktmodul K45: IP65/67, 4 digitale Eingänge oder 4 digitale Ausgänge oder zwei digitale Ein- und Ausgänge, M12- oder M8-Anschlüsse bzw. Schnappanschlüsse für die Eingänge, Umgebungstemperatur -25 °C bis +85 °C, für 2- und 3-Leiter-Sensoren, AS-i Spec. 2.1
	E/A-Kompaktmodul K20: IP67, Baubreite 20 mm, 4 Eingänge, 2 Eingänge/2 Ausgänge, 4 Eingänge/4 Ausgänge (AS-i Spec. 3.0), 4 Ausgänge, AS-i Spec. 2.1, M8- oder M12-Buchsen, AS-i Leitung und Hilfsenergie 24 VDC in einer Rundleitung,
	Datenkoppler K60: IP67, Gerät für den einfachen Datenaustausch zwischen zwei AS-i Netzen, es enthält zwei voneinander getrennte AS-i Slaves, jeder der beiden Slaves wird jeweils mit einem der beiden AS-i Netze verbunden, damit können vier AS-i Bits bidirektional von einem zum anderen AS-i Netz ohne “Umweg” übertragen werden, 2x4 Status-LEDs
	E/A-Analogmodul K60: einfache Handhabung, bis zu vier Analogwerte pro Modul, Fast-Analogmodule mit AS-i Spec. 3.0, 12-bit bzw. 14-bit Auflösung einstellbar, ein- oder zweikanalig über den ID1-Code wählbar, die Übertragungszeiten halbieren sich je nach gewählter Auflösung

	Schaltschrankmodul SlimLine S22.5 / S45: IP20, schmale Bauform (22,5 bzw. 45 mm breit), Schraub- oder Federzugklemmen, LEDs zur Zustandsanzeige, auch AS-i Spec. 3.0, 4 Eingänge bzw. 4 Ausgänge bzw. 2 Ein-/ 2 Ausgänge (22,5 mm) oder 4 Eingänge/4 Ausgänge (45 mm),
	Modul F90: IP20, besonders flache Bauform, bis zu 16 Eingänge über Multiplexverfahren (vier Gruppen je vier Eingänge), Schraubklemmen bzw. Combicon-Stecker, LEDs, 4 Eingänge/ 4 Ausgänge potentialfrei, Strombelastbarkeit 1 A bzw. 2 A,
	Flachmodul: IP20, extrem flache Bauform (18,5 mm), 4 Eingänge/ 4 Ausgänge, Zustands-LED, AS-i Spec. 2.0
	Zählermodul: IP20, Auswertung von Impulsen, Zählfolge immer von 0 bis 15, Übertragung von hexadezimal codierten Zählwerten, abnehmbare Schraub- oder Federzugklemmen, AS-i Spec. 2.0, 1 Eingang
	Erdschlusserkennungsmodul: Zur Erfüllung der EN 60204, falls nicht schon die neue Generation von IP20 Netzteilen verwendet wird, die diese Funktion integriert haben, mit dem Gerät lassen sich Erdschlüsse in AS-i Anlagen sicher erkennen und rückmelden
	Überspannungsschutzmodul: Das Überspannungsschutzmodul schützt nachgeschaltete AS-i Geräte oder einzelne Anlagenabschnitte in AS-i Netzen vor leitungsgebundenen Überspannungen, die durch Schaltvorgänge und entfernte Blitzeinschläge hervorgerufen werden können

	Kommunikationsmodule für die Leiterplattenmontage: IP00, 4 Eingänge/4 Ausgänge bzw. 4 Eingänge, stehende oder liegende Montage, konventionelle Verbindung mit Lötstiften, Card Edge Board-to-Board-Connector-Direktstecker
	DC-24-V-Motorstarter AS-Interface: DC-24-V-Motorstarter K60, Leistung bis 70 W, drei Varianten: einfach-Direktstarter (ohne Bremse und zuschaltbarer Quickstopp-Funktion) doppel-Direktstarter (mit Bremse und zuschaltbarer Quickstopp-Funktion) Wendestarter (mit Bremse und zuschaltbarer Quickstopp-Funktion), Anschluss über M12-Stecker
	Motorkompaktstarter AS-Interface: Verbraucherabzweig in Schutzart IP65, für Drehstromverbraucher bis 5,5 kW, für AC 400/500 V, bestehend entweder aus einer elektromechanischen Schaltgerätekombination oder aus einer elektronischen Überlastschutz- und Leistungsschalteinheit (max. 2,2 kW)
	Motor- und Sanftstarter ECOFAST: Intern komplett vorverdrahteter Verbraucherabzweig, Wendestarter bis 4kW, Sanftstarter bis 5,5 kW, Sanftstarter mit mehreren Geschwindigkeiten bis 1,5 kW, Profibus DP, AS-Interface, 2 Digitaleingänge, Online-Diagnose, IP65/67, 400 VAC, Han Q4/2 Energiestecker, max. Summenstrom 40 A,
	Sicherungslose Kompaktabzweige 3RA6: Leistungsschalter/Schütz/elektronisches Überlastrelais in einem, Direkt- (45 mm breit) und Wendestarter (90 mm) bis 32 A (ca. 15 kW/400V), Weiteinstellungs- und Weitspannungs-bereiche, CLASS 10/20 am Gerät einstellbar, verschweißfreie Kontakte, integrierte Funktionalität wie sichere Abschaltung am Lebensdauerende, stehende Verdrahtung, einfache Verdrahtungskontrolle und Motordrehrichtung, optionales AS-i Anbaumodul, Einspeisesystem

	Kommunikationsfähige Schütze 3RT10: 3-polig mit Restlebensdaueranzeige, Baugröße S6 (45 kW) bis S12 (250 kW), integrierte AS-i Anschaltung, Hilfsspannung AC/DC 96 V bis 127 V bzw. 200 V bis 277 V, Meldung über AS-Interface bei unterhalb 20 Prozent Restlebensdauer, LED-Anzeigen zusätzlich bei 40 % und 60 % Restlebensdauer
	Drucktaster: IP65/67, Metall- und Kunststoffausführung (1,2,3,4 oder 6 Befehlsstellen), direkter Anschluss an AS-Interface und komplett verdrahtet geliefert, A/B-Technik, feste Standard-Bestückung oder individuell zusammengestellt lieferbar (Konfigurator unter www.siemens.de/sirius-befehlen)
	F-Adapter 3SF5: Zur Anbindung eines NOT-HALT-/NOT-AUS-Befehlgeräts nach ISO 13850 bzw. EN 418 aus der Baureihe 3SB3 an AS-Interface, Kat. 4 bzw. SIL 3, zwei Ausführungen: ohne zusätzlichen Ausgang bzw. mit einem Ausgang zur Ansteuerung eines Leuchtmelders mit LED,
	Signalsäulen und Einbauleuchten 8WD: 3 bzw. 4 Signalelemente, Kunststoffgehäuse, Beleuchtung: Glühlampe (300 mA) - LED (60/45 mA) - Blitzlicht, Anschlüsse: Schraubanschluss - Federzugklemmen - AS-Interface, AS-i-Modul: Strombedarf 50 mA, Summerelement (25 mA), Sirenenelement (100 mA) Einbauleuchten nur Schraubanschluss

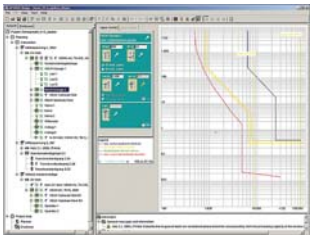
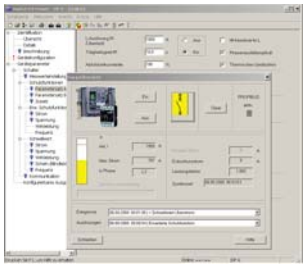
	AS-i Netzteile: Geregelte Gleichspannung von 30 VDC, niedrige Restwelligkeit, IP20, Abstufungen 3 A / 5 A / 8A, Ultraweitbereichseingang bei 8-A-Variante, abnehmbare Klemmenblöcke, integrierte Überlast- und Erdschlusserkennung, Diagnosespeicher, Fernmeldung und Fern-Reset,
	Repeater: IP65/67, zur Verlängerung eines AS-i-Segments um 100 m, Parallelschaltung (mehrere Repeater), Reihenschaltung (max. 2 Repeater), max. mögliche Ausdehnung durch Repeater von 100 m auf 500 m (mit Extension Plug bis 600 m)
	Extender: Arbeitet ähnlich wie Repeater, besitzt jedoch einige Unterschiede dazu, keine galvanische Trennung der beiden AS-i-Leitungssegmente, Reihen- oder Parallelschaltung mehrerer Extender ist nicht möglich, max. ein Extender und ein Repeater in Reihenschaltung einsetzbar, bei Verwendung des AS-i Extension Plug ist die Reihenschaltung von Extender und Repeater nicht erlaubt
	Extension Plug / Extension Plug Plus: Erweiterung eines AS-i-Segments von 100 m auf 200 m, M12-Anschluss, IP67, integrierte Unterspannungserkennung, LED f. Spannungsunterschreitungen, belegt keine AS-i-Adresse, (Spec. 2.0) Extension Plug Plus meldet Unterspannung an SPS, (Spec. 2.1) in der Nähe des Leitungsendes (< 10 m) anschließen
	Adressiergerät: Slave-Daten lesen und schreiben, Adressen 1 bis 31 bzw. 1A bis 31 A und 1B bis 31 B bei erweitertem Adressmodus, ein neu ausgelieferter Slave hat die Adresse 0, Messen der AS-i-Spannung, direktes Setzen von Ausgängen und Einlesen von Slave-Eingängen, Speicherung kompletter Anlagenkonfigurationenen
	Analyser Zur Vor-Ort-Diagnose von AS-i-Netzwerken, zur Qualitäts- und Funktionskontrolle einer AS-i-Installation, RS232-Schnittstelle, Trigger-Funktionen, automatisch erstellte Prüfprotokolle, einfache Fremddiagnose durch Versenden aller Einstellungen per E-Mail, Spec. 2.1, Anzeige der Fehlerraten in einer Ampelfunktion (grün, gelb, rot)

	M12-Abzweige: Praktisches Zubehör, wenn AS-i-Leitung und 24-VDC-Hilfsenergie in einer Rundleitung benötigt wird, einfache Handhabung, es gibt unterschiedliche Arten und Ausführungen solcher Abzweige
	Flachkabelverteiler: Kostengünstige Lösung, optimale Lösung bis zu einem Strom von 6 A,
	Profilleitungen AS-Interface: Trapezförmige zweiadrige Leitung (gelb), Anschluss über Durchkontaktierung, schneller Anschluss bzw. Tausch von AS-i-Geräten, unterschiedliche Materialien wie Gummi / TPE / PUR, Silikon-auscheidungsfrei, auch ozon- und witterungsbeständig, auch ölbeständig, für Spezialanwendungen auch Rundleitung möglich, zusätzliche 24-VDC-Versorgung (schwarze Leitung) für Aktorik, Biegradien 12 mm (fest verlegt) bzw. 24 mm (frei beweglich)

	Energieverteiler S4 und S8/8P: typgeprüfte Standardbausteine (TSK) bis 4.000 A, I_{pk} bis 220 kA Leistungsschaltertechnik bis 3.200 A, Universaleinbautechnik bis 630 A, Leistentechnik bis 630 A, störlichtbogensicheres Verschlusssystem, Sammelschienenlagen oben oder hinten, einfache Änderung des Türanschlags, Kabel-/Schienenanschluss von oben, unten oder hinten, Blindleistungskompensation bis 600 kvar (unverdrosselt) bzw. 500 kvar (verdrosselt)
	Energieverteiler und Motor-Control-Center S8/8P: Typgeprüfte Niederspannungs-Schaltgeräte-Kombination, in Steck- und Einschubtechnik bis 7.400 A, Sammelschienenlage oben oder hinten, I_{pk} bis 375 kA, U_e bis 690 V, U_i bis 1.000 V
	Schienenverteiler-Systeme 8PS: System CD-K: 25 A - 40 A, U_e max. 400 V, bis IP55 System BD01: 40 A - 160 A, U_e max. 400 V, bis IP55 System BD2: 160 A - 1.250 A, U_e max. 690 V, IP55 System LD: 1.100 A bis 5.000 A, U_e max. 1.000 V, IP 34/IP54 System LX: 800 A - 6.300 A, U_e max. 690 V, IP55 System LR: 630 A - 6.300 A, U_e max. 1.000 V, IP68 Aluminium- und Kupferleiter, Standardabstände für Abzweige, geringe Brandlast, einfach Montage
	Systemschränke und Schrankklimatisierung Sicube 8M: Individuelle Schranklösungen, im Raster von 100 mm lieferbar, Höhen 400 mm - 2.400 mm, Breiten 300 mm - 1.800 mm, Tiefen 300 - bis 1.400 mm, 19”-Einbautechnik
	Stromwandler 4NC für Messzwecke: U_m = 720 V, I_{pn} = bis 1.500 A, P_n = bis 10 VA, Frequenz 50 ... 60 Hz, Überstrombegrenzungsfaktor FS5, max. Dauerstrom 1,2xI_{pn}, I_{th} = 60xI_{pn}, I_{dyn} = 2,5xI_{th} oder 150xI_{pn}, max. Stromschienentemperatur +120°C

	Kompaktleistungsschalter 3VL: Einspeise- oder Abzweigschalter, Schutz vor Kurzschluss und Überlast, Festeinbau-, Steck- und Einschubtechnik, Nennstrom 150 A - 1.600 A, Schaltleistungsvermögen bis 100 kA, 2-/3-/4-polige Schalter, AC oder DC, thermisch-magnetische und elektronische Auslösevarianten, kommunikationsfähig über Profibus bzw. Industrial Ethernet, kein Derating bis 50°C bzw. 55°C, auch als UL-zertifizierte Variante
	Offene Leistungsschalter 3WL: Einspeise- und Abzweigschalter, Schutz vor Kurzschluss und Überlast, drei Baugrößen für 100 A bis 5.000 A, Festeinbau oder Einschubtechnik, Schaltleistung 65 kA bis 100 kA, bis 70°C thermisch belastbar, Horizontal-/Vertikal-/Front- oder Flansch-Anschluss, kommunikationsfähig über Profibus bzw. Industrial Ethernet, kein Derating bis 50°C bzw. 55°C, auch als UL-zertifizierte Variante
	Lasttrennschalter mit Sicherung: Schutz gegen Überlast und Kurzschluss, als Haupt- und Not-Aus-Schalter geeignet 3KM bis 400 A, rückseitige Trennkontaktleiste, optimal geeignet für Einbau in Motor Control Center mit senkrecht verlaufenden Stromschienen 3KL bis 800 A 3NJ6 Leistenbauform bis 630 A, integriertes Schaltorgan mit Einfach- bzw. Doppelunterbrechung
	Lasttrennschalter ohne Sicherung: Drei- oder vierpolig, zum Trennen und Schalten unter Last, Haupt-/Not-Aus-/Reparatur- und Netzumschalter, 3LD bis 125 A, 3KA bis 1.000 A, Trennlaschen statt Sicherungen 3KE bis 1.000 A, bewegliche Schaltstücke aus Haupt- und Lichtbogenschaltstücken mit leicht auswechselbaren Abbrandschaltstücken
	Sicherungslasttrennschalter: 3NP bis 630 A, für gelegentliches Schalten/Freischalten von Verbraucherabzweigen 3NJ4 bis 1.250 A in Leistenbauform 3NJ5 bis 1.250 A in Leistenbauform Lastschalten und Trennen in einem Gerät, Überlast- und Kurzschlussschutz durch NH-Sicherungen, horizontaler oder vertikaler Einbau, für gelegentliches Schalten/Freischalten

	Multifunktionsmessgerät PAC3200: Erfasst über 50 elektrische Kenngrößen, Direktanschluss bis 690 V, Frequenz 50 und 60 Hz, Messung an Spannungswandlern, Maße 96x96x56, hohe Messgenauigkeit, Klasse 0,5S gem. IEC62053-22 für Wirkarbeit und Leistung, Datentransfer über Profibus, mehrsprachige Klartextanzeige, werkzeuglose Montage, 10 Energiezähler für Wirk-/Blind- und Scheinarbeit, Hoch- und Niedertarif, Bezug und Abgabe, Messgenauigkeit f. Spannungen und Ströme 0,2 % vom Messwert
	Simatic PCS7 powerrate: Aufzeichnung von Energieflüssen und -kosten, verursachergerechte Darstellung, erfassen von Schaltungen/Schalthandlungen/ Grenzwertverletzungen, Analysemöglichkeiten, Ganglinien, direkter Vergleich mit den Bezugswerten der Energieversorger, 15-Minuten-Zeittakt, Grafik-Objektbibliothek,STEP7-Bausteine zur Ermittlung/Archivierung von Messwerten, Faceplates zur Anzeige und Weiterverarbeitung von Messwerten, Excel-Macros als Auswertefunktionen
	Simatic WinCC powerrate: Im Leitsystem PCS7 integrierte Energieerfassung, Funktionen zur Ermittlung/Archivierung von Messwerten, Faceplates zur Anzeige und Weiterverarbeitung von Messwerten, Excel-Macros als Auswertefunktionen

	**Simaris design:** Zur Dimensionierung elektrischer Energieverteilungen, übersichtliche Abbildung elektrischer Netze, automatische Selektion und Dimensionierung bzw. Überprüfung, Dimensionierung nach technischen Regeln und Normen (VDE, HD/EN, IEC), hinterlegte Produktdatenbank, Aktualisierung per Download, zertifziert durch TÜV Berlin, genaue Bedarfslistenerstellung, Ergebnisdarstellung als komplettes Netzbild
	**Switch ES Power:** Als Stand-alone-Programm oder über einen Objektmanager in STEP7 ab V5.1 SP3 integriert, Parametrierung, Inbetriebnahme, Überwachung im laufenden Betrieb oder vorbeugende Wartung von Leistungsschaltern Sentron 3VL bzw. 3WL, Parameter in Klartext, Onlinehilfe, Auslesen von Statistikdaten, Kommunikation über Profibus-DP (DPV1),

	Kataloge und Informationsmaterial zum Download: Im Informations- und Download-Center finden Sie alle aktuellen Kataloge, Kundenzeitschriften, Broschüren, Demosoftware und Aktionspakete zum Download oder auch wahlweise zum Bestellen www.siemens.de/lowvoltage/kataloge
	Newsletter: Immer up to date: Aktuelle Informationen rund um die Industrielle Schalttechnik und Energieverteilung bietet Ihnen unser regelmäßiger Newsletter. Einfach anmelden unter www.siemens.de/lowvoltage/newsletter
	Konfiguratoren für eine einfache Planung: Das Angebot an Konfiguratoren für den offenen Leistungsschalter 3WL und den Kompaktleistungsschalter 3VL finden Sie unter www.siemens.de/lowvoltage/konfiguratoren
	Mall - E-Business für die einfache Bestellung: Rund um die Uhr Zugriff auf eine umfassende Informations- und Bestellplattform für die Produkte und Systeme der Niederspannungs-Schalttechnik, mehr zum gesamten Siemens-Leistungsspektrum erfahren, Produkte auswählen, Lieferstatus verfolgen oder alles rund um Service, Support oder Training kennen lernen www. siemens.de/lowvoltage/mall
	Sitrain - Training: An zahlreichen Standorten weltweit bieten Trainings-Center individuelle Weiterbildungsprogramme rund um die gesamte Automatisierung sowie industrielle Lösungen, Online-Kurse oder verschiedene Selbstlernsoftware für zeit- und kosteneffizente Wissenserweiterung: www.siemens.de/sitrain-cd Infoline-Telefon: 01805/25 36 11 Fax: 01805/23 56 12
	Service - Technical Assistance: Erfahrene Ingenieure und Techniker helfen weiter, Persönlich von Montag bis Freitag 8.00 bis 17.00 Uhr (MEZ) unter Telefon: +49(911)-895-5900 per E-Mail unter: technical-assistance@siemens.com per Fax: +49(911)-895-5907 www.siemens.de/lowvoltage/technical-assistance
	Online Support: Nähere technische Informationen zu Siemens-Produkten und Systemen der Niederspannungs-Schalttechnik, Produkt-Support, Service & Support-Leistungen mit hilfreichen Support-Tools finden Sie unter www.siemens.de/lowvoltage/support

Einige wichtige elektrische Kenngrößen, Formelzeichen und Indizes für Niederspannung-Schaltgeräte, Drehstrom-Transformatoren und andere Betriebsmittel nach DIN, VDE und IEC

Formel-zeichen	Elektrische Kenngröße
U_i	Bemessungsisolationsspannung[1)] (Reihenspannung) nach DIN VDE 0110, DIN VDE 0660
U_{imp}	Bemessungsstossspannungsfestigkeit nach IEC 947-.
U_e	Bemessungsbetriebsspannung[1)]
U_c	Bemessungswert der Betätigungsspannung, für den der Kraftantrieb oder Auslöser bemessen ist, nach DIN VDE 0660 Teil 102 Spulenspannung des Steuerstromkreises, nach IEC 947-1
U_s	Bemessungssteuerspeisespannung[1)] (Steuerspannung) nach DIN VDE 0660 Teil 102, IEC 947-1
U	Leerlaufspannung nach IEC 947-2, -3, -5
U_r	Betriebsfrequente wiederkehrende Spannung (IEC 947-.)
U_n	Nennspannung (verkettete Spannung) des Netzes nach DIN VDE 0102. Nennspannung[1)] (zwischen den Leiteranschlüssen) einer Wicklung eines Transformators, DIN VDE 0532
U_0	Transformator-Leerlaufspannung nach DIN VDE 0532
U_k	Kurzschlussspannung eines Transformators nach DIN VDE 0532
u_{kr}	Bemessungswert der Kurzschlussspannung eines Transformators in % nach DIN VDE 0102, 01.90
u_{Rr}	Ohmscher Spannungsfall (Transformatoren) nach DIN VDE 0532, DIN VDE 0102
I_n	Bemessungsstrom[1)] nach IEC 947-.
I_{th}	Achtstundenstrom nach DIN VDE 0660, konventioneller thermischer Strom in freier Luft gemäß IEC 947-1 (als Achtstundenstrom definiert), thermisch gleichwertiger Kurzzeitstrom (Effektivwert) nach DIN VDE 0103
I_{the}	Konventioneller thermischer Strom von Geräten im Gehäuse
I_u	Bemessungsdauerstrom[1)] nach IEC 947-1
I_e	Bemessungsbetriebsstrom
I_s	Grenzstrom bei Selektivität (DIN VDE 0660)
I_{cm}	Bemessungs-Kurzschlusseinschaltvermögen[1)], IEC 947-1
I_{cn}	Bemessungs-Kurzschlussausschaltvermögen[1)], IEC 947-1
I_{cs}	Bemessungsbetriebs-Kurzschlussausschaltvermögen, IEC 947-1
I_{cu}	Bemessungsgrenz-Kurzschlussausschaltvermögen[1)], IEC 947-1
I_{cw}	Bemessungskurzzeitstromfestigkeit[1)]
I_p	Prüfstrom (allgemein) gemäß DIN VDE 0660, prospektiver Strom gemäß DIN VDE 0636
I_a	Ausschaltwechselstrom (Effektivwert) gemäß DIN VDE 0102
i_p	Stosskurzschlussstrom (größter Augenblickswert) gemäß DIN VDE 0102
I''_k	Anfangs-Kurzschlusswechselstrom (Effektivwert), DIN VDE 0102
I_k	Dauerkurzschlussstrom (Effektivwert), DIN VDE 0102, Bemessungskurzzeit-strom[1)] gemäß DIN VDE 0660
i_D	Durchlassstrom von Sicherungen und schnell arbeitenden Schalteinrichtungen (größter Augenblickswert während der Ausschaltzeit) gemäß DIN VDE 0102

[1)] Mit Inkrafttreten der neuen DIN VDE-Vorschriften, die auf IEC 947-. basieren, wurden die Nennwerte von Niederspannungs-Schaltgeräten durch Bemessungswerte/-daten ersetzt.

Formelzeichen	Elektrische Kenngröße
I_0	Leerlaufstrom auf der Eingangsseite eines Transformators (unbelastete Ausgangsseite) gemäß DIN VDE 0532
I_z	Strombelastbarkeit
I_{cr}	Läuferbemessungsbetriebsstrom (DIN VDE 0660)
I_r	Einstellstrom gemäß DIN VDE 0660
I_B	Übernahmestrom
$I_{\Delta n}$	Nennfehlerstrom[1)] gemäß DIN VDE 0664
S_{nT}	Nennleistung eines Transformators nach DIN VDE 0532 (Scheinleistung in kVA oder MVA)
c	Faktor zur Bestimmung der Ersatzspannung, die den Kurzschluss speist
I_{kK}	Dauerkurzschlussstrom an den Klemmen eines Niederspannungsgenerators unter Einwirkung der Erregereinrichtung
R	Wirkwiderstand, Resistanz
R_{sG}	Für den Stosskurzschlussstrom maßgeblicher Wirkwiderstand eines Generators unter Berücksichtigung des abklingenden Kurzschlusswechselstroms
S''_k	Anfangs-Kurzschlusswechselstromleistung (vereinfachend: Kurzschluss-Scheinleistung)
$ü_n$	Transformator-Nennübersetzung bei der Hauptanzapfung
X	Blindwiderstand, Reaktanz
Z	Scheinwiderstand, Impedanz
χ	Faktor zur Ermittlung des Stosskurzschlussstroms i_p
Indizes der Systeme (an erster Stelle angebracht)	
1	Mitsystem
2	Gegensystem
3	Nullsystem
Indizes der Zustände (an zweiter Stelle angebracht)	
"	Hochgestellter Index: Im Anfangszustand (subtransienter Wert)
k	Kurzschluss Wenn kein besonderer Index angegeben ist, wird immer der dreipolige Kurzschluss verstanden
k_{2p}	Zweipoliger Kurzschluss ohne Erdberührung
k_{1p}	Einpoliger Kurzschluss, Erdkurzschluss
r	Bemessungswert
n	Nennwert[1)] (DIN 40 200, DIN 1304 Teil 1 u. Teil 3)
Indizes der Betriebsmittel (vorzugsweise große Buchstaben, an letzter Stelle angebracht)	
A, B (C)	Sammelschienen im Niederspannungsnetz, Anlage
E	Erde
F	Fehlerstelle, Kurzschlussstelle
G	Generator
K	Klemme
L	Leitung (Freileitung oder Kabel)
M	Asynchronmotorengruppe
N	Sternpunkt des Drehstromsystems
Q	Anschlusspunkt eines Netzes
T	Transformator

[1)] Mit Inkrafttreten der neuen DIN VDE-Vorschriften, die auf IEC 947-. basieren, wurden die Nennwerte von Niederspannungs-Schaltgeräten durch Bemessungswerte/-daten ersetzt.

Elektrische Grundformeln, Kenngrößen und Einheiten

Grundformeln der Elektrotechnik

$U = I \cdot R$		Ohmsches Gesetz
$R = \frac{2 \cdot l}{\chi \cdot q}$		Widerstand (Hin- und Rückleitung)
$R_T = \frac{u_{Rr}}{100} \cdot \frac{U^2}{P}$	$X_T = \frac{u_s}{100} \cdot \frac{U^2}{P}$	Transformatoren
$R_C \sim \frac{1}{F}$	$X_C = \frac{3 \cdot U^2}{P_C}$	Kondensatoren
$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$	$Z = \frac{R}{\cos \varphi}$	Scheinwiderstand, Impedanz
$u_{kr} = \sqrt{u_{Rr}^2 + u_x^2}$		
$W = I^2 \cdot Rt = \frac{U^2}{R} \cdot t = P \cdot t$		Stromwärme
$P = U \cdot I$		Gleichstromleistung
$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$		Wechselstrom-Wirkleistung
$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$		Drehstrom-Wirkleistung
$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$		Wirkungsgrad

	Gleichstrom und Einphasen-Wechselstrom (induktionsfrei, $\cos \varphi = 1$)	Drehstrom
Spannungsfall Δu (in V)		
bei gegebenem Strom	$\Delta u = \frac{2l \cdot I}{\chi \cdot q}$	$\Delta u = \frac{\sqrt{3} \cdot l \cdot I \cdot \cos \varphi}{\chi \cdot q}$
bei gegebener Leistung	$\Delta u = \frac{2l \cdot P}{\chi \cdot q \cdot U}$	$\Delta u = \frac{l \cdot P}{\chi \cdot q \cdot U}$
Leiterquerschnitt q (in mm^2)		
bei gegebenem Strom	$q = \frac{2l \cdot I}{\chi \cdot \Delta u}$	$\Delta u = \frac{\sqrt{3} \cdot l \cdot I \cdot \cos \varphi}{\chi \cdot \Delta u}$
bei gegebener Leistung	$q = \frac{2l \cdot P}{\chi \cdot \Delta u \cdot U}$	$\Delta u = \frac{l \cdot P}{\chi \cdot \Delta u \cdot U}$

Formeln zur Berechnung des Spannungsfalls Δu (vom Anfang bis Ende der Leitung) und des Leiterquerschnitts q.

U_e	Bemessungsspannung in V in Zweileiteranlagen zwischen den beiden Leitern in Gleichstrom-Dreileiteranlagen zwischen den beiden Außenleitern in Drehstromanlagen zwischen zwei Außenleitern)
I	Strom in einer Leitung in A
R	Wirkwiderstand in Ω
R_T	Wirkwiderstand des Transformators
X_T	Blindwiderstand des Transformators (Reaktanz)
u_{kr}	Kurzschlussspannung in %
u_{Rr}	Ohmscher Spannungsfall in %
u_x	Induktiver Spannungsfall in %
W	Elektrische Arbeit in Ws
P	Wirkleistung in W
P_{ab}	Abgegebene Wirkleistung in W
P_{zu}	Zugeführte Wirkleistung in W
P_C	Kondensatorleistung
η	Wirkungsgrad
χ	Leitfähigkeit in $\frac{Sm}{mm^2} = \frac{m}{\Omega mm^2}$ z. B. für Kupfer 55; für Aluminium 35; für Silber 63; für Eisendraht 7 bis 10 bei 20°C
cos φ	Leistungsfaktor
q	Querschnitt der Leitung in mm^2
l	Einfache Länge der zu betrachtenden Leitungsstrecke in m
t	Zeit in s

	Abgegebene Motorleistung (in W)
Gleichstrom	$P_1 = U \cdot I \cdot \eta$
Einphasen-Wechselstrom	$P_1 = U \cdot I \cdot \cos\varphi \cdot \eta$
Drehstrom	$P_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi \cdot \eta$
Wirkungsgrad	$\eta = \frac{P_1}{P_2} \cdot 100\ \%$

Formeln zur Berechnung der elektrischen Wirkleistung von Motoren:

P_1 An der Welle des Motors abgegebene mechanische Leistung entsprechend dem Leistungsschild

P_2 Aufgenommene elektrische Leistung

Nennwert:
Ein geeigneter gerundeter Wert einer Größe zur Bezeichnung oder Identifizierung eines Elements, einer Gruppe oder einer Einrichtung.

Grenzwert:
Der in einer Festlegung enthaltene größte oder kleinste zulässige Wert einer Größe.

Bemessungswert:
Ein für eine vorgegebene Betriebsbedingung geltender Wert einer Größe, der im Allgemeinen vom Hersteller für ein Element, eine Gruppe oder eine Einrichtung festgelegt wird.

Bemessungsdaten:
Zusammenstellung von Bemessungswerten und Betriebsbedingungen. So ist die "Nennspannung" eines elektrischen Netzes ein Wert, der der Bezeichnung dieses Netzes dient. Eine Spannung, die etwa 20 % über der Nennspannung liegt, ist die Grundlage für die Bemessung bestimmter Betriebsmittel im Netz. Dieser Wert ist also die "Bemessungsspannung". In früherer Zeit wurde er "Obere Nennspannung" genannt.

Beachte:

Die Unterscheidung zwischen dem "Nennwert" und dem "Bemessungswert" ist besonders zu beachten und bedingt Korrekturen bei manchen bestehenden Normen.

Hinweis:

[1] Mit Inkrafttreten der neuen DIN VDE-Vorschriften, die auf IEC 947-. basieren, wurden die Nennwerte von Niederspannungs-Schaltgeräten durch Bemessungswerte/-daten ersetzt.

Formelzeichen und SI-Einheiten / Internationales Einheitensystem (SI)
Die Basiseinheiten des Internationalen Einheitensystems (SI) und aus ihnen abgeleitete Einheiten werden von internationalen Fachorganisationen empfohlen und liegen der Normungsarbeit zugrunde. Mit dem "Gesetz über Einheiten im Messwesen" sind sie bindend im geschäftlichen und amtlichen Verkehr.

Basisgröße	Basiseinheit	
	Zeichen	Namen
Länge	m	das Meter
Masse	kg	das Kilogramm
Zeit	s	die Sekunde
Elektrische Stromstärke	A	das Ampere
Thermodynamische Temperatur[1)]	K	das Kelvin
Stoffmenge	mol	das Mol
Lichtstärke	cd	die Candela
[1)] Besonderer Name für das Kelvin bei der Angabe von Celsiustemperaturen ist der Grad Celsius, Einheitenzeichen: °C		

SI-Basiseinheiten

In einem Einheitensystem ist für jede Größe nur eine Einheit vorgesehen. Ein Einheitensystem heißt kohärent (zusammenhängend), wenn die Einheiten des Systems ausschließlich durch Einheitengleichungen miteinander verbunden sind, in denen kein von 1 abweichender Zahlenfaktor vorkommt.
Dezimale Vielfache und dezimale Teile von SI-Einheiten, die durch Vorsätze gebildet wurden, sind definitionsgemäß nicht als SI-Einheiten zu bezeichnen.
Außer den SI-Einheiten und deren dezimalen Vielfachen und Teilen sind gesetzliche Einheiten zulässig, die unabhängig vom Internationalen Einheitensystem definiert sind; Beispiele dafür sind Minute, Stunde, Tag und die Winkeleinheiten Grad (Altgrad) mit Minute und Sekunde sowie Gon (Neugrad). Von den Zeiteinheiten Minute, Stunde, Tag, Jahr und Winkeleinheiten Grad, Minute und Sekunde dürfen mithilfe von Vorsatzzeichen keine dezimalen Vielfachen oder Teile gebildet werden.
1 steht für das Verhältnis zweier gleicher SI-Einheiten.

Zehnerpotenz	Vorsatz	Vorsatzzeichen
10^{21}	Zetta	Z
10^{18}	Exa	E
10^{15}	Peta	P
10^{12}	Tera	T
10^{9}	Giga	G
10^{6}	Mega	M
10^{3}	Kilo	k
10^{2}	Hekto	h
10^{1}	Deka	da
10^{-1}	Dezi	d
10^{-2}	Zenti	c
10^{-3}	Milli	m
10^{-6}	Mikro	µ
10^{-9}	Nano	n
10^{-12}	Piko	p
10^{-15}	Femto	f
10^{-18}	Atto	a
10^{-21}	Zepto	z

Vorsätze für das dezimale Vielfache und deren Bezeichnungen.

Größe		SI-Einheit		Beziehung, Umrechnung
Formel-zeichen	Bedeutung	Zeichen	Name	
Raumgrößen				
l	Länge	m	Meter	
b	Breite	m	Meter	
h	Höhe	m	Meter	
d, δ	Dicke	m	Meter	
a	Abstand	m	Meter	
d, D	Durchmesser	m	Meter	
r	Halbmesser, Radius	m	Meter	
s	Weglänge, Kurvenlänge	m	Meter	
H	Aufstellungshöhe über dem Meeresspiegel (NN)	m	Meter	
A	Fläche, allgemein	m^2	Quadratmeter	10^4 m^2 = 1 ha
Q, q	Querschnitt, Querschnittsfläche	m^2	Quadratmeter	
O	Oberfläche, Kühlfläche	m^2	Quadratmeter	
V	Volumen	m^3	Kubikmeter	
Zeitgrößen				
t	Zeit, Zeitspanne, Dauer	s	Sekunde	
τ	Zeitkonstante	s	Sekunde	
T	Periodendauer, Schwingungsdauer	s	Sekunde	
f, v	Frequenz	Hz[1)]	Hertz	1 Hz = 1/s[1)]
ω	Kreisfrequenz	1/s, s^{-1}	Reziproke Sekunde	$\omega = 2\,\pi f$, $\omega = 2\pi\nu$
n	Drehzahl, Umdrehungs-frequenz	1/min, min^{-1}	Reziproke Minute	
v	Geschwindigkeit	m/s	Meter durch Sekunde	
g	(Örtliche) Fallbeschleu-nigung	m/s^2	Meter durch Sekunde hoch zwei	10^{-2} m/s^2 = 1 Gal
Größen der Mechanik				
m	Masse	kg	Kilogramm	
ρ	Dichte	kg/m^3	Kilogramm durch Kubik-meter	
F	Kraft, Auflagekraft	N	Newton	1 N = 1 kg m/s^2
p	Druck (Kraft durch Fläche), Druck bei Fluiden	Pa bar	Pascal Bar	1 Pa = 10^{-5} bar = 0,1 N/mm^2 1 bar = 10^5 Pa
W	Energie, Arbeit	J	Joule	1 J = 1 Ws = 1 Nm
P	Wirkleistung, Energiestrom	W	Watt	1 W = 1 J/s = 1 Nm/s
S	Scheinleistung	VA	Voltampere	
Q	Blindleistung	var	Var, Voltam-pere reaktiv	
φ	Wärmestrom	W	Watt	1,163 W = 1kcal/h
Größen der Wärmeübertragung				
T	Thermodynamische Temperatur	K	Kelvin	
δ	Celsius-Temperatur	°C	Grad Celsius	$\delta = T\text{-}T_0$ mit T_0 = 273,15 K
ΔT, Δδ	Temperaturdifferenz, Übertemperatur	K, zu-lässig °C	Kelvin, zulässig Grad Celsius	1 K = 1 °C
Q	Wärmemenge	J	Joule	1 J = 1 Ws = 1 Nm

[1)] Hertz (Einheitenzeichen: Hz) bei Angaben von Frequenzen. Es ist der besondere Name für die SI-Einheit reziproke Sekunde (Einheitenzeichen: 1/s)

Größe		SI-Einheit		Beziehung, Umrechnung
Formel-zeichen	Bedeutung	Zeichen	Name	
Elektrische Größen				
Q	Elektrische Ladung	C	Coulomb	Q=n•e (n ganze Zahl, e Elektronenladung ≈ $1{,}6 \cdot 10^{-9}$ C)
φ	Elektrisches Potential	V	Volt	$\varphi = W/Q$ (W Arbeit)
U	Elektrische Spannung, Potentialdifferenz	V	Volt	$U_{12} = \int_1^2 E \cdot ds = \varphi_1 - \varphi_2$ 1 V = 1 W/A = 1 AΩ
E	Elektrische Feldstärke	V/m	Volt durch Meter	$E = F/Q = dU/dx$ (F Kraft)
D	Elektrische Flussdichte, elektrische Verschiebungsdichte	C/m^2	Coulomb durch Quadratmeter	$D = \varepsilon \cdot E$
Ψ	Elektrischer Fluss	C	Coulomb	$\Psi = \int_A D \cdot dA$
ε	Permittivität, Dielektrizitätskonstante	F/m	Farad durch Meter	$\varepsilon = D/E$
ε_0	Elektrische Feldkonstante	F/m	Farad durch Meter	$\varepsilon_0 = 1/(\mu_0 \cdot c_0^2) = 8{,}854188 \cdot 10^{-12}$
ε_r	Permittivitätszahl, Dielektrizitätszahl	1	-	$\varepsilon_r = \varepsilon / \varepsilon_0$
C	Elektrische Kapazität	F	Farad	C = Q/U 1 F = 1 C/V
P	Elektrische Polarisierung	C/m^2	Coulomb durch Quadratmeter	$P = D - \varepsilon_0 E$
P/ε_0	Elektrisierung	V/m	Volt durch Meter	$P/\varepsilon_0 = (\varepsilon_r - 1)\, E$
χ_e	Elektrische Suszeptibilität	1		$\chi_e = P/(\varepsilon_0 \cdot E) = \varepsilon_r - 1$
F_e	Kräfte im elektrischen Feld	N	Newton	$F_{e1} = (Q_1 \cdot Q_2)/(4\pi\varepsilon a^2)$ $F_{e2} = Q \cdot E$
W_e	Energie im elektrischen Feld	J	Joule	$We = \frac{1}{2} D \cdot E \cdot V$ $= \frac{1}{2} E^2 \cdot V = \frac{1}{2} Q \cdot U$ $= \frac{1}{2} Q^2/C = \frac{1}{2} C \cdot U^2$

Größe		SI-Einheit		Beziehung, Umrechnung
Formel-zeichen	Bedeutung	Zeichen	Name	
Elektrische Größen				
I	Elektrische Stromstärke	A	Ampere	I = Q/t für Gleichstrom I = dQ/dt Augenblickswert
S	Elektrische Stromdichte	A/m^2	Ampere durch Quadratmeter	S = I/q
A	Elektrischer Strombelag	A/m	Ampere durch Meter	$A = \Sigma I / l$
G	Elektrischer Leitwert	S	Siemens	$G = 1/R = 1/U = 1/\Omega$
B	Blindleitwert, Suszeptanz	S	Siemens	$B_L = -1/\omega \bullet L$ (bei Induktivitäten) $B_C = \omega C$ (bei Kapazitäten)
Y	Scheinleitwert, Admittanz	S	Siemens	$Y = \sqrt{G^2 + B^2}$, $\tan \varphi = G/B$
χ, γ	Elektrische Leitfähigkeit	S/m	Siemens durch Meter	$\chi = Gl/q$ 1 S/m = 1 (Ωm) = 1 ρ
R	Elektrischer Widerstand	Ω	Ohm	R = 1/G = U/I 1 Ω = 1 V/A =1 s
X	Blindwiderstand, Reaktanz	Ω	Ohm	$X_L = \omega \bullet L$ $X_C = -1/\omega \bullet C$
Z	Scheinwiderstand, Impedanz	Ω	Ohm	$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$, $\tan \varphi = X/R$
ρ	Spezifischer elektrischer Widerstand	Ω	Ohm mal Meter	$\rho = Rq / l$ 1 Ωm = 1 m/S = 1V/A
U	Elektrische Spannung	V	Volt	$U = I \bullet R = I/G$
P	Elektrische Leistung	W	Watt	$P = I^2 \bullet R = U \bullet I$
Q, P_q	Blindleistung	var	Voltampere reaktiv	$Q = I^2 \bullet X = U \bullet I \sin \varphi$
S, P_s	Scheinleistung	VA	Voltampere	$S = \sqrt{P_w{}^2 + Q^2} = U \bullet I$

Größe		SI-Einheit		Beziehung, Umrechnung
Formel-zeichen	Bedeutung	Zeichen	Name	
Magnetische Größen				
Θ	Elektrische Durchflutung	A	Ampere	$\Theta = \int_A S_A \bullet dA = \Phi H_S\, ds$ $\Theta = I \bullet w$
V	Magnetische Spannung	A	Ampere	$V = \int_1^2 H \bullet ds$
H	Magnetische Feldstärke	A/m	Ampere durch Meter	$H = B/\mu$
Φ	Magnetischer Fluss	Wb	Weber	$\Phi = V = V/R_m$ $\Phi = \int_A B \bullet dA$ 1 Wb = 1 Vs
B	Magnetische Flussdichte, magnetische Induktion	T	Tesla	$B = \Phi/A = u_0 \bullet H$ $1\ T = 1 Wb/m^2$
Ψ	Verkettungsfluss, Magnetische Durchflutung	Wb	Weber	$\Psi = \xi w \Phi$
Λ	Magnetischer Leitwert	H	Henry	$\Lambda = \Phi/V$ 1 H = 1 Wb/A
R_m	Magnetischer Widerstand	1/H	1 durch Henry	$R_m = V/\Phi$ 1/H = 1 A/Wb
μ	Permeabilität	H/m	Henry durch Meter	$\mu = B/H$
μ_0	Magnetische Feldkonstante	H/m	Henry durch Meter	$\mu_0 = 4\pi \bullet 10^{-7} = 1{,}256637 \bullet 10^{-6}$
μ_r	Permeabilitätszahl, relative Permeabilität	1		$\mu_r = \mu/\mu_0$
J	Magnetische Polarisation	T	Tesla	$J = B - \mu_0 \bullet H$
M	Magnetisierung	A/m	Ampere durch Meter	$M = J/\mu_0 = (\mu_r - 1) \bullet H$
χ_m	Magnetische Suszeptibilität	1		$\chi_m = M/H = \mu_r - 1$
L	Induktivität	H	Henry	$L = \psi/i = \xi w^2 \Lambda$ 1 H = 1 Wb/A
u_i	Augenblickswert der induzierten Spannung	V	Volt	$u_i = \frac{d\psi}{dt} = L\frac{di}{dt}$ 1 V = 1 Wb/A
F_m	Kräfte im magnetischen Feld	N	Newton	$F_{m1} = i \bullet B/$ $F_{m2} = \frac{\mu_0}{2\pi} \bullet \frac{i_1 i_2}{a} \bullet l$
m	Magnetisches Dipolmoment	Wb m	Weber mal Meter	$m = M/H$
m′	Elektromagnetisches Moment	A m^2	Ampere mal Quadratmeter	$m' = M/B$
W_m	Energie im magnetischen Feld	J(Ws)	Joule (Watt-sekunde)	$Wm = \frac{1}{2}BHV = \frac{1}{2}\psi \bullet i$ $= \frac{1}{2}\psi^2/L = \frac{1}{2}L \bullet i^2$ (V Volumen)

Umrechnung internationaler, britischer und amerikanischer Einheiten
Die Umrechnung internationaler, britischer und amerikanischer Einheiten lässt sich aus den entsprechenden Tabellen ablesen. Ausführliche Umrechnungstabellen von Inch (Zoll) in Millimeter sind in DIN 4890, Febr. 1975 und in DIN 4892, Febr. 1975 angegeben. Eine ausführliche Umrechnung von Millimeter in Zoll enthält DIN 4893, März 1965.
Die folgenden Tabellen zeigen auch einen Vergleich des britischen Kupferdrahtmaßes G mit dem American Wire Gauge (AWG) sowie eine Gegenüberstellung genormter Leiterquerschnitte nach British Standard Wire Gauge (SWG).

Länge							
Einheit		mm	cm	m	in	ft	yd
Millimeter	1 mm =	1	0,1	0,001	0,03937	0,0032808	0,0010936
Zentimeter	1 cm =	10	1	0,01	0,3937	0,032808	0,010936
Meter	1 m =	1000	100	1	39,3701	3,28084	1,09361
inch	1 in =	25,4	2,54	0,0254	1	$0,08333\overline{3}$	$0,02777\overline{7}$
foot	1 ft =	304,8	30,48	0,3048	12	1	$0,333\overline{3}$
yard	1 yd =	914,4	91,44	0,9144	36	3	1
mile	1 mile =			1609,344	63 360	5280	1760
nautical mile	1 nmile =			1852			
1 fathom = 2 yd = 1,8288m; 1 rod = 1 pole = 1 perch = 5,5 yd = 5,0292 m; 1 link = 0,201 168 m; 1 chain = 4 rods = 22 yd = 100 links = 20,1168 m; 1 furlong = 10 chains = 220 yd = 1000 links = 201,168 m; 1 mile = 8 furlong = 80 chains = 1760 yd = 1609,344 m; 1 mil = 0,001 in = 0,0s54 mm; 1 hand = 10,16 cm.							
Fläche							
Einheit		mm^2	cm^2	m^2	in^2	ft^2	yd2
Quadrat-millimeter	1 mm^2 =	1	0,01	0,000001	0,00155	0,0000107	0,00000119
Quadrat-zentimeter	1 cm^2 =	100	1	0,0001	0,154999	0,0010763	0,00011959
Quadrat-meter	1 m^2 =	1 000 000	10 000	1	1 550	10,7639	1,19599
square inch	1 in^2 =	645,16	6,4516	0,00064516	1		
square foot	1 ft^2 =	92 903	929,03	0,0929	144	1	0,1111
square yard	1 yd^2 =	836 130	8 361,3	0,83613	1 296	9	1
1 circular mil = $\frac{\pi}{4}\left(\frac{\text{in}}{1000}\right)^2 = 5{,}06707 \cdot 10^{-4}\ mm^2$ 1 square chain = 404,686 m^2, 1 rood = 1011,71 m^2, 1 circular inch = 5,06707 cm^2							

Volumen					
Einheit		dm^3(l)	in^3	ft^3	yd^3
Kubikdezimeter (1 Liter)	1 dm^3 =	1	61,0237	$35{,}3147 \cdot 10^{-3}$	$1{,}3080 \cdot 10^{-3}$
cubic inch	1 in^3 =	0,01638	1	$0{,}5787 \cdot 10^{-3}$	$24{,}4335 \cdot 10^{-6}$
cubic foot	1 ft^3 =	28,3168	1 728	1	$37{,}0\overline{370} \cdot 10^{-3}$
cubic yard	1 yd^3 =	764,5549	46 656	27	1
UK-Units: 1 bushel = 8 gallons = 36,3687 dm^3(l); 1 quart = 2 pints = 1,1365 dm^3(l); 1 gill = 5 fluid ounces = 142,065 cm^3; 1 fluid drachm = 60 minims = 3,5516 cm^3; 1 UK-gallon = 4 quarts = 4,5461 dm^3(l); 1 pint = 4 gills = 0,5683 dm^3; 1 fluid ounce = 8 fluid drachms = 28,4131 cm^3			US-Units: 1 US-Barrel = 42 US-gallons = 158,987 dm^3(l); 1 US-gallon = 0,8327 UK-gallon = 6,6614 pints = 3,7855 dm^3(l); 1 board foot = 2,35974 dm^3(l); 1 cord (cd) = 3,62456 m^3		

Gewicht			
Einheit		kg	lb (av)[1)]
Kilogramm	1 kg =	1	2,2046
pound (av)[1)]	1 lb (av)[1)] =	0,45359	1
1 ton = 2240 lb (av); 1 shtn = 2000 lb (av); 1 cwt = 112 lb (av); 1 lb (av) = 16 oz (av); 1 grain (av) = 1/7000 lb (av) = 64,7989 mg; 1 dram (av) = 1,7718 g; 1 ounce (oz) = 437,5 grain (av) = 16 dram (av) = 28,3495 g;		1 drachm = 60 grain (av) = 60/7000 b (av) = 3,8879 g; 1 oz (av) = 480/7000 lb (av); 1 lb (av) = 5760/7000 lb (av); 1 stone = 6,35029 kg; 1 quarter = 12.70 kg.	
[1)] avordupois (Handelsgewicht)			

Druck (für Flüssigkeiten, Gase)							
Einheit		bar	at	Torr	mm WS	inch of mercury	foot of water
Bar	1 bar =	1	1,0197	750	10 197	29,53	33,4553
Technische Atmosphäre	1 at =	0,980	1	735,559	104	28,959	32,8084
Torr	1 Torr =	0,00133	0,001359	1	13,5951	-	-
Millimeter Wassersäule	1 mm WS =	98,0665	10^{-4}	73,5559 • 10^{-3}	1	-	-
inch of mercury	1 in of m. =	0,03386	$34{,}531 \cdot 10^{-3}$	-	-	1	1,1329
foot of water	1 ft of w. =	0,02989	$30{,}48 \cdot 10^{-3}$	-	-	0,8827	1
1 Pa = 1 N/m^2 = 10^{-5} bar; 1 MPa = 1 N/mm^2 = 10 bar; 1 atm = 760 Torr = 1,01325 bar;				1 at = 1 kp/cm^2; 1 Torr ≈ 1mm Hg; 1 mm WS = 1kp/m^2.			

Geschwindigkeit

Einheit		m/s	km/h	mile/h	kn
Meter durch Sekunde	1 m/s =	1	3,6	2,2369	1,9438
Kilometer durch Stunde	1 km/h =	0,277$\overline{7}$	1	0,6214	0,5400
Meile durch Stunde	1 mile/h =	0,4470	1,6093	1	0,8690
Knoten	1 kn =	0,514$\overline{4}$	1,852	1,1508	1

1 kn = 1 sm/h;
1 ft/s = 0,3048 m/s;

Norm-Fallbeschleunigung:
g_n = 9,80665 m/s^2 = 32,17405 ft/s^2.

Temperaturen

Grad Celsius °C	-10	-5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+40	+50	+60	+70	+80	+90	+100	+110	+120
Grad Fahrenheit °F	14	23	32	41	50	59	68	77	86	104	122	140	158	176	194	212	230	248

1 °C = 5/9 ϑ - 32 °F;
1 °F = 9/5 ϑ + 32 °C.

Leistung

Einheit		W	kcal/h	Btu/h	ft • lbf/s
Watt	1 W =	1	0,8598	3,4121	0,7376
Kilokalorie durch Stunde	1 kcal/h =	1,163	1	3,9683	0,8578
British thermal unit/hour	1 Btu/h =	0,2931	0,2520	1	0,2162
foot pound force/second	1 ft • lbf/s =	1,3558	1,1658	4,6263	1

1 hp = 550 ft • lbf/s = 0,736 kW;

$$1\ \frac{\text{Btu}}{\text{lbh}} = \frac{5\ \text{kcal}}{9\ \text{kgh}} = 2326\ \frac{\text{J}}{\text{kgh}}$$

1 kcal/h = 1,163 W;
1 SKE[1)] = 7000 kcal = 29,3076 MJ
= 8,141 kWh.

[1)] SKE = Steinkohleneinheit

Kraft

Einheit		N	kp	lbf	pdl
Newton	1 N =	1	0,101972	0,22481	7,2230
Kilopond	1 kp =	9,80665	1	2,20462	70,9316
pound force	1 lbf =	4,44822	0,45362	1	32,1740
poundal	1 pdl =	0,13826	14,0981 • 10^{-3}	31,0810 • 10^{-3}	1

1 tonf (ton force) = 2240 lbf = 9,9640 kN

Gegenüberstellung genormter Bemessungsquerschnitte q_n für eindrähtige und flexible Leiter nach dem British Standard Wire Gauge (SWG) und dem American Wire Gauge (AWG) bzw. Mile Circular Mil (MCM) bzw. kcmil (kilo circular mil)

Bemessungsquerschnitt q_n			Wire-Gauge-Nr.	
eindrähtig	flexibel			
mm^2	mm^2	in^2	SWG	AWG[1)]
0,196	-	0,000304	-	-
0,2	0,2			(24)
0,203	-	0,000314	25	-
0,205	-	0,000317	-	24
0,245	-	0,000380	24	-
0,283	-	0,000438	-	-
0,292	-	0,000452	23	-
0,324	-	0,000504	-	22
0,397	-	0,000616	22	-
0,5	0,5	0,000775	-	(20)
0,519	0,5	0,000802	21	20
0,657	-	0,001018	20	-
0,75	0,75	0,001162	-	(18)
0,811	-	0,001257	19	-
0,821	-	0,001272	-	18
1,0	1,0	0,001550	-	-
1,168	-	0,001810	18	-
1,307	-	0,002026	-	16
1,5	1,5	0,002325	-	(16)
1,589	-	0,002463	17	-
2,082	-	0,003228	16	14
2,5	2,5	0,003875	-	(14)
2,627	-	0,004072	15	-
3,243	-	0,005027	14	-
3,309	-	0,005129	-	12
4	2,5	0,006200	-	(14)
4,289	-	0,006337	13	-
5,260	-	0,008152	-	10
5,481	-	0,008495	12	-
6	4	0,009300	-	(10)
6,818	-	0,010568	11	-
8,302	-	0,012868	11	-
8,365	-	0,012967	-	8
10	6	0,01550	-	(8)
10,507	-	0,01628	9	-
12,972	-	0,02011	8	-
13,296	-	0,02061	-	6
15,700	-	0,02433	7	-
16	10	0,02480	-	(6)
18,700	-	0,02895	6	-
21,150	-	0,03278	-	4
22,773	-	0,0353	5	-
25	16	0,0388	-	(4)
27,27	-	0,0424	4	-

Gegenüberstellung genormter Bemessungsquerschnitte q_n für eindrähtige und flexible Leiter nach dem British Standard Wire Gauge (SWG) und dem American Wire Gauge (AWG) bzw. Mile Circular Mil (MCM) bzw. kcmil (kilo circular mil)

Bemessungsquerschnitt q_n			Wire-Gauge-Nr.	
eindrähtig	flexibel			
mm^2	mm^2	in^2	SWG	AWG[1)]
33,62	-	0,0521	-	2
35	25	0,0542	-	(2)
38,60	-	0,0598	2	-
42,41	-	0,0657	-	1
45,60	-	0,0707	1	-
50	35	0,0728	-	(0)
53,20	-	0,0824	0(1/0)	-
53,51	-	0,0829	-	0(1/0)
61,40	-	0,0952	00(2/0)	-
67,44	-	0,1045	-	00(2/0)
70	50	0,1085	-	(00)
70,12	-	0,1087	000(3/0)	(00)
81,08	-	0,1257	0000(4/0)	-
85,03	-	0,132	-	000(3/0)
95	70	0,147	-	(000)
107,22	-	0,166	-	0000(4/0)
120	95	0,186	-	-
				MCM[1)]
126,68 (120)	-	0,196	-	250
150	120	0,233	-	(300)
152,01	-	0,236	-	300
177,35	-	0,275	-	350
185	150	0,287	-	(400)
202,68	-	0,314	-	400
240	185	0,372	-	(500)
253,35	-	0,393	-	500
300 (304,0)	240	0,471	-	600
354,71	-	0,55	-	700
380,0	-	0,589	-	750
400 (405,36)	300	0,628	-	800
456,04	-	0,768	-	900
500 (506,70)	400	0,785	-	1000
633,38	-	0,982	-	1250
760,05	-	1,178	-	1500
886,7	-	1,374	-	1750
1013,4	-	1,571	-	2000

[1)] AWG American Wire Gauges, amerikanisches Leiter-Normalmaß für Leiterquerschnitte bis 107,2 mm^2

MCM Mile Circular Mil (1 MCM ∧= 0,5067 mm^2) bzw. kcmil, amerikanisches Leiter-Normalmaß für Leiterquerschnitte ab 126,7 mm^2

[2)] Tatsächlicher Querschnitt 47 mm^2

Vergleiche des britischen Kupferdrahtmaßes G (in lb/mile) mit dem American Wire Gauge (AWG)

G[1)]	lb/mile	4	6,5	10	20	40	50	100	160	220
D	mm	0,40	0,51	0,63	0,90	1,27	1,42	2,01	2,54	2,98
AWG[2)]		26	24	22	19	16	-	12	10	-
D	mm	0,40	0,51	0,64	0,91	1,29	-	2,05	2,59	-

1) Als Faustformel gilt für die Umrechnung des Drahtdurchmessers D in das britische Kupferdrahtmaß

$$G = 25 \cdot \left(\frac{D}{mm}\right)^2 \approx \frac{G}{lb/mile}$$

2) Eine um 1 vergrößerte AWG-Zahl entspricht etwa einem auf 89,05 % verkleinerten Durchmesser D

Veränderung der in DIN ISO 2533 festgelegten Werte verschiedener Größen bei unterschiedlicher Höhe über NN (Normatmosphäre nach DIN ISO 2533)

Höhe über NN	Temperatur	Druck	Dichte	Sättigungs-druck	Siedepunkt des Wassers
m	°C	mbar	kg/m³	mbar	°C
0	15	1013	1,226	17	100
500	11,8	955	1,168	13,7	98
1.000	8,5	899	1,112	11	97
2.000	2	795	1,007	7	93
4.000	-11	616	0,819	2,4	87
8.000	-37	356	0,525	0,13	74
15.000	-56,5	120	0,194	-	51
30.000	-56,5	11	0,02	-	15

Relative und absolute Feuchte der Umgebungsluft:
Die Luftfeuchte wird meistens mit einem Hygrometer gemessen, das die relative Luftfeuchtigkeit in Prozent der Sättigung (=100 %) für die jeweilige Raumtemperatur anzeigt. Aus der entsprechenden Tabelle kann die absolute Luftfeuchtigkeit in g/m³ bei gegebener Temperatur und gegebener relativer Luftfeuchte entnommen werden.

Absolute Feuchte der Luft in Abhängigkeit von Temperatur und relativer Feuchte

Temperatur	Relative Feuchte								
	20	30	40	50	60	70	80	90	100%
°C	Absolute Feuchte in g/m³								
0	1,0	1,5	1,9	2,4	2,9	3,4	3,9	4,3	4,8
2	1,1	1,7	2,2	2,8	3,3	3,9	4,4	5,0	5,6
4	1,3	1,9	2,5	3,2	3,8	4,5	5,1	5,7	6,4
6	1,5	2,2	2,9	3,6	4,4	5,1	5,8	6,5	7,3
8	1,7	2,5	3,3	4,1	5,0	5,8	6,6	7,4	8,3
10	1,9	2,9	3,8	4,7	5,6	6,5	7,5	8,5	9,4
12	2,1	3,2	4,3	5,3	6,4	7,4	8,5	9,6	10,7
14	2,4	3,6	4,8	6,0	7,3	8,5	9,7	10,9	12,1
16	2,7	4,1	5,5	6,8	8,2	9,5	10,9	12,3	13,6
18	3,1	4,6	6,2	7,7	9,2	10,7	12,3	13,8	15,4
20	3,5	5,2	6,9	8,6	10,4	12,1	13,8	15,6	17,3
22	3,9	5,9	7,8	9,7	11,7	13,6	15,5	17,5	19,4
24	4,4	6,5	8,7	10,9	13,1	15,3	17,4	19,6	21,8
26	4,9	7,4	9,8	12,2	14,6	17,1	19,6	22,0	24,4
28	5,5	8,2	10,9	13,6	16,3	19,1	21,8	24,5	27,3
30	6,1	9,2	12,1	15,2	18,2	21,3	24,3	27,4	30,4
32	6,7	10,1	13,5	16,9	20,3	23,7	27,1	30,5	33,8
34	7,5	11,3	15,0	18,8	22,6	26,3	30,1	33,9	37,7
36	8,3	12,5	16,7	20,9	25,0	29,2	33,4	37,6	41,7
38	9,2	13,9	18,6	23,2	27,8	32,4	37,0	41,6	46,2
40	10,2	15,3	20,4	25,6	30,7	35,8	40,9	46,0	51,1

Temperatureinflüsse und Wärmeleitung

Spezifischer Widerstand: Den spezifischen Widerstand ρ mit Temperaturbeiwert α und spezifischer Leitfähigkeit verschiedener Metalle wird in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Spezifischer Widerstand ρ mit Temperaturbeiwert α und spezifischer Leitfähigkeit χ bei 20 °C

Stoff	ρ_{20}	α_{20}	χ_{20}
	Ω mm²/m	K^{-1}	m/Ω mm²
Aluminium	0,029	$4{,}1 \cdot 10^{-3}$	34,7
Blei	0,21	$4 \cdot 10^{-3}$	4,8 bis 10
Eisendraht	0,10 bis 0,15	$4{,}5 \cdot 10^{-3}$	6,7
Gold	0,023	$3{,}8 \cdot 10^{-3}$	43,5
Konstantan	0,49 bis 0,51	$\pm 0{,}03 \cdot 10^{-3}$	2,04 bis 1,96
Kupfer	0,0182	$3{,}95 \cdot 10^{-3}$	55
Magnesium	0,043	$4{,}1 \cdot 10^{-3}$	23,2
Manganin	0,42	0,001 bis $0{,}01 \cdot 10^{-3}$	2,4
Messing, CuZn40	≥ 0,067	$2 \cdot 10^{-3}$	≥ 15
Nickelin	0,40 bis 0,44	$0{,}1 \cdot 10^{-3}$	2,5 bis 2,27
NiCr8020	1,09	$0{,}1 \cdot 10^{-3}$	0,92
Quecksilber	0,962	$0{,}99 \cdot 10^{-3}$	1,04
Silber	0,016	$4{,}1 \cdot 10^{-3}$	62,5
Zink	0,06	$4{,}2 \cdot 10^{-3}$	16,7

Wärmeleitung: Der Wärmestrom Φ durch eine ebene Wand mit der Fläche A, der Dicke δ und der Wärmeleitfähigkeit λ ist

$$\Phi = \frac{\lambda \bullet A \bullet \Delta\theta}{\delta}$$

Der Wärmestrom durch die Wandung eines geraden Rohrs mit kreisförmigem Querschnitt (Außendurchmesser d_2, Innendurchmesser d_1) und der Länge l ist

$$\Phi = \frac{2\pi \bullet \lambda \bullet l \bullet \Delta\theta}{\ln(d_2/d_1)}$$

Erzwungene Konvektion: Die turbulente Strömung entlang einer ebenen Wand (l Länge der Wand entlang der Strömung, λ Wärmeleitfähigkeit des strömenden Fluids), beträgt

$$Nu = \frac{\alpha \bullet l}{\lambda} = 0{,}037\ Re^{0,8} \bullet Pr^{0,4}$$

Daraus lässt sich der Wärmeübergangskoeffizient α berechnen, unter Verwendung der Kenngrößen

Nußelt-Zahl: $$Nu = \frac{\alpha \bullet l}{\lambda}$$

Reynolds-Zahl: $$Re = \frac{\theta \bullet l}{\nu}$$

Prandtl-Zahl: $$Pr = \frac{\nu \bullet \rho \bullet c_p}{\lambda}$$

l: Kennzeichnende Länge
θ: mittlere Strömungsgeschwindigkeit
ρ: Dichte des Fluids
ν: kinematische Viskosität des Fluids
c_p: spezifische Wärmekapazität des Fluids bei konstantem Druck

Wärmestrahlung: Der Wärmestrom bei Strahlungsaustausch zwischen zwei diffus reflektierenden Flächen A_1 und A_2 mit den thermodynamischen Temperaturen T_1 und T_2 und dem Emissionsgrad ε_1 und ε_2 beträgt

$$\Phi = \Phi_{12} - \Phi_{21} = \varepsilon_{12} \bullet A_1 \bullet C_s \left[\left(\frac{T1}{100}\right)\right]^4 - \left[\left(\frac{T2}{100}\right)\right]^4$$

mit der technischen Strahlungskonstante des schwarzen Körpers σ

$C_s = \sigma \bullet 10^{-8} = 5{,}67\ Wm^{-2}K^{-4}$

σ: Stefan-Boltzmann-Konstante

Der resultierende Emissionsgrad ε_{12} ergibt sich bei konzentrischen Kugeln zu

$$\frac{1}{\varepsilon_{12}} = \frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{A_1}{A_2}\left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right),\ A_2 > A_1$$

bei einem relativ kleinen Körper in einem großen Raum gilt

$\varepsilon_{12} \approx \varepsilon_1,\quad A_2 >> A_1$

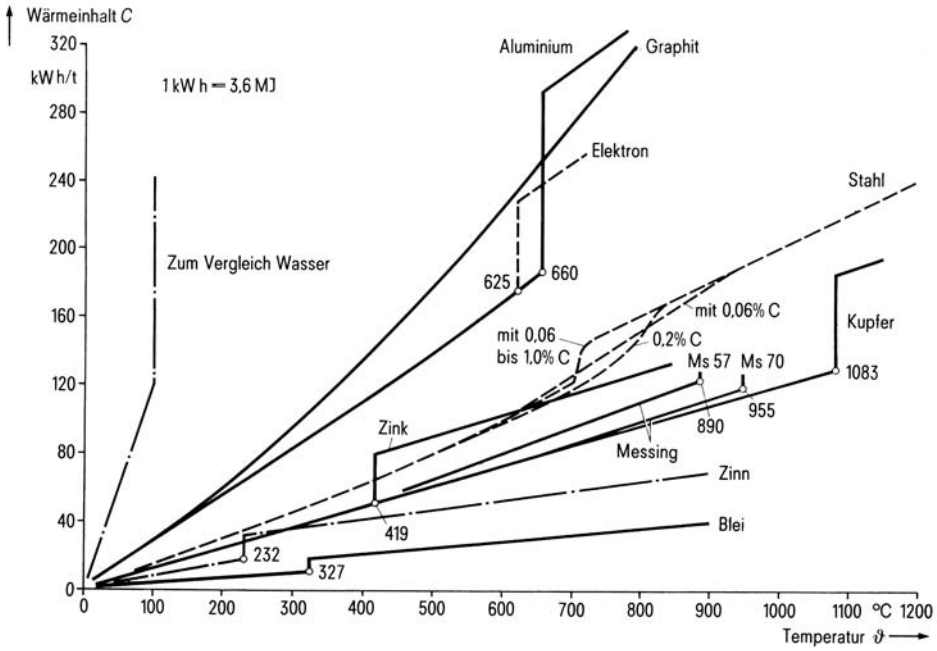
bei parallelen Wänden gilt

$$\frac{1}{\varepsilon_{12}} = \frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1\ ,\ A_2 \approx A_1$$

Bei gerippten Oberflächen darf nicht die ganze Rippenoberfläche als strahlende Fläche eingesetzt werden, sondern nur die dem äußeren Umgang entsprechende Fläche.

Wärmeeigenschaften einiger fester Stoffe					
Stoff	θ_s	ρ	λ	c_w	α
	°C	kg/dm³	W/(K • m)	J/(kg • K)	10^{-6} K^{-1}
Aluminium, techn.	658	2,7	210	910	23,9
Beton, lufttrocken	-	2,2-2,5	0,8-1,3	880	10-14
Eisen (Stahl)	≈1350	7,7-7,9	40-60	460	11-13
Glas	≈1000[1)]	2,2-3,9	≈0,8	500-840	7-10
Kupfer, techn.	1080	8,96	380	386	16,9
Messing (MS67)	900	8,4-8,9	117	380	18,7
Silber, rein	961	10,5	408	237	19,3
Zink	419	7,13	113	390	30

[1)] Verarbeitungstemperatur
θ_s Schmelzpunkt ρ Dichte λ Wärmeleitfähigkeit c_w spezifische Wärmekapazität
α Längenausdehnungskoeffizient



Wärmeinhalt verschiedener Metalle in Abhängigkeit von der Temperatur

Emissionsgrad einiger technischer Oberflächen			
Stoff	Oberfläche	Tempe-ratur °C	Emissionsgrad ε
Schwarzer Körper	-	beliebig	1,0
Aluminium	blank, poliert	20	0,039
Kupfer	blank, poliert	20	0,030
Silber	blank, poliert	20	0,020
Eisen	verrostet	20	0,61-0,85
Kupfer	schwarz oxydiert	20	0,78
Zink	grau oxydiert	20	0,23-0,28
Aluminiumbronzeanstrich		20	0,20-0,40
Emaille-Lacke		20	0,85-0,95
Schwarzer Lack	matt	80	0,97
Mennigeanstrich	matt	100	0,93
Dachpappe		20	0,91-0,93
Eis	glatt	0	0,97
Holz (Buche, Eiche)		20	0,89-0,93
Mauerwerk (Ziegel, Mörtel, Putz)		20	0,93
Porzellan	glasiert	20	0,93
Textilien (Baumwollen, Wolle, Seide)		20	0,78

Anschlussbezeichnungen

Die Anschlussbezeichnungen für Schaltgeräte sind in DIN EN 50005, Juli 1977, sowie in DIN 40719 Teil 2, 06.1978, festgelegt. DIN EN 50005 gilt für industrielle Niederspannungs-Schaltgeräte mit Bemessungsspannungen bis 1.000 V Wechselspannung und bis 1.200 V Gleichspannung. Die Grundlage dieser Norm ist das allgemeingültige Bezeichnungssystem entsprechend der IEC-Publikation 445 (1973).

Hinweis:

Wenn keine genormten Anschlussbezeichnungen vorhanden sind, wird für gleichartige Betriebsmittel, die in Niederspannungs-Schaltgeräte-kombinationen eingesetzt werden, der Gebrauch des gleichen Bezeichnungssystems für die Anschlussbezeichnung empfohlen.

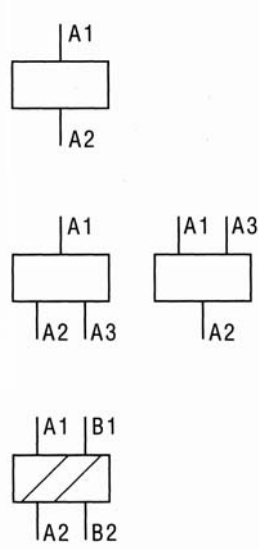
Wenn ein Farbkennzeichen, z. B. nach DIN 41788 am Betriebsmittelanschluss angebracht ist, soll die Zuordnung zu dem entsprechenden Schalt- oder Bildzeichen oder zu dem alphanumerischen Kennzeichen entsprechend dieser Norm aus den zugehörigen Schaltungsunterlagen zu ersehen sein.

In der Norm DIN EN 50005 ist allgemein festgelegt:

- Die Anschlussbezeichnungen an einem Betriebsmittel müssen eindeutig sein, d.h. jede Bezeichnung darf nur einmal auftreten.
- Die Bezeichnungen der unterschiedlichen Anschlüsse eines Stromkreiselements in einer Strombahn müssen ihre Zusammengehörigkeit erkennen lassen.
- Die Anschlussbezeichnungen für Impedanzen (z. B. Spule) sind stets alphanumerisch. Dabei werden vorzugsweise Großbuchstaben verwendet. Werden Kleinbuchstaben verwendet, haben sie die gleiche Bedeutung wie die entsprechenden Großbuchstaben.
- Die Anschlussbezeichnungen eines Schaltglieds sind stets numerisch. Ein Anschluss wird mit einer ungeraden Zahl bezeichnet, die weiteren Anschlüsse des gleichen Schaltglieds durch die unmittelbar folgenden geraden Zahlen.
- Sollen Eingangs- und Ausgangsanschlüsse eines Stromkreiselements besonders bezeichnet werden, dann ist für den Eingang die kleinere Zahl zu wählen (z. B. Eingang 11 und Ausgang 12, Eingang A1 und Ausgang A2).

Hinweis:

Die gezeichnete Lage der Anschlüsse macht keine Aussage über die örtliche Lage dieser Anschlüsse am Betriebsmittel selbst.

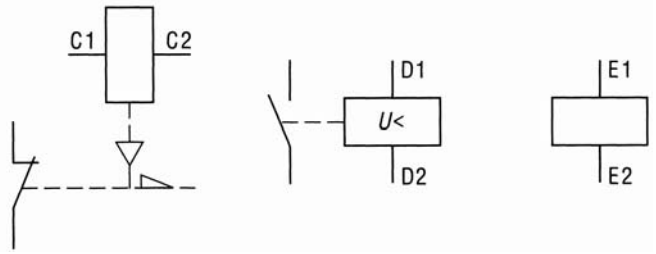


a) Spule mit einer Wicklung - z. B. Spule eines Schützes

b) Spule mit Anzapfungen
Die Anschlüsse der Anzapfungen werden in ihrer Reihenfolge z. B. mit A1, A3 usw. bezeichnet.

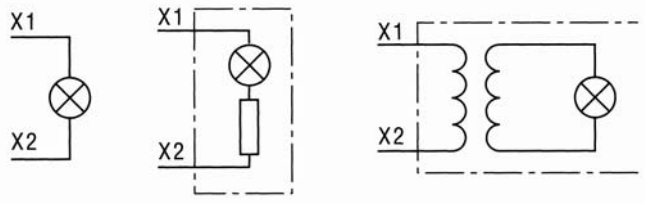
c) Spule mit zwei Wicklungen
Die Anschlüsse der ersten Wicklung werden mit A1, A2 und die der zweiten Wicklung mit B1, B2 bezeichnet.

Anschlussbezeichnungen für Antriebe.



Anschlussbezeichnungen für Hilfsauslöser und Verriegelungsmagnete.

a) Arbeitsstrom-auslöser *b) Unterspannungs-auslöser* *c) Verriegelungs-magnete*



Anschlussbezeichnungen für Leuchtmelder.

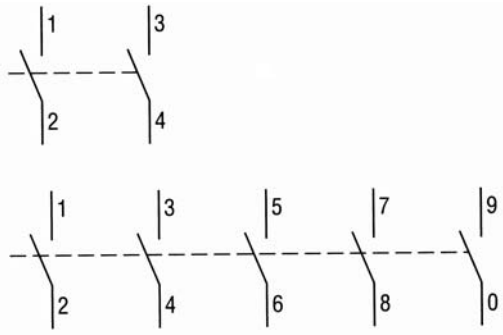
Hinweis:

Der Begriff "Leuchtmelder" schließt einen gegebenenfalls eingebauten Widerstand oder Transformator mit ein.

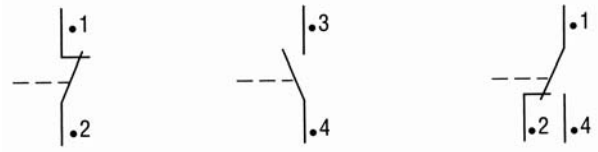
Schaltglieder für Hauptstromkreise:
Schaltglieder für Hauptstromkreise werden durch einziffrige Zahlen gekennzeichnet. Zu jedem Anschluss, der durch eine ungerade Zahl bezeichnet ist, gehört derjenige Anschluss, der die auf diese ungerade Zahl unmittelbar folgende Zahl trägt.

Schaltglieder für Hilfsstromkreise:
Schaltglieder für Hilfsstromkreise werden durch zweiziffrige Zahlen gekennzeichnet, die aus der Funktionsziffer und der vorgestellten Ordnungsziffer bestehen.
Hilfsschaltgliedern mit speziellen Funktionen, z. B. zeitverzögerte Hilfsschaltglieder, werden die Funktionsziffern 5 und 6 für Öffner sowie 7 und 8 für Schließer zugeordnet.

Kennzeichnung der Schaltglieder z. B. für zwei- bis fünfpolige Hauptstromkreise: Hat ein Schalter mehr als fünf Hauptschaltglieder, dann ist die alphanumerische Bezeichnung entsprechend der IEC-Publikation 445 bzw. der harmonisierten nationalen Norm zu wählen.

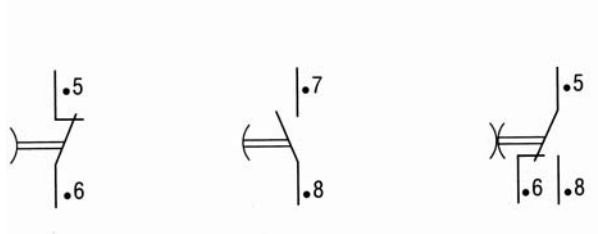


Kennzeichnung der Schaltglieder für Hilfsstromkreise mit Funktionsziffer: Die Ordnungsziffer ist mit einem Punkt angedeutet. Den Öffnern werden die Funktionsziffern 1 und 2, den Schließern die Funktionsziffern 3 und 4 zugeordnet.



a) Öffner *b) Schließer* *c) Wechsler*

Kennzeichnung von Hilfsschaltgliedern mit speziellen Funktionen: Den Hilfsschaltgliedern mit speziellen Funktionen, z. B. zeitverzögerte Hilfsschaltglieder, werden die Funktionsziffern 5 und 6 für Öffner sowie 7 und 8 für Schließer zugeordnet.



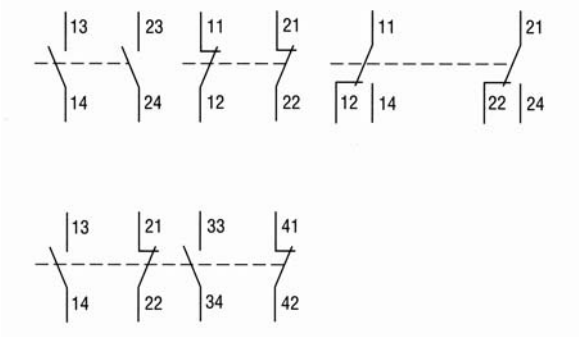
a) Öffner mit zeitverzögerter Schließung

b) Schließer mit zeitverzögerter Schließung

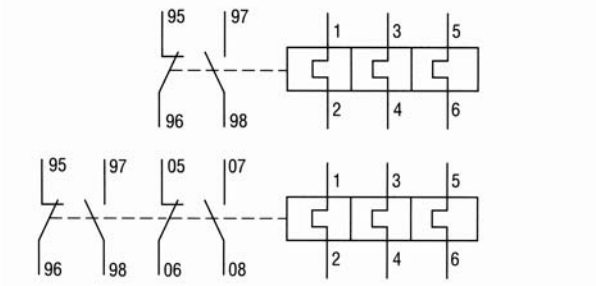
c) In beiden Richtungen zeitverzögerter Wechsler

Zusammengehörige Anschlüsse eines Schaltglieds sind durch die gleiche Ordnungsziffer gekennzeichnet:

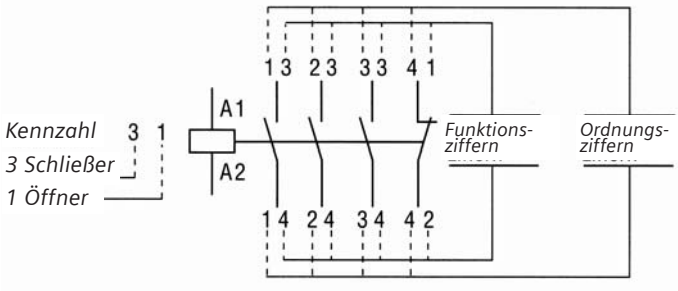
- Bezeichnung der Anschlüsse von Einrichtungen zum Schutz bei Überlast.
- Kennzahlen für Schaltgeräte: Schaltgeräten mit einer festen Anzahl von Hilfsschaltgliedern (Schließern oder Öffnern) darf eine zweiziffrige Kennzahl zugeordnet werden. Die erste Ziffer gibt die Anzahl der Schließer, die zweite die Anzahl der Öffner und eine dritte gegebenenfalls die Anzahl der Wechsler an.



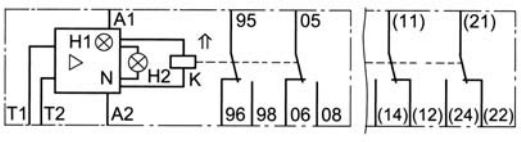
Beispiele für Anschlussbezeichnungen mit Ordnungs- und Funktionsziffern.



Beispiele für Anschlussbezeichnungen von Einrichtungen zum Schutz bei Überlast. Ist eine zweite Ordnungsziffer erforderlich, soll diese Ziffer 0 sein.



Beispiel für die Kennzeichnung eines Hilfsschützes mit der Kennzahl 31.



Der Doppelpfeil ⇑ kennzeichnet einen von der Regeldarstellung abweichenden Betriebszustand des Schaltglieds nach DIN 40900, Teil 7 (Hier Stellung der Schaltglieder bei angelegter Steuerspannung an den Klemmen A1 und A2).

In der Norm DIN EN 50011, Mai 1978, für Anschlussbezeichnungen, Kennzahlen und Kennbuchstaben von bestimmten Hilfsschützen mit einer festgelegten Anordnung der Schaltglieder werden folgende zusätzliche Forderungen gestellt:
Die Zählfolge der Schaltglieder am Gerät erfolgt fortlaufend von links nach rechts: bei mehretagigen Geräten mit der Etage beginnend, die der Montageebene am nächsten liegt.
Anzahl, Art und Lager der Schaltglieder sind durch eine Kennzahl und einen nachfolgenden Kennbuchstaben anzugeben.
Der Kennbuchstabe macht eine Aussage über die Lage der Schaltglieder zueinander und über deren Anschlussbezeichnung.
In dieser Norm werden die Ausführungen der Hilfsschütze mit dem Kennbuchstaben E festgelegt. Zulässige Abweichungen sind durch die Kennbuchstaben X, Y oder Z gekennzeichnet.
Die Anschlussbezeichnungen und Kennzahlen für Hilfsschaltglieder von bestimmten Schützen sind in DIN EN 50012, Mai 1978, festgelegt.

Hinweis:

Anzahl und Art der Hilfsschaltglieder sind in der Norm festgelegt, jedoch nicht in deren Lage am Schütz. Die Lage der Schaltglieder am Befehlsgerät braucht nicht mit derjenigen übereinstimmen, die in der Tabelle gezeichnet ist.

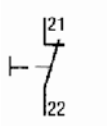
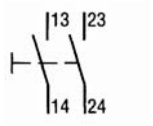
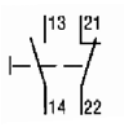
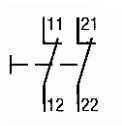
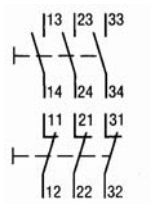
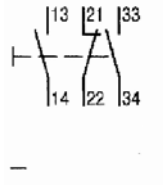
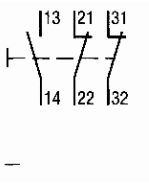
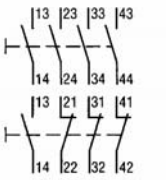
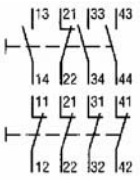
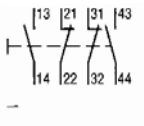
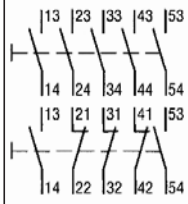
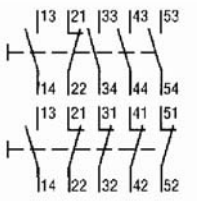
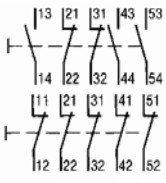
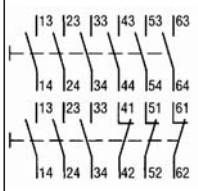
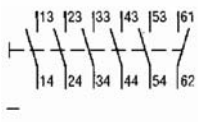
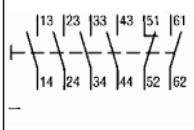
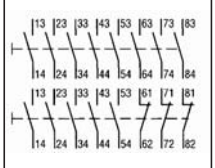
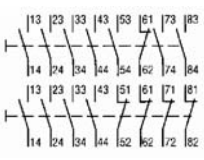
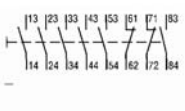
Für Befehlsgeräte gilt DIN EN 50013, Mai 1978. Diese Norm gilt für Befehlsgeräte nach IEC-Publikation 337-1 mit zwei definierten Schaltstellungen, wie Drucktaster, Positionsschalter und ähnliche Geräte - unabhängig von ihrer Bauform - mit Anschlussbezeichnung der Schaltglieder, die mit der Anschlussbezeichnung entsprechender Hilfsschütze mit dem Kennbuchstaben E nach DIN EN 50011 übereinstimmt.

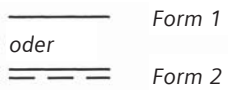
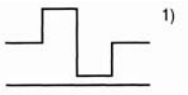
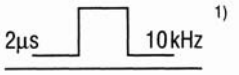
Schaltzeichen nach DIN, IEC, ANSI und BS

Hinweis:

Eine Auswahl von Schaltzeichen nach DIN 40900 Teil 1 bis 13 ist nachfolgend zusammengestellt.

Anschlussbezeichnungen der Schaltglieder von bestimmten Hilfsschützen nach DIN EN 50011, 05.78 (Auszug)

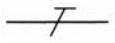
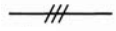
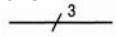
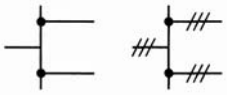
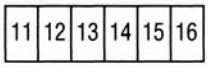
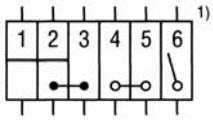
Kenn-zahl	Schaltglieder	Kenn-zahl	Schaltglieder	Kenn-zahl	Schaltglieder
10 E		01 E		-	
20 E		11 E		02 E	
30 E 03 E		21 E -		12 E -	
40 E 13 E		31 E 04 E		22 E -	
50 E 23 E		41 E 14 E		32 E 05 E	
60 E 33 E		51 E -		42 E -	
80 E 53 E		71 E 44 E		62 E -	

Nr.	Schaltzeichen	Beschreibung
02-02-01 02-02-03		Gleichstrom
02-02-04		Wechselstrom
102-01-28		Allstrom Gleich- oder Wechselstrom Gleich- oder Wechselspannung
02-02-12		Gleichgerichteter Strom mit Wechselstromanteil (falls eine Unterscheidung von geglättetem Gleichstrom erforderlich ist)
102-02-01		Rechteckwechselimpuls
102-02-02		Rechteckimpuls, positiv, dargestellt mit einer Impulsdauer von 2µs und einer Pulsfrequenz von 10 kHz
102-02-03		Dreieckimpuls
	1 ~ $16^{2}/_{3}$ Hz	Einphasen-Wechselstrom z.B. $16^{2}/_{3}$ Hz
	3 ~ 50 Hz 400 V 3/N ~ 50 Hz 400/230 V [2)] 3/N/PE ~ 50 Hz 400/230 V [2)]	Dreiphasen-Wechselstrom (Drehstrom Dreileitersystem) desgl. mit Neutralleiter (Vierleitersystem) desgl. mit Neutralleiter und Schutzleiter
	2 - 24 V 2/M - 24 V [2)] 2/PE - 220 V [2)]	Gleichstrom-Zweileitersystem Gleichstrom-Dreileitersystem mit Mittelleiter Gleichstrom-Dreileitersystem mit Schutzleiter

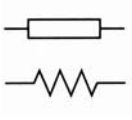
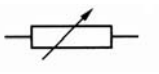
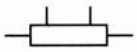
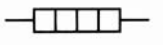
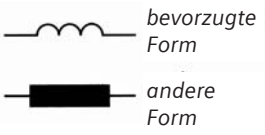
Schaltzeichen und Schreibweisen für Spannung, Strom und Frequenz nach DIN, IEC, ANSI und BS

[1)] nur nach DIN [2)] Bei IEC, ANSI, BS entfällt der Schrägstrich bei der Leiterangabe, z. B. 3NPE ~ 50 Hz 400/230 V

Schaltzeichen von Leitern und Leitungsverbindungen nach DIN, IEC, ANSI und BS

Nr.	Schaltzeichen	Beschreibung
03-01-01		Leiter, Leitung
11-11-02		Schutzleiter (PE)
11-11-01		Neutralleiter (N) Mittelleiter (M)
11-11-03		Neutralleiter mit Schutzfunktion (PEN)
03-01-02 03-01-03	 *Form 1* *oder*  *Form 2*	Leitung mit Kennzeichnung der Leiterzahl, 3 Leiter
		Doppelabzweig von Leitung einphasig bzw. dreiphasig
03-02-01	•	Verbindung von Leitern
03-02-02	○	Anschluß (z.B. Klemme) Anmerkung: Der offene Kreis darf ausgefüllt werden
03-02-03		Anschlußleiste, dargestellt mit Anschlußbezeichnungen
103-03-04		Klemmenleiste, dargestellt sind Reihenklemmen und Reihentrennklemmen

1) nur nach DIN

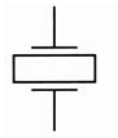
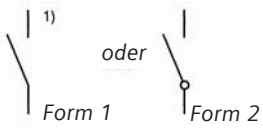
Nr.	Schaltzeichen	Beschreibung
04-01-01 04-01-02		Widerstand, allgemein Dämpfungsglied, allgemein
04-01-03		Widerstand veränderbar, allgemein
04-01-09		Widerstand mit festen Anzapfungen (zwei Anzapfungen dargestellt)
04-01-12		Heizelement
04-03-01 04-03-02		Induktivität (Wicklung, Drossel, Spule)
04-03-06		Induktivität - mit festen Anzapfungen (zwei dargestellt)
04-03-03		Induktivität - mit Magnetkern
04-02-01		Kapazität (Kondensator) - allgemein
04-02-07		Kapazität (Kondensator) - veränderbar
04-02-09		Kapazität (Kondensator) - einstellbar

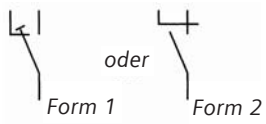
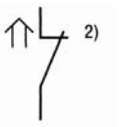
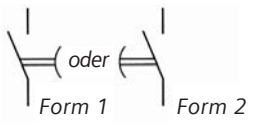
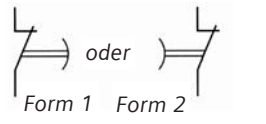
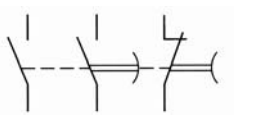
Auswahl gebräuchlicher Schaltzeichen nach DIN, IEC, ANSI und BS

Auswahl gebräuchlicher Schaltzeichen nach DIN, IEC, ANSI und BS

1) Bevorzugte Darstellung

2) Darstellung nur nach DIN

Nr.	Schaltzeichen	Beschreibung
04-07-01		Piezoelektrische Kristalle mit zwei Elektroden
02-15-01		Erde, allgemein Anmerkung: Um die Art oder den Zweck der Erdung anzugeben, dürfen ergänzende Angaben hinzugefügt werden
02-15-04		Masse, Gehäuse Anmerkung: Die Schraffur darf entfallen, wenn keine Unklarheit besteht. Die Linie, die das Gehäuse repräsentiert, muss breiter dargestellt werden
02-03-01		Veränderbarkeit - nicht inhärent
02-03-02		Veränderbarkeit - nicht inhärent, nicht linear
02-03-03		Veränderbarkeit - inhärent Anmerkung: Angaben über die steuernde Größe, z.B. Spannung, Temperatur, dürfen dem Schaltzeichen zugefügt werden
02-03-04		Veränderbarkeit - inhärent, nicht linear Anmerkung: wie bei Schaltzeichen 02-03-03
02-03-05		Einstellbarkeit Anmerkung: Angaben darüber, unter welchen Bedingungen die Einstellung zulässig ist, dürfen dem Schaltzeichen zugefügt werden
Form1 07-02-01 Form 2 07-02-02		Schließer Schaltfunktion allgemein, Schalter
07-04-01		Voreilender Schließer (eines Kontaktsatzes), der relativ zu anderen Kontakten des Kontaktsatzes früher schließt

Nr.	Schaltzeichen	Beschreibung
07-02-03		Öffner
07-04-04		Voreilender Öffner (eines Kontaktsatzes), der relativ zu anderen Kontakten des Kontaktsatzes früher öffnet
07-02-04		Wechsler mit Unterbrechung
Form 1 07-02-06 Form 2 07-02-07		Wechsler ohne Unterbrechung, Folgeumschaltglied
107-01-01		Schließer, öffnet nicht selbsttätig nach Aufhören der Betätigungskraft
107-01-02		Öffner, schließt nicht selbsttätig nach Aufhören der Betätigungskraft
107-01-03		Schließer mit selbsttätigem Rückgang, betätigt dargestellt Anmerkung: Der Doppelpfeil kennzeichnet einen von der Regeldarstellung abweichenden Betriebszustand des Schaltgliedes, z.B. Ruhestromrelais, Stützrelais, Endkontakte
Form 1 07-05-01 Form 2 07-05-02		Schließer, schließt verzögert bei Betätigung
Form 1 07-05-03 Form 2 07-05-04		Öffner, schließt verzögert bei Rückfall
07-05-06		Kontaktsatz mit einem unverzögerten Schließer, einem bei Rückfall verzögerten Schließer und einem verzögerten Öffner

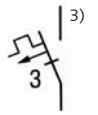
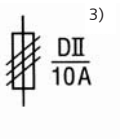
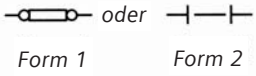
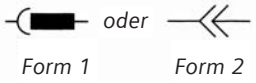
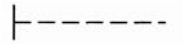
Auswahl gebräuchlicher Schaltzeichen nach DIN, IEC, ANSI und BS

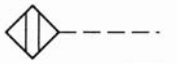
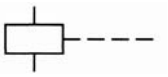
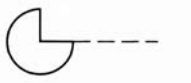
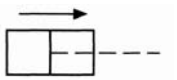
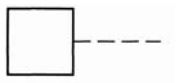
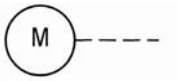
1) Bevorzugte Darstellung

2) Darstellung nur nach DIN

Auswahl gebräuchlicher Schaltzeichen nach DIN, IEC, ANSI und BS

1) Bevorzugte Darstellung
2) Darstellung nur nach DIN
3) Darstellung in dieser Konfiguration nur nach DIN

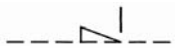
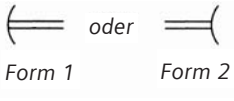
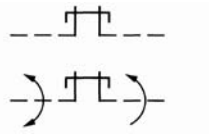
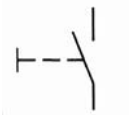
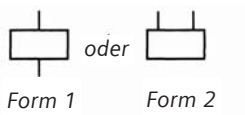
Nr.	Schaltzeichen	Beschreibung
07-13-05		Leistungsschalter
107-05-06		Motorschutzschalter, dreipolig, mit thermischer und magnetischer Auslösung, in einpoliger Darstellung
07-13-06		Trennschalter, Leerschalter
07-13-06 und 07-01-02		Trennschalter-, Leerschalter- und Leistungsschalter-Funktion
07-21-01		Sicherung - allgemein
07-21-02		Sicherung, gekennzeichnete Seite = netzseitiger Anschluss
107-05-04		Schraubsicherung, dargestellt: 10 A, Typ D II, dreipolig
Form 1 03-03-17 Form 2 03-03-18		Trennstelle, Lasche, geschlossen
Form 1 03-03-05 Form 2 03-03-06		Buchse und Stecker, Steckverbindung
02-13-01		Handantrieb, allgemein

Nr.	Schaltzeichen	Beschreibung
02-13-10		Betätigung durch Pedal
02-13-06		Betätigung durch Annähern
02-13-08		Notschalter
02-13-23		Betätigung durch elektromagnetischen Antrieb
02-13-24		Betätigung durch elektromagnetischen Überstrom-schutz
02-13-25		Betätigung durch thermischen Antrieb, z.B. Bimetallrelais, thermischer Überstromschutz
02-13-16		Betätigung durch Nocken Anmerkung: Nocken und Nockenscheiben dürfen im Profil detailliert dargestellt werden
02-13-21		Betätigung durch pneumatische oder hydraulische Steuerung in Pfeilrichtung
02-13-20		Kraftantrieb, allgemein Betätigung durch gespeicherte mechanische Energie Anmerkung: Hinweise auf die Art der gespeicherten Energie dürfen in das Quadrat eingetragen werden(z.B. Formelzeichen nach DIN 1304)
02-13-26		Betätigung durch Motor

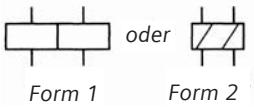
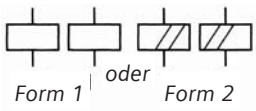
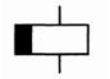
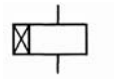
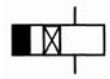
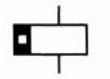
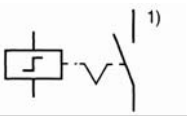
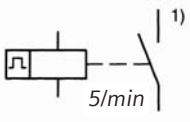
1) Nur nach DIN

Auswahl gebräuchlicher Schaltzeichen nach DIN, IEC, ANSI und BS

Auswahl gebräuchlicher Schaltzeichen nach DIN, IEC, ANSI und BS

Nr.	Schaltzeichen	Beschreibung
02-12-12		Sperre nicht verklinkt
102-06-03		Sperre, dargestellt für Sperre der Bewegung in beiden Richtungen
02-12-10		Raste, eingerastet
Form 1 02-12-05 Form 2 02-12-06		Verzögerte Wirkung Anmerkung: verzögerte Wirkung in Bewegungsrichtung vom Bogen zu dessen Mittelpunkt (Fallschirmwirkung)
02-12-17		Kupplung, gelöst
02-12-18 02-12-19		Kupplung, gekuppelt Beispiel: Kupplung für Mitnahme in einer Drehrichtung, Freilauf
07-07-01		Handbetätigter Schalter, allgemein
07-07-02		Druckschalter (nicht rastend), Taster
107-04-01		Stellschalter, Tastschalter, Steuerquittierschalter, dreipolig dargestellt, handbetätigt durch Drehen
Form 1 07-15-01 Form 2 07-15-02		Elektromechanischer Antrieb, Relaisspule, allgemein

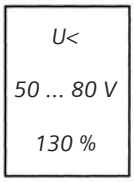
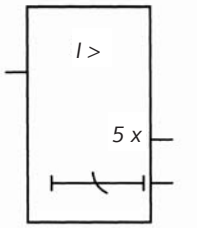
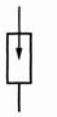
1) Nur nach DIN

Nr.	Schaltzeichen	Beschreibung
Form 1 07-15-03 Form 2 07-15-04		Antrieb mit zwei getrennten Wicklungen, - zusammenhängende Darstellung
Form 1 07-15-05 Form 2 07-15-06		Antrieb mit zwei getrennten Wicklungen, - aufgelöste Darstellung
07-15-07		Elektromechanischer Antrieb mit Rückfallverzögerung
07-15-08		Elektromechanischer Antrieb mit Ansprechverzögerung
07-15-09		Elektromechanischer Antrieb mit Ansprech- und Rückfallverzögerung Anmerkung: Die Kennzeichen für Ansprech- und Rückfallverzögerung dürfen auch ohne Abstand zueinander dargestellt werden
07-15-15		Elektromechanischer Antrieb eines polarisierten Relais Anmerkung: Der Zusammenhang zwischen der Stromrichtung in der Antriebsspule des polarisierten Relais und der Bewegung des Kontaktarmes darf durch Punkte angegeben werden. Wenn der mit dem Polaritätspunkt gekennzeichnete Anschluss gegenüber dem anderem Anschluss ist, bewegt sich der Kontaktarm in die markierte Stellung
Form 1 07-15-19 Form 2 07-15-20		Elektromechanischer Antrieb eines Remanenzrelais
107-09-04		Fortschaltrelais Stromstoßrelais
107-09-07		Tonfrequenz-Rundsteuerrelais
107-09-08		Blinkrelais, dargestellt mit einer Blinkfrequenz von 5/min

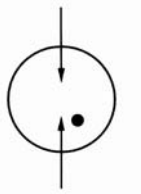
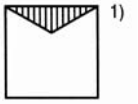
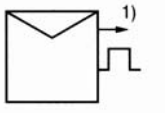
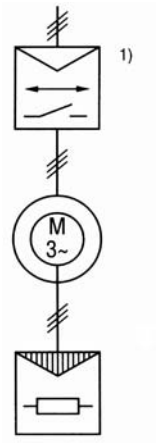
1) Nur nach DIN

Auswahl gebräuchlicher Schaltzeichen nach DIN, IEC, ANSI und BS

Auswahl gebräuchlicher Schaltzeichen nach DIN, IEC, ANSI und BS

Nr.	Schaltzeichen	Beschreibung
07-17-07		Unterspannungsrelais: - Ansprechbereich 50 V bis 80 V, - Rückfall bei 130 %
07-17-07		Messrelais zum Erfassen von Windungsschlüssen
07-17-14		Überstromrelais mit 2 Ausgängen, einer wirksam bei fünffachem Einstellwert, der andere mit inverser stromabhängiger Verzögerungszeit
07-16-02		Fehlerspannung gegen Körper
07-16-07		Fehlerstrom gegen Erde
07-16-09	$I_{N\text{-}N}$	Strom zwischen zwei Neutralleitern
07-22-03		Überspannungsableiter
07-19-01		Näherungssensor
07-19-04		Berührungssensor
02-10-01		Positiver Impuls

1) Nur nach DIN

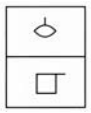
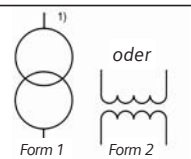
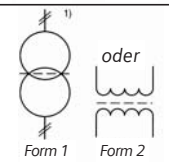
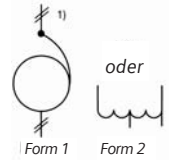
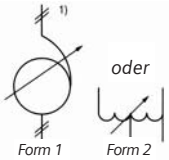
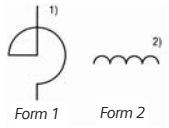
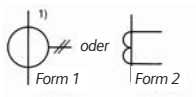
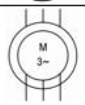
Nr.	Schaltzeichen	Beschreibung
02-10-02		Negativer Impuls
02-10-03		Wechselstrom-Impuls
02-10-06		Sägezahn
07-22-01		Funkenstrecke
07-22-04		Überspannungsableiter in einer Gasentladungsröhre
07-14-01		Anlasser, allgemein
07-14-06		Anlasser für Stern-Dreieck-Schaltung
107-06-03		Anlasser, automatisch
107-06-05		Anlasser mit thermischen und magnetischen Auslösern
107-07-06		Anlasseinrichtung, dargestellt mit - Schütz-Ständeranlasser für zwei Drehrichtungen - dreiphasigem Schleifringläufermotor - automatischem Widerstands-Läuferanlasser

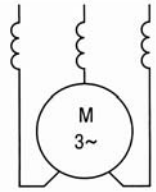
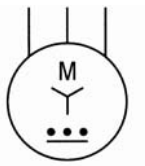
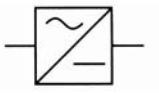
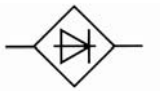
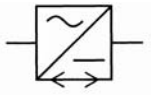
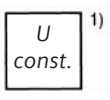
1) Nur nach DIN

Auswahl gebräuchlicher Schaltzeichen nach DIN, IEC, ANSI und BS

Auswahl gebräuchlicher Schaltzeichen nach DIN, IEC, ANSI und BS

1) Für einpolige Darstellung; z. B. Übersichtsschaltplan
2) Es gilt Schaltzeichen-Nr. 04-03-01 nach DIN 40900 Teil 4
3) s. DIN 40900 Teil 2

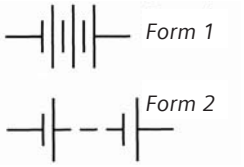
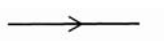
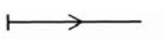
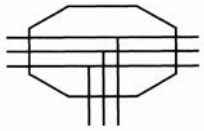
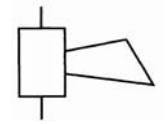
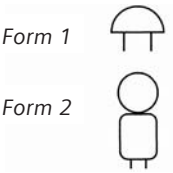
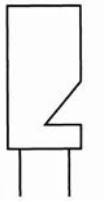
Nr.	Schaltzeichen	Beschreibung
07-18-01		Buchholzschutz
Form 1 06-09-01 Form 2 06-09-02		Transformator mit zwei Wicklungen Anmerkung: In Form 2 dürfen gleiche Phasenlagen gekennzeichnet werden
Form 1 06-10-01 Form 2 06-10-02		Einphasentransformator mit zwei Wicklungen und Schirm
Form 1 06-11-01 Form 2 06-11-02		Spartransformator, einphasig
Form 1 06-11-05 Form 2 06-11-06		Spartransformator, einphasig, mit Spannungssteller
Form 1 06-09-08 Form 2 06-09-09		Drossel
Form 1 06-09-10 Form 2 06-09-11		Stromwandler, Impulstransformator
06-04-01		Maschine, allgemein An die Stelle des Sterns (*) muss eines der folgenden Kennzeichen eingetragen werden: C Umformer G Generator GS Synchrongenerator M Motor MG als Generator oder als Motor nutzbare Maschine MS Synchronmotor Anmerkung: Die Schaltzeichen 02-02-01 und 02-04-04[3)] dürfen hinzugefügt werden. Siehe Hauptabschnitte 5 bis 8 in DIN 40900 Teil 6.
06-08-01		Drehstrom-Asynchronmotor mit Käfigläufer
06-08-03		Drehstrom-Asynchronmotor mit Schleifringläufer

Nr.	Schaltzeichen	Beschreibung
06-06-03		Drehstrom-Reihenschlussmotor
06-08-04		Drehstrom-Asynchronmotor in Sternschaltung mit Anlaufwicklung im Läufer
05-03-01		Halbleiterdiode, allgemein
05-03-06		Diode für Betrieb im Durchbruch - Z-Diode, Esaki-Diode
05-03-07		Breakdown-Diode, gegeneinander geschaltete Z-Dioden
06-14-03		Gleichrichter
06-14-04		Gleichrichter in Brückenschaltung
06-14-05		Wechselrichter
06-14-06		Gleichrichter/Wechselrichter (umschaltbar)
106-04-03		Spannungskonstanthalter

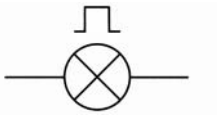
Auswahl gebräuchlicher Schaltzeichen nach DIN, IEC, ANSI und BS

1) Nur nach DIN

Auswahl gebräuchlicher Schaltzeichen nach DIN, IEC, ANSI und BS

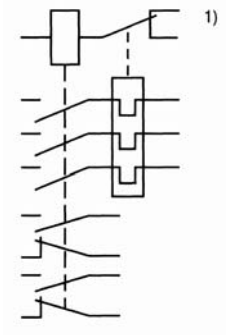
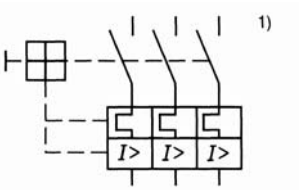
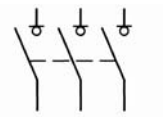
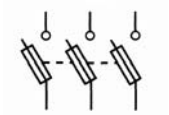
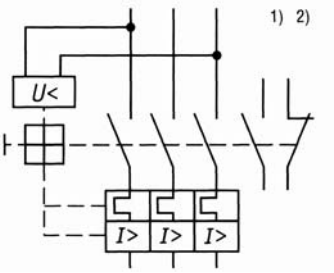
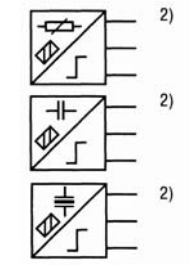
Nr.	Schaltzeichen	Beschreibung
06-15-01		Primärzelle, Primärelement, Akkumulator Anmerkung: Die längere Linie kennzeichnet den positiven Pol, die kürzere den negativen. Die kürzere Linie darf zur Verdeutlichung breiter gezeichnet werden.
Form 1 06-15-02 Form 2 06-15-03		Batterie von Primärelementen, Akkumulatorenbatterie Anmerkung: Zur Darstellung einer Batterie darf auch das Schaltzeichen Nr. 06-15-01 verwendet werden, wenn keine Verwechslung möglich ist; andernfalls sollten die Spannung und Art der Zellen angegeben werden
02-05-01		Übertragung, Energiefluss, Signalfluss in einer Richtung (simplex)
02-05-06		Energiefluss von der Sammelschiene weg
03-04-01		Kabelendverschluss, dargestellt mit einem dreiadrigen Kabel
03-04-05		Abzweigmuffe, dargestellt mit drei Leitungen, T-Abzweigmuffe, allpolige Darstellung
08-10-05		Hupe, Horn
Form 1 08-10-06 Form 2 08-10-07		Wecker, Klingel
08-10-09		Sirene
08-10-12		Pfeife, elektrisch betätigt

1) Nur nach DIN

Nr.	Schaltzeichen	Beschreibung
08-10-01		Lampe, allgemein, Leuchtmelder, allgemein Anmerkung 1: Neben dem Schaltzeichen darf die Farbe nach DIN IEC 757 angegeben werden: RD rot, BU blau YE gelb, WH weiß GN grün Anmerkung 2: Neben dem Schaltzeichen darf die Lampenart angegeben werden: NE Neon Xe Xenon Na Natriumdampf Hg Quecksilberdampf I Jod IN Glühfaden EL Lumineszenz ARC Lichtbogen FL Fluoresenz IR Infrarot UV Ultraviolett LED Leuchtdiode
08-10-02		Leuchtmelder, blinkend

Auswahl gebräuchlicher Schaltzeichen nach DIN, IEC, ANSI und BS

1) Nur nach DIN

Makro	Beschreibung
	Leistungsschütz mit Überlastrelais und Hilfsschaltgliedern
	Dreipoliger Schalter mit Schaltschloss - mit elektrothermischen Überlastauslösern - mit elektromagnetischen Kurzschlussauslösern
	Dreipoliger Lasttrennschalter
	Dreipoliger Sicherungstrennschalter
	Schalter mit Schaltschloss für den Motorschutz, dreipolig dargestellt, mit - Unterspannungsauslöser mit Hilfskontakten - drei elektrothermischen Überlastauslösern - drei elektromagnetischen Überlastauslösern
	Sensor, Näherungsschalter - Arbeitsprinzip induktiv - Arbeitsprinzip kapazitiv - Arbeitsprinzip Ultraschall

Häufig verwendete Kombinationen von Schaltzeichen

1) nur nach DIN

2) in DIN nicht enthalten, jedoch aus Schaltzeichenelementen und Kennzeichen zusammengesetzt in Anlehnung zu Nr. 07-19-02 in DIN 40900

Kennzeichnung von Betriebsmitteln, Leitern und allgemeinen Funktionen

Als elektrische Betriebsmittel gelten Einzelteile, Geräte, Anlagen, Funktionseinheiten usw., die durch ein Schaltzeichen in einem Schaltplan dargestellt sind. Betriebsmittel sind nach DIN 40719 Teil 2, Juni 1978, zu kennzeichnen.
Das Kennzeichen der Betriebsmittel setzt sich aus vier Kennzeichnungsblöcken zusammen:
Kennzeichenblock 1 = Anlage (übergeordnete Zuordnung)
Kennzeichenblock 2 + Ort
Kennzeichenblock 3 - Art, Zählnummer, Funktion
Kennzeichenblock 4 : Anschluss

Je nach Erfordernis genügen zur Kennzeichnung auch Teile der Kennzeichen. Anzahl, Auswahl und Reihenfolge der Kennzeichnungsblöcke richten sich nach der Größe der elektrischen Einrichtung.

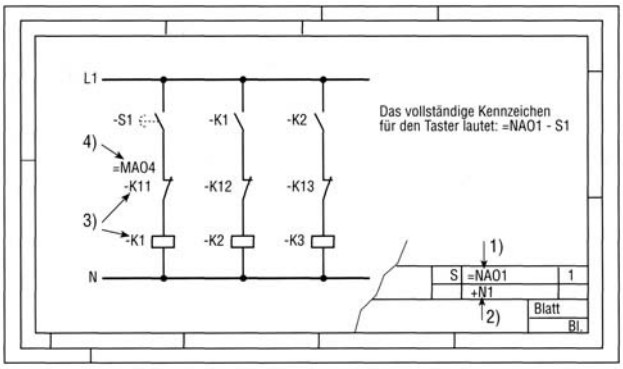
Der Kennzeichnungsblock “Art, Zählnummer, Funktion” dient der einfachsten Unterscheidung von Betriebsmitteln, wobei nach Art der Betriebsmittel und ggf. nach Funktion unterschieden werden kann. Er hat das Vorzeichen “-” und ist in drei Abschnitte aufgeteilt:
Abschnitt 1 “Art”: Die Kennzeichnung der Art darf nur durch einen Kennbuchstaben erfolgen. Der Kennbuchstabe kann sowohl zu einem einzelnen Betriebsmittel als auch zu einer zusammengehörigen Kombination gehören.
Abschnitt 2 “Zählnummer”: Jedes Betriebsmittel in einer Schaltungsunterlage erhält eine ein- bis dreistellige Zählnummer. Die Zählnummer ist obligatorisch und muss immer angegeben werden. Sie dient zur Unterscheidung von Betriebsmitteln gleicher Art und/oder Funktion.
Abschnitt 3 “Funktion”: Die Funktion, die ein Betriebsmittel ausübt, kann durch einen oder zwei Buchstaben oder durch einen Buchstaben und eine nachfolgende Ziffer gekennzeichnet werden. Die Kennzeichnung der Funktion kann weggelassen werden, wenn sie nicht erforderlich ist.

Leiterkennzeichnung:
Die Kennzeichnung von Betriebsmittelanschlüssen, an die bestimmte Leiter angeschlossen werden sollen, und die Kennzeichnung dieser Leiter ist nach DIN EN 60445 auszuführen.

Anschlussbezeichnungen von Strom- und Spannungswandlern:
siehe entsprechende Tabelle.

Normen und Regelwerke	Primärseitig		Sekundärseitig	
Stromwandler				
			1 Windung, mehrere Anzapfungen	mehrere Windungen
IEC 185 BS 3938	P1	P2	S1 S2 ... Sm	1S1 1S2 nS1 nS2
ANSI/IEEE C57.13	H1	H2	X1 X2 ... Xn	V1 V2 W1 W2 ... Z1 Z2
DIN VDE 0414 Teil 1	K	L	kl1 ... ln	1k 1l ... nk nl
Spannungswandler				
IEC 186, BS 3941	A oder A	N B	a1 a2 ... n a1 a2 ... b	1a 1n, 2a 2n, oder da dn -- --
ANSI/IEEE C57.13	H1	H2	x1 ... xn	x1 x2, y1 y2 ...
DIN VDE 0414 Teil 1	U oder U	V X	u1 u2 ... v -- --	-- -- 1u 1x ... nu nx oder ux und en

Anschlussbezeichnungen von Strom- und Spannungswandlern.



1) Kennzeichnungsblock 1 (Anlage)
2) Kennzeichnungsblock 2 (Ort)
3) Kennzeichnungsblock 3 (Art, Zählnummer, Funktion)
4) Kennzeichnungsblock 4 (Anlage, die nicht mit Schriftkopf übereinstimmt.)

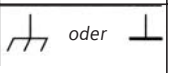
Schaltplan einer Relaissteuerung mit Betriebsmittelkennzeichnung nach DIN 40719 Teil 2.

Kenn-buch-stabe	Art des Betriebsmittels	Beispiele
A	Baugruppen, Teilbaugruppen	Verstärker, Magnetverstärker, Laser, Maser, Gerätekombinationen
B	Umsetzer von nicht elektrischen auf elektrische Größen und umgekehrt	Messumformer, thermoelektrische Fühler, Thermozellen, photoelektrische Zellen, Dynamometer, Kristallwandler, Mikrofon, Tonabnehmer, Lautsprecher, Drehfeldgeber
C	Kondensatoren	--
D	Binäre Elemente, Verzögerungs-einrichtungen, Speichereinrichtungen	Verzögerungsleitungen, bistabile Elemente, monostabile Elemente, Kernspeicher, Register, Plattenspeicher, Magnetbandgeräte
F	Schutzeinrichtungen	Sicherungen, Überspannungsableiter, Schutzrelais, Auslöser, Bimetallauslöser, Buchholzschutz
G	Generatoren, Stromversorgungen	Rotierende Generatoren, rotierende Frequenzwandler, Batterie, Stromversorgungseinrichtungen, Oszillatoren
H	Meldeeinrichtungen	Optische und akustische Meldegeräte
J	--	Frei
K	Relais, Schütze	Hilfsschütze, Hilfsrelais, Blinkrelais, Zeitrelais, Reed-Relais
L	Induktivitäten	Drosselspulen
M	Motoren	--
N	Verstärker, Regler	Integrierte Schaltkreise, Impedanzwandler, Operationsverstärker
P	Messgeräte, Prüfeinrichtungen	Anzeigende, schreibende und zählende Messeinrichtungen, Impulsgeber, Uhren
Q	Starkstrom-Schaltgeräte	Leistungsschalter, Trennschalter, Sicherungs-Lasttrennschalter
R	Widerstände	Einstellbare Widerstände, Potentiometer, Regelwiderstände, Shunts, Nebenschlusswiderstände, Heißleiter
S	Schalter, Wähler	Befehlsgeräte, Steuerschalter, Druckschalter, Leuchttaster, Grenztaster, Wahlschalter
T	Transformatoren	Spannungswandler, Stromwandler, Netz-, Trenn-, Steuertransformatoren
U	Modulatoren, Umsetzer	Diskriminator, Frequenzwandler, Demodulator, Umformer, Inverter, Umsetzer, Umrichter
V	Röhren, Halbleiter	Elektronenröhren, Gasentladungsröhren, Dioden, Transistoren, Thyristoren
W	Übertragungswege, Hohlleiter, Antennen	Schaltdrähte, Kabel, Sammelschienen, Hohlleiter, gerichtete Kupplungen von Hohlleitern, Dipole, parabolische Antennen
X	Klemmen, Stecker, Steckdosen	Trennstecker und -steckdosen, Prüfstecker, Klemmenleisten, Lötleisten
Y	Elektrisch betätigte mechanische Einrichtungen	Bremsen, Kupplungen, Ventile
Z	Abschlüsse, Ausgleichseinrichtungen, Filter, Begrenzer, Gabelabschlüsse	Kabelnachbildungen, Dynamikregler, Kristallfilter

Kennbuchstaben für die Kennzeichnung der Art eines Betriebsmittels nach DIN 40719 Teil 2, Tab. 1, Juni 78

Kennbuchstabe	Allgemeine Funktion
A	Hilfsfunktion, Funktion "Aus"
B	Bewegungsrichtung (vorwärts, rückwärts, heben, senken, im Uhrzeigersinn, entgegen dem Uhrzeigersinn)
C	Zählung
D	Differenzierung
E	Funktion "Ein"
F	Schutz
G	Prüfung
H	Meldung
J	Integration
K	Tastbetrieb
L	Leiterkennzeichnung
M	Hauptfunktion
N	Messung
P	Proportional
Q	Zustand (Start, Stopp, Begrenzung)
R	Rückstellen, löschen
S	Speichern, aufzeichnen
T	Zeitmessung, verzögern
U	--
V	Geschwindigkeit (beschleunigen, bremsen)
W	Addieren
X	Multiplizieren
Y	Analog
Z	Digital

Kennbuchstaben für die Kennzeichnung allgemeiner Funktionen nach DIN 40719 Teil 2, Juni 1978.

Leiter	Kennzeichnung der Leiterenden	Kennzeichnung der Betriebsmittelanschlüsse	Schaltzeichen
Wechselstromnetz			
Außenleiter 1	L1	U	
Außenleiter 2	L2	V	
Außenleiter 3	L3	W	
Neutralleiter	N	N	
Gleichstromnetz			*Form 1* *oder* *Form 2*
Positiv	L+	C	
Negativ	L-	D	
Mittelleiter	M	M	
Schutzleiter	PE	PE	
Neutralleiter mit Schutzfunktion (PEN)	PEN	--	--
Erdungsleiter	E	E	
Fremdspannungsarmer Erdleiter	TE	TE	
Masseverbindung	MM	MM	 *oder*
Äquipotentialverbindung	CC	CC	

Alphanumerische Kennzeichnung einiger besonderer Leiter und ihre Anschlüsse nach DIN EN 60445, 09.91, DIN 40705, Febr. 1980 bzw. IEC 445446 und Kennzeichnung durch Schaltzeichen nach DIN 30600, Nov. 1988, DIN 40900, März 1988 bzw. IEC 417 und 617.

Fachbegriffe, kurz erläutert

Hinweis:

Nicht alle in diesem Abschnitt erklärten Fachbegriffe sind international festgelegt.

TIPP:

In GRAU gedruckte Worte werden in diesem Abschnitt an der jeweiligen Stelle im Alphabet näher erklärt. Diese Interaktivität vereinfacht das Verständnis der technischen Begriffe und Erläuterungen.

a-Auslöser
Kurzbezeichnung für stromabhängig verzögerte Überlastauslöser und Überlastrelais.

Abbrand
Verlust an Kontaktmaterial, der beim Schalten unter Belastung durch den Lichtbogen entsteht. Der Abbrand wird durch Verdampfen und Verspritzen des Kontaktmaterials bewirkt.
Ausschlaggebend für den Abbrand sind neben der Art des Kontaktmaterials physikalische Einflüsse wie Stromstärke, Phasenlage des Stroms bei der Schaltstücktrennung, Öffnungsgeschwindigkeit der Kontakte sowie Wärmeableitung und Wärmekapazität der Schaltstücke.

Abbrennschaltstück
Teil eines Schaltgliedes (Schaltstück), meist aus Kupfer oder Eisen, an dem sich der Lichtbogen ausbildet ohne zu viel Schaltstückmaterial (Silber) zu verdampfen.

Abdeckung
Teil, das einen Schutz gegen direktes Berühren aus jeder üblichen Zugangsrichtung und ggf. gegen Schaltlichtbögen von Schaltgeräten und ähnlichem bietet.

Abfallspannung
Spannung in Prozent der Bemessungssteuerspeisespannung (Bemessungsspannung), bei der die Zugkraftkurve eines Magnetantriebs unter die Kraftbedarfskurve absinkt. Unter dieser Voraussetzung fällt ein Schütz von der Betriebs- in die Ruhelage.

Abfallzeit
Zeitverlauf vom Unterbrechen des Erregerstromkreises bis zum Erreichen der Ausgangsposition (Hubanfangslage) eines Magnetantriebs.

Abgang
Funktionseinheit, die üblicherweise für die Abgabe elektrischer Energie an einen oder mehrere abgehende Stromkreise bestimmt ist.

Abhängige Handbetätigung
Betätigung, ausschließlich durch die Kraft eines Menschen, so dass Geschwindigkeit und Kraft für die Schaltbewegung vom Bedienenden abhängen.

Abhängig verzögertes Überstromrelais oder abhängig verzögerter Überstromauslöser
Überstromrelais oder -auslöser sind Geräte, die mit einer Verzögerung arbeiten, die mit steigendem Überstrom kleiner wird.

Anmerkung:
Ein solches Relais oder ein solcher Auslöser kann so ausgelegt sein, dass sich die Verzögerung bei hohen Überströmen einem bestimmten Kleinstwert nähert.

Ablaufzeit
Bei einem Zeitrelais die Zeit, die zwischen der Befehlsgabe und dem Betätigen der Kontakte abläuft.

Abreißstrom (Chopping-Effekt)
Strom beim Ausschaltvorgang, bei dem der Lichtbogen vor dem Nulldurchgang abreißt (nur in der Vakuumtechnik von Bedeutung).

Abrieb
Materialverschleiß, der durch Aneinanderreiben fester Körper hervorgerufen wird.

Bei Schaltstücken ist das der Verlust an Kontaktmaterial infolge einer Reibbewegung des einen Schaltstücks auf dem anderen nach der ersten Kontaktgabe.

Abschaltstrom
Im Augenblick des Kontaktöffnens fließender Strom, z. B. auch Überlast- und Kurzschlussstrom. Abhängig ist der Abschaltstrom u. a. von der Spannung sowie der Induktivität bzw. Kapazität des Stromkreises.

Abschaltüberspannung
Überspannung, die durch Abschalten von Induktivitäten (z. B. Schützspulen entsteht).

Abschirmung
Elektrisch oder magnetisch leitfähige Ummantelung, die Abstrahlungen oder Einstreuungen von Störsignalen bei elektronischen Geräten verhindern soll.

Abschottung
Durch Zwischenwände (Schottwände) erreichte Unterteilung oder Trennung. Abschottung wird gefordert, um ein Ausbreiten des Schadens über die Entstehungsstelle hinaus zu verhindern vor allem, wenn Gefahr für Personen und Umwelt besteht.

Absetzstellung
Stellung eines austauschbaren Teils (Einschubs), wenn sich dieses außerhalb der Schaltanlage (TSK/PTSK) befindet und mechanisch und elektrisch von ihr getrennt ist.

Abteil
Feld oder Fach, das mit Ausnahme der für das Anschließen, die Steuerung oder die Belüftung notwendigen Öffnungen umschlossen ist.

Aktives Teil
Leitfähiges Teil eines Betriebsmittels, das unter normalen Betriebsbedingungen unter Spannung steht. Es umfaßt auch den Neutralleiter (N) und leitfähige Teile, die mit ihm verbunden sind. Dies trifft nicht zu, wenn der Neutralleiter zugleich PEN-Leiter ist.

Aktuatoren (auch Aktor)
Für Niederspannung-Schaltgeräte Sammelbegriff für Bauteile, die Signale aus dem Automatisierungssystem in Schaltsignale umsetzen und somit Prozesse beeinflussen können, z. B. Schütze oder Ventile.

Aktuator-Sensor-Interface (AS-Interface)
Das Aktuator-Sensor-Interface (AS-Interface) ist ein Kommunikationssystem auf der Basis international anerkannter Spezifikationen und Normen für die Master-Slave-Vernetzung eines Steuergeräts mit Niederspannungs-Schaltgeräten und -Systemen (z. B. nach IEC 947 oder anderen Normen). Das Aktuator-Sensor-Interface (AS-Interface) verbindet das Steuergerät bzw. den "Master" (z. B. Speicherprogrammierbare Steuerung) mit den binären Betätigern (Aktuatoren), wie z. B. Hydraulikventilen, Schützen, Antrieben und Sensoren, wie z. B. Näherungsschaltern (BERO), Positionsschaltern und Drucktastern (über die Slaves). Die Master- und Slave-Baugruppen sind entweder im eigentlichen Steuergerät bzw. in den Aktuatoren/Sensoren integriert oder autonome Einheiten. AS-Interface ist ein einfaches

Vernetzungssystem für die untere Feldebene und arbeitet insbesondere mit zyklischem Datenaustausch kurzer Datenwerte (Datenübertragung). Die leitungsmäßige Vernetzung erfolgt über eine mechanisch (durch seine Form) codierte, ungeschirmte Zweidrahtleitung, über die sowohl Daten als auch Energie vom Master zu den Teilnehmern und Daten von den Teilnehmern zum Master übertragen werden.

Alarmschalter
Hilfsstromschalter eines Leistungsschalters, der beim Auslösen des Schalters betätigt wird.

ALPHA
Die Gesellschaft zur Prüfung und Zertifizierung von Niederspannungsgeräten e.V. ist ein Institut der deutschen Elektroindustrie. Sie wurde als Ergänzung zu den bereits bestehenden nationalen und internationalen Normenbehörden gegründet. Ihr Ziel ist es, den einzelnen Herstellern mehr Verantwortung zu übertragen und firmeninterne Prüfungen, Zertifikationen und Konformitätserklärungen zu breiterer Akzeptanz zu verhelfen. Dazu dienen genormte ALPHA Prüfmodule, Dokumentationsrichtlinien für Prüfergebnisse und die professionelle Anwendung gültiger Spezifikationen. Unter Mithilfe von LOVAG strebt ALPHA die gegenseitige Anerkennung von Zertifikationen, die Reduzierung von Approbationsschritten und die Erstellung eines einzigen Normzertifikats für ganz Europa (und letztendlich weltweit) an.

Alterung (von Sicherungseinsätzen)
Alterung bezeichnet die Qualitätsminderung eines Sicherungseinsatzes (d. h. eine Änderung seiner Zeit-Strom-Kennlinie) über eine gewisse Zeitspanne aufgrund einer Veränderung seiner Materialbestandteile. Die Alterungsbeständigkeit ist ein wichtiges Qualitätskriterium von Sicherungen. Eine Sicherung muss den Auswirkungen von normalem Dauerstrom, zyklischer Überlast und Überspannungsimpulsen standhalten können, ohne aufgrund von Qualitätsminderung unsichere Zustände oder Fehler zu verursachen. Eine Sicherung muss auch nach mehrjähriger Betriebsdauer ohne offensichtliche Störungen Überströme bzw. Kurzschlüsse sicher abschalten können. Zur Bestimmung der Alterungsbeständigkeit sind Material, Ausführung des Schmelzleiters und kontinuierliche Herstellungsqualität die wichtigsten Gesichtspunkte. Siemens-Sicherungseinsätze haben ausgezeichnete Alterungsbeständigkeit.

Regelmäßige Überströme, die den Schmelzleiter fast zum Schmelzen bringen, lassen besonders Schmelzleiter von minderer Qualität schneller altern. So kann z. B. eine örtlich begrenzte Zerstörung des Schmelzleiters

auftreten, wenn die eutektische Legierung, die z. B. zwischen Zinnablagerungen an einem Silber-Schmelzleiter entsteht, den Schmelzleiter durchstößt.

American Wire Gauge - AWG (Nummer)
Eine Nummer, die einer bestimmten Leiter- oder Drahtquerschnittsfläche zugeordnet ist. Mit jeder AWG-Nummer macht die Querschnittsfläche einen Sprung um 26 %. Es gelten folgende Regeln:

1. Je dicker der Draht, desto kleiner die AWG Nummer.
2. Ein Kupferdraht AWG 10 hat einen Durchmesser von ca. 2,54 mm, eine Querschnittsfläche von ca. 5 mm^2 und einen Widerstand von 1,0 Ω auf 304,8 m Länge.
3. Bei einer Reduzierung um 3 AWG (z. B. AWG 10 auf AWG 7), werden die Querschnittsfläche und die Masse (Gewicht) verdoppelt. Der Gleichstromwiderstand wird halbiert. Umgekehrt werden bei einer Erhöhung um 3 AWG der Querschnitt und das Gewicht halbiert, der Gleichstromwiderstand verdoppelt.
4. Bei einer Reduzierung um 6 AWG (z. B. AWG 10 auf AWG 4) wird der Durchmesser verdoppelt. Umgekehrt wird der Durchmesser bei einer Erhöhung auf 6 AWG halbiert (z. B. AWG 10 auf AWG 16).

Hinweis:
Die AWG-Maße können nicht direkt in Quadratmillimeter umgerechnet werden.

Anfahrgeschwindigkeit
Geschwindigkeit, mit der Positionsschalter mechanisch angesteuert werden. Die Anfahrgeschwindigkeit ist abhängig von Form und Anfahrwinkel des Betätigungsnockens. Je höher die Anfahrgeschwindigkeit, umso flacher ist der Anfahrwinkel zu wählen.

Anfangs-Kurzschlusswechselstrom I_k''
Effektivwert des unbeeinflussten Kurzschlussstroms im Augenblick des Kurzschlusseintritts. Bei generatornahem Kurzschluss klingt dieser Wert auf den Dauerkurzschlussstrom I_k ab; bei generatorfernem Kurzschluss ist er gleich dem Dauerkurzschlussstrom und während der Kurzschlussdauer nahezu konstant.

Anlassen
Einschalten elektrischer Betriebsmittel - vorzugsweise Motoren - über mindestens eine Zwischenstufe oder auch kontinuierlich bis in den Betriebszustand. Durch das Abschalten von Widerständen in den Zwischenstufen oder durch elektronische Motorstarter können bestimmte Drehmomenteigenschaften erzielt und/ oder der Anlaufstrom begrenzt werden.

Anlasspartransformator
Für den Sanftanlauf von Käfigläufermotoren. Die Klemmenspannung wird dabei während der Anlaufzeit mit einem Spartransformator verringert.

Anlauf
Einleiten einer Drehbewegung aus dem Stillstand bis zur Nenndrehzahl.

Voraussetzung für den Anlauf eines Motors ist, dass bei allen Drehzahlen das Drehmoment des antreibenden Motors größer ist als das Lastmoment der anzutreibenden Maschine.

Anlaufdauer
Die Zeit vom Einschalten bis zum Erreichen der Betriebsdrehzahl wird als Anlaufdauer bezeichnet.

Anlaufstrom
Während des Anlaufs erhöht sich je nach Motorausführung und Hersteller die Stromaufnahme auf das 7- bis 13-fache. Mit steigender Drehzahl sinkt der Anlaufstrom und geht mit dem Erreichen der Bemessungsdrehzahl in den Betriebsstrom (Bemessungsstrom) über.

Anliegende Spannung
Spannung, die an den Eingangsklemmen (meist mit 1/L1, 3/L2, 5/L3 bezeichnet) eines Schaltgeräts vor dem Einschalten des Geräts anliegt.

Anschlussbedingungen
Vom "VDE" und dem Deutschen Institut für Normung (DIN) erarbeitete Bestimmungen oder Richtlinien für Starkstromanlagen mit Bemessungsspannung bis 1.000 V. Bei Anschluss dieser Anlagen an das Niederspannungsnetz der Elektrizitätsversorgungsunternehmen (EVU) müssen die technischen Anschlussbedingungen (TAB) beachtet werden, die von den EVU veröffentlicht werden.

Anschlusswert
Höchste gemeinsame Leistungsaufnahme aller elektrischen Verbraucher in einer Anlage.

Ansprechen
Bei Erreichen eines bestimmten Werts (Ansprechwert) erfolgt der Übergang von einer Stellung in eine andere Stellung bzw. der Beginn eines Vorgangs, an dessen Ende der Übergang von einer in die andere Stellung steht. Ansprechwerte sind z. B. Werte von Strom, Spannung, Wärme, Zeit.

Ansprechstrom, Erdschluss (g)
Erdschlussstrom, bei dessen Erreichen oder Überschreiten der Erdschlussauslöser (g), z. B. eines Leistungsschalters, anspricht und ausgelöst wird.

Ansprechstrom, kurzverzögert (z)
Strom, bei dessen Überschreitung nach einer vorbestimmten Verzögerungszeit ausgelöst wird.

Ansprechstrom, Überlast (a)
Dauerstrom, bei dessen Überschreitung innerhalb einer vorgegebenen Zeit eine Auslösung erfolgt (stromabhängig verzögerte Auslösung!).

Ansprechstrom, unverzögert (n)
Strom, bei dessen Überschreitung unverzögert ausgelöst wird.

Ansprechwert
Wert einer Wirkgröße (z. B. Strom, Temperatur, Spannung), bei deren Erreichen das Ansprechen erfolgt.

Antrieb
1. Antriebe oder Antriebsgruppen umfassen die Gesamtheit aus elektrischen Maschinen und zugehörigen mechanischen und elektrischen Einrichtungen, unabhängig von der räumlichen Anordnung.
2. Teile eines Schaltgerätes, die eine Bewegung vermitteln. Man unterscheidet nach der Antriebsart
   a) Handantrieb
   b) Fußantrieb
   c) Magnetantrieb
   d) Motorantrieb
   e) Druckluftantrieb

Antriebs-Hilfsstromschalter
Hilfsstromschalter am Antrieb eines Schaltgeräts, der direkt vom Antrieb betätigt wird und nicht von der Schaltstellung des Geräts abhängig ist.

Anzugsleistung
Die Leistungsaufnahme bei Magnetspulen, die notwendig ist, um das Magnetsystem in Bewegung zu setzen.
Sie ist meistens höher als die Halteleistung.

Approbation
Zulassung von Schaltgeräten und Schaltanlagen aufgrund teilweise zwingend anzuwendender nationaler Normen, die neben den Regelwerken wie "IEC", "CENELEC" und "CEE" bestehen. So wird z. B. für den nordamerikanischen Markt (USA, Kanada)

die UL- bzw. CSA-Approbation gefordert. Hier besteht zusätzlich Kennzeichnungspflicht, d.h. das Approbationszeichen muss als Aufschrift am Gerät angebracht sein.

Arbeitsbereich
Bereich, in dem die Betätigungsspannung von der Bemessungsbetätigungsspannung abweichen darf, ohne dass die Betriebssicherheit des Schaltgeräts (z. B. Schütz) beeinträchtigt wird.

Arbeitsstromauslöser
Siehe Spannungsauslöser. Hilfsauslöser zum Fernauslösen und zur Verriegelung von Schlossschaltern. Ein Elektromagnet, der bei Erregung seiner Spule einen Anker anzieht und dadurch das Schaltschloss entklinkt. Die Spannungsquelle kann von der Spannung im Hauptstromkreis unabhängig sein.

AS-Interface
Siehe Aktuator-Sensor-Interface

AS-International Association
Die AS-International Association fördert das AS-Interface als hersteller-unabhängigen Industriestandard. Sie steht Anwendern und Herstellern von AS-Interface sowie Forschungsinstituten offen.
Nationale Gruppen bestehen in verschiedenen Ländern.

Weitere Informationen im Internet unter: www.as-interface.net

Asymmetrischer Kurzschlussstrom
Kurzschlussstrom, der zunächst asymmetrisch zur Nulllinie verläuft, da er neben dem Kurzschlusswechselstrom einen Gleichstromanteil enthält. Der Gleichstrom klingt auf den Wert Null ab, und der Kurzschlussstrom wird symmetrisch.

Aufsteckwandler
Aufsteckwandler sind Wandler ohne Primärwicklung mit festen Sekundäranschlüssen, die auf den Leiter aufgeschoben werden.

Aufstellungshöhe
Bei Aufstellungshöhen über 2.000 m NN,
bei elektronischen Betriebsmitteln bereits über 1.000 m NN,
wird die Wärmeabgabe durch die geringere Luftdichte deutlich verschlechtert.
Daher wird eine Reduzierung des Bemessungsstroms erforderlich.
Ebenfalls kann die Spannungsfestigkeit vermindert sein.

Ausfall (failure)
Die Beendigung der Fähigkeit einer Einheit, eine geforderte Funktion zu erfüllen.

Auslösekennlinie
Die grafische Darstellung des Zusammenhangs zwischen Auslösezeit und beeinflussender Größe wird in der Auslösekennlinie dargestellt (Kennlinie). Aus dem Zeit-Strom-Diagramm ist z. B. zu entnehmen, nach welcher Zeit bei einem bestimmten Strom der Auslöser oder das Auslöserelais anspricht.

Auslöseklasse (CLASS)
Die Auslöseklasse eines stromabhängigen Überlastrelais (einschließlich thermischer und elektronischer Überlastrelais und Auslöser) gibt die maximale Auslösezeit unter gegebener Belastung aus dem kalten Zustand an. Die Auslöseklassen-Zahl (z. B. CLASS 10, 20, 30) steht für die maximal zulässige Auslösezeit in Sekunden, wenn das Relais mit symmetrischer 3-poliger Belastung aus kaltem Zustand mit dem 7,2-fachen Einstellstrom belastet wird (IEC 947-4-1; DIN VDE 0660 Teil 107). Auslöseklassen 20 und 30 werden z. B. für den Motorschutz unter Schweranlauf-Bedingungen verwendet.

Auslöser (eines mechanischen Schaltgeräts)
Mit einem mechanischen Schaltgerät verbundene Vorrichtung, die die Verklinkung beim Über- oder Unterschreiten vorgeschriebener Größen (z. B. Strom, Spannung) löst und damit das Öffnen oder Schließen des Schaltgeräts ermöglicht.

Auslösestrom (eines Überlastauslösers)
Stromwert, bei dem ein Auslöser innerhalb einer bestimmten Zeit auslöst.

Auslösezeit
Zeitspanne vom Beginn der Kommandogabe bis zu dem Zeitpunkt bei dem der Auslösebefehl unwiderruflich wird (Zeitbegriffe für den Ausschaltvorgang von Schaltern).

Ausschalten
Willkürliches Unterbrechen eines Stromkreises durch Öffnen der Schaltstücke eines Schaltgeräts.

Ausschaltstrom
Strom in einem Pol eines Schaltgeräts oder einer Sicherung zum Zeitpunkt der Lichtbogenentstehung (bei Wechselstrom der Effektivwert der Wechselstromkomponente).

Ausschaltvermögen
Effektivwert des Stroms bei einem bestimmten cos φ sowie einer bestimmten Spannung, den ein Schaltgerät oder eine Sicherung noch betriebssicher unter vorgeschriebenen Bedingungen abschalten kann (Bemessungsausschaltvermögen). Bei Wechselstrom gilt der Effektivwert der symmetrischen Komponente.

Ausschaltverzögerung
Definierte Verzögerung des Ausschaltvorgangs. Bei kurzzeitigem Netzausfall ist es gelegentlich erwünscht, dass eingeschaltete Schaltgeräte nicht sofort ausschalten, da sonst die nachfolgende Energieversorgung oder Steuerung ausfällt.
Als Abhilfemaßnahmen werden Leistungsschalter mit verzögertem Unterspannungsauslöser und Schütze mit Ausschaltverzögerer vorgesehen.

Ausschaltzeit
Dauer von Beginn der Befehlsgabe zum Öffnen eines Schaltgeräts bis zum endgültigen Erlöschen der Lichtbögen (Einschaltzeit).

Außenleiter
Leiter, die Stromquellen mit Verbrauchsmitteln verbinden, aber nicht vom Mittel- oder Sternpunkt ausgehen.

AUSTER
DV-Verfahren für Online- bzw. Offline-Betrieb zur Auswahl technischer Erzeugnisse mit ihren kompletten Erzeugnisdaten (zentrale Fabrikate-Datenbank).

AWG
American **W**ire **G**auge: amerikanisches Leiternormalmaß für Leiterquerschnitte bis 107,2 mm^2 = AWG 4/0, auch AWG 0000.

Back-up-Schutz
Zusammenwirken von zwei aufeinander abgestimmter, in Reihe geschalteter Überstromschutzeinrichtungen an Stellen, an denen ein Gerät (z. B. Leitungsschutzschalter) im Schadensfall den prospektiven Kurzschlussstrom allein nicht zu schalten vermag. Tritt ein entsprechend hoher Kurzschlussstrom auf, entlastet die vorgeordnete Überstromschutzeinrichtung die nächstliegende nachgeordnete und verhindert so deren übermäßige Beanspruchung. Die vorgeordnete Schutzeinrichtung muss ein entsprechendes Schaltvermögen besitzen. Die Schutzwirkung lässt sich durch Versuche ermitteln. Nach der Abschaltung sind beide Überstromschutzeinrichtungen voll funktionsfähig.

Baudrate
Die Baudrate ist die Geschwindigkeit bei der Datenübertragung und gibt die Anzahl der übertragenen Bits pro Sekunde an (Baudrate = Bitrate).

Bausteinprinzip
Eine Methode, die es ermöglicht, mit einzelnen funktionsfähigen und aufeinander abgestimmten Bausteinen ein Grundgerät zu komplettieren oder für besondere Anwendungsfälle aus- bzw. nachzurüsten oder einen Verteiler mit einfachen Hilfsmitteln zu verschiedenen Varianten zusammenzubauen (Beispiele: Schütze, Überlastrelais, Zeitrelais, Leistungsschalter, Verteilersysteme).

Vorteile der modularen Bauweise: Im wesentlichen Vereinfachung der Lagerhaltung, Beweglichkeit in der Anpassung an die gestellte Aufgabe.

Bedienungsgang innerhalb von Schaltanlagen
Raum, den der Bedienende für die betriebsmäßige Bedienung elektrischer Einrichtungen (wie schalten, steuern, einstellen, beobachten) betreten muss.

Befehlsgerät
Schaltgeräte in Hilfsstromkreisen, die, von Hand betätigt, Befehle (z. B. einschalten, ausschalten) an zugeordnete Schaltgeräte im Hauptstromkreis geben.

Befehlsmindestdauer
Mindestzeit, die ein elektrisches Signal anstehen muss, damit angesteuerte Schaltgeräte den Befehl ausführen können.

Belastbarkeit
Fähigkeit eines Leiters oder eines Geräts, einen höchstzulässigen Strom unter bestimmten Bedingungen zu führen oder zu schalten.
Die Belastbarkeit eines Schaltgeräts ist u. a. von Baugröße, Kapselung und Umgebungstemperatur abhängig.

elektrisch:	Belastungsstrom,
mechanisch:	mechanische Lebensdauer,
thermisch:	Grenztemperatur, Bemessungskurzzeitstrom,
dynamisch:	dynamische Kurzschlussfestigkeit, Stoßkurzschlussstrom.

Belastungsstrom
Strom, mit dem eine Strombahn (z. B. Schaltgerät, Leitung) dauernd oder kurzzeitig belastet werden kann, ohne dass sie thermisch (Grenztemperatur) oder dynamisch überbeansprucht wird.

Belüftung
Niederspannung-Schaltgeräte werden gekapselt, um gegen Umwelteinflüsse geschützt zu sein. Je höher die Schutzart der Kapselung, umso weniger findet ein Wärmeaustausch statt. Bei stark wechselnden Temperaturen kann sich im Gehäuseinneren Kondenswasser bilden, das schädigende Einwirkungen auf die eingebauten Geräte haben kann. Um eine Kondenswasserbildung zu verhindern, kann eine Belüftung der Gehäuse erforderlich sein.
Bei größeren Schaltanlagen wird eine Fremdbelüftung bevorzugt. Ein Ventilator sorgt für eine entsprechende Luftzirkulation.

Bemessungsausschaltvermögen
Höchster Strom, den ein Schaltgerät unter bestimmten Bedingungen ausschalten kann.

Bemessungsbetätigungsspannung U_c
Der Bemessungswert der Betätigungsspannung, für die z. B. der Kraftantrieb oder der Spannungsauslöser bemessen ist: bei Spannungsauslöserspulen auch als Spulenbemessungsspannung bezeichnet.

Bemessungsbetriebsspannung U_e
Bemessungsbetriebsspannung eines Schaltgeräts (z. B. Leistungsschalters) ist der Spannungswert, auf den sich das Einschalt- und Ausschaltvermögen sowie die Kurzschluss-Leistungskategorien beziehen.
Bei mehrphasigen Stromkreisen wird die Spannung im Allgemeinen zwischen den Phasen (Außenleitern) angegeben.

Anmerkung:
Ein Leistungsschalter kann mehrere Bemessungsbetriebsspannungen haben. Dementsprechend können sich unterschiedliche Bemessungseinschalt- und Bemessungsausschaltvermögen bei verschiedenen Aufgabenstellungen und Kurzschlusskategorien ergeben.

Bemessungsbetriebsstrom I_e
Der Bemessungsbetriebsstrom ist der Strom, der durch die Gebrauchsbedingungen eines Schaltgeräts bestimmt wird. Er trägt der Bemessungsspannung und Bemessungsfrequenz, der Betriebsart, der Gebrauchskategorie, der Schaltstücklebensdauer und der Schutzart Rechnung. Der Bemessungsbetriebsstrom (I_e) eines Motorstarters ist vom Einstellstrom des Überlastrelais, von der Bemessungsbetriebsspannung

Ue, Bemessungsfrequenz, Betriebsart, Gebrauchskategorie sowie von der Art des Gehäuses (Umhüllung) abhängig. Einem Schaltgerät können mehrere verschiedene Bemessungsbetriebsströme zugeordnet werden.

Bemessungsdauerstrom I_u
Der Bemessungsdauerstrom eines Schaltgeräts, z. B. eines Leistungsschalters, ist ein vom Hersteller angegebener Stromwert, den das Schaltgerät im Dauerbetrieb ununterbrochen führen kann.

Bemessungseinschaltvermögen
Höchster Strom, den ein Schaltgerät unter bestimmten Bedingungen einschalten kann.

Bemessungsfehlerstrom $I_{\Delta n}$
Bemessungsfehlerstrom $I_{\Delta n}$ ist derjenige Fehlerstrom (Differenzstrom), für den die FI-Schutzschalter gebaut und mit dessen Wert sie gekennzeichnet sind.

Bemessungsfrequenz
Die Bemessungsfrequenz ist diejenige Netzfrequenz, für die die Schaltgeräte (z. B. Leistungsschalter) bestimmt sind und auf die sich die übrigen Kenndaten beziehen.

Bemessungsisolationsspannung U_i
Spannungswert, der die Isolationsfestigkeit des Schaltgeräts oder Zubehörteils angibt und auf den sich die Isolationsprüfungen sowie die Kriech- und Luftstrecken beziehen. Die höchste Bemessungsbetriebsspannung darf auf keinen Fall größer als die Bemessungsisolationsspannung sein.

Anmerkung:
Bei Geräten ohne festgelegte Bemessungsisolationsspannung ist die höchste Bemessungsbetriebsspannung als Bemessungsisolationsspannung anzunehmen.

Bemessungsgrenzkurzschlussausschaltvermögen I_{cu}
Grenzwert des Bemessungskurzschlussausschaltvermögens

Bemessungskurzschlussausschaltvermögen I_{cn}
Das Bemessungskurzschlussausschaltvermögen eines Leistungsschalters ist der Wert des Kurzschlussstroms, den er bei Bemessungsbetriebsspannung, Bemessungsfrequenz und festgelegtem Leistungsfaktor (oder festgelegter Zeitkonstante) ausschalten kann. Es gilt der Wert des unbeeinflussten Stroms (bei Wechselstrom: Effektivwert der Wechselstrom-

komponente), der vom Hersteller angegeben wird. Bei Wechselstrom-Leistungsschaltern muss das Bemessungskurzschlussausschaltvermögen unabhängig von der Größe der Gleichstromkomponenten (Gleichstromanteil) sein. Das Bemessungskurzschlussausschaltvermögen schließt ein, dass der Leistungsschalter jeden Strom bis zum Bemessungskurzschlussausschaltvermögen bei netzfrequenter wiederkehrender Spannung mit 110 % der Bemessungsbetriebsspannung ausschalten kann.

Dies gilt
- für Wechselstrom bei jedem Wert des Leistungsfaktors, jedoch nicht kleiner als in der jeweiligen Prüfvorschrift festgelegt,
- für Gleichstrom, wenn nicht anders vom Hersteller angegeben, mit jeder Zeitkonstante, jedoch nicht größer als in der jeweiligen Prüfvorschrift festgelegt.

Bei netzfrequenter wiederkehrender Spannung über 110 % der Bemessungsbetriebsspannung gilt das Kurzschlussausschaltvermögen nicht.

Bemessungskurzschlusseinschaltvermögen I_{cm}
Das Bemessungskurzschlusseinschaltvermögen eines Leistungsschalters ist der vom Hersteller angegebene Wert des Kurzschlussstroms, den er bei Bemessungsbetriebsspannung, Bemessungsfrequenz und festgelegtem Leistungsfaktor (oder festgelegter Zeitkonstante) einschalten kann. Es wird durch den maximalen Scheitelwert des unbeeinflussten Stroms ausgedrückt.

Bei Wechselstrom-Leistungsschaltern muss das Bemessungskurzschlusseinschaltvermögen mindestens gleich dem Bemessungskurzschlussausschaltvermögen, multipliziert mit dem Faktor n, sein.

Bei Gleichstrom-Leistungsschaltern muss das Bemessungskurzschlusseinschaltvermögen mindestens gleich dem Bemessungskurzschlussausschaltvermögen sein. Hierbei wird vorausgesetzt, dass der Endwert des Kurzschlussstroms konstant ist.

Das Bemessungskurzschlusseinschaltvermögen schließt ein, dass der Leistungsschalter den Strom bei einer angelegten Spannung bis einschließlich 110 % der Bemessungsbetriebsspannung einschalten kann.

Bemessungskurzzeitstrom I_{cw}
Zulässiger Effektivwert der Wechselstromkomponente des unbeeinflussten Kurzschlussstroms, den das Schaltgerät eine bestimmte Zeit lang, z. B. von 0,05 s bis 1 s (1-s-Strom), führen kann (thermische Kurzschlussfestigkeit).

Bemessungsleistung $S_{rT}(P_S)$ eines Transformators
Die Ausgangsscheinleistung (in VA oder kVA) ist das Produkt aus Bemessungsausgangsspannung und Bemessungsausgangsstrom: bei dreiphasigen Drehstromtransformatoren der √3-fache Wert, für die der Transformator unter den zugrunde gelegten Bezugsbedingungen dimensioniert ist.

Bemessungsschaltvermögen
Bemessungseinschaltvermögen und Bemessungsausschaltvermögen. Das Schaltvermögen für Kurzschlussströme wird durch den unbeeinflussten Dauerkurzschlussstrom an der Einbaustelle des Leistungsschalters ausgedrückt. Bei Wechselstrom gilt der Effektivwert der symmetrischen Komponente.

Bemessungsspannung U_r
Spannung eines Schaltgeräts, auf die sich die Angaben seines Bemessungsschaltvermögens beziehen. Bei Drehstromkreisen gilt die Dreieckspannung (verkettete Spannung) des Netzes als Nennspannung U_n (DIN 40 108).
Für Schaltgerätekombinationen muss der Hersteller die Spannungsgrenzen angeben, innerhalb deren die einwandfreie Funktion der Haupt- und Hilfsstromkreise gesichert ist. Auf jeden Fall müssen diese Grenzen so liegen, dass die Spannung an den Klemmen der Steuerstromkreise der eingebauten Betriebsmittel unter normalen Belastungsbedingungen innerhalb der Grenzwerte bleibt, die in den für diese Betriebsmittel geltenden Normen festgelegt sind.
Schaltgeräte werden weiter durch folgende Bemessungsspannungen gekennzeichnet: Bemessungsbetriebsspannung U_e und Bemessungsisolationsspannung U_i.

Anmerkung:
Für den Begriff Bemessungsspannung U_r wird heute teilweise noch der frühere Begriff Nennspannung U_n verwendet.

Bemessungsstoßspannungsfestigkeit (U_{imp})
Spitzenwert einer Stoßspannung festgelegter Form und Polarität, mit dem das Gerät unter vorgegebenen Prüfbedingungen ohne Ausfall beansprucht werden kann und auf den sich die Luftstrecken beziehen. Die Bemessungsstoßspannungsfestigkeit eines Geräts muss den Stoßüberspannungen (transiente Überspannungen), die in dem Netz auftreten, in dem das Gerät eingesetzt wird, entsprechen oder größer sein.

Bemessungsstoßstrom (Stoßkurzschlussstrom) $\mathbf{i_p}$
Größter zulässiger Augenblickswert (Scheitelwert) des unbeeinflussten Kurzschlussstroms in der höchstbeanspruchten Strombahn. Er kennzeichnet die dynamische Kurzschlussfestigkeit eines Schaltgeräts.

Bemessungsstrom I_n
Für Leistungsschalter ist der Bemessungsstrom der Bemessungsdauerstrom I_u und gleich dem konventionellen thermischen Strom in freier Luft I_{th}.

Bemessungsspannung für Kriechstrecken (DIN VDE 0110 Teil 1)
Spannungswert, nach dem die Kriechstrecken eines Geräts bei gegebenem Isolierstoff und angenommenen Verschmutzungsgrad festgelegt werden.

Bemessungsstoßspannung für Luftstrecken (DIN VDE 0110 Teil 1)
Spannungswert, nach dem die Luftstrecken eines Geräts bei gegebener Überspannungskategorie und angenommen Verschmutzungsgrad festgelegt werden.

Bemessungswert
Ein für eine vorgegebene Betriebsbedingung geltender Wert einer Größe, der im Allgemeinen vom Hersteller für ein Bauteil, ein Gerät oder eine Einrichtung festgelegt wird.

BERO
BERO (Berührungslose Endtaster mit rückgekoppeltem Oszillator) gibt es als induktive, kapazitive und als Ultraschall-Ausführung. Es handelt sich um kontakt- und berührungslos arbeitende Positionsschalter, die keine dem mechanischen Verschleiß unterliegenden Teile enthalten. Sie werden in den Normen unter der Bezeichnung "Näherungsschalter" geführt.

Berührungsspannung
Teil einer im Fehlerfall auftretenden Spannung (Fehlerspannung), der durch Berühren von einem Menschen überbrückt werden kann.

Beschaltung
Auf Schaltüberspannungen dämpfend bzw. begrenzend wirkendes Bauelement (z. B. Widerstand und Kondensator, Diode, Varistor), z. B. auf der Lastseite oder an der Magnetspule des Schaltgeräts.

Betätigung
Überführung der bewegbaren Schaltstücke von einer Stellung in eine andere.

Anmerkung:
Das kann Schließen oder Öffnen sein. Wenn eine Unterscheidung erforderlich ist, wird eine Betätigung im elektrischen Sinn (z. B. Ein- oder Ausschalten) als Schaltvorgang und eine Betätigung im mechanischen Sinn (z. B. Schließen oder Öffnen) als mechanische Betätigung bezeichnet.

β, Beta
Faktor des Ausfalls in Folge gemeinsamer Ursache CCF-Faktor: common cause failure factor β (0,1 - 0,05 - 0,02 - 0,01)

Betätigung durch abhängigen Kraftantrieb
Betätigung durch eine andere Kraft als die eines Menschen, bei der das vollständige Schließen oder Öffnen von der Kontinuität der Energiezufuhr abhängt (z. B. Magnetantriebe, Motorantriebe, Druckluftantriebe).

Betätigung durch Speicherantrieb
Betätigung durch eine im Antriebsmechanismus gespeicherte Energie, die ausreicht, um den Schaltvorgang unter festgelegten Bedingungen zu vollenden. Die Energie wird vor Beginn der Betätigung gespeichert.

Betätigungselement
Bei Befehlsgeräten das Teil, das in die Schalttafel eingebaut wird und auf der Vorderseite die Handhabe trägt: die Handhabe betätigt das Schaltelement. Handhaben von Betätigungselementen sind z. B.: Drucktaster, Tast- bzw. Rastknebel, Schwenkhebel, Tasthebel, Koordinatenhebel, Kipphebel, Schlüssel, Leuchtdrucktaster.
Bei Näherungsschaltern wird das Teil als Betätigungselement bezeichnet, auf das der Näherungsschalter reagiert bzw. anspricht. Form, Material und Abmessungen dieses Teils beeinflussen die Ansprechkennlinie.

Betätigungsspannung
Die Betätigungsspannung eines Schaltgeräts ist die Spannung an den Anschlüssen von Kraftantrieben oder Auslösern, wenn der Betätigungsstrom fließt. Bei Kombinationen mit fest zugeordneten Widerständen, Drosseln, Transformatoren oder Gleichrichtern gilt die Spannung an den Anschlüssen der Kombination als Betätigungsspannung.

Betätigungsstromkreis (Hilfsstromkreis)
Dieser Stromkreis (zum Ein- und Ausschalten von Schaltgeräten) umfasst die Spannungsquelle, die Schaltstücke der Befehlsgeräte, die elektrischen Kraftantriebe der Schaltgeräte (Spule bzw. Motorantrieb) sowie die Hilfsschaltglieder.

Betriebsarten
Angabe über den Betrieb von Motoren unter festgelegten Bedingungen.

Es wird zwischen folgenden Betriebsarten unterschieden:

1. Dauerbetrieb (S 1)
   Betrieb mit konstanter Belastung, dessen Dauer so lang ist, dass die Beharrungstemperatur des Motors erreicht wird.
2. Kurzzeitbetrieb (S2)
   Betrieb mit konstanter Belastung, dessen Dauer so kurz ist, dass die Beharrungstemperatur des Motors nicht erreicht wird.
3. Aussetzbetrieb (S3 bis S6)
   Betrieb, der sich aus einer Folge identischer Schaltspiele zusammensetzt.

Betriebsklassen
Betriebsklassen für Niederspannungssicherungen sind durch Buchstaben gekennzeichnet, von denen der erste den Ausschaltbereich (Funktionsklasse), die folgenden das zu schützende Objekt kennzeichnen.

Folgende Schutzobjekte sind festgelegt:
L Kabel und Leitungen,
zukünftig G (generelle Anwendungen)
M Schaltgeräte,
R Halbleiter,
B Bergbauanlagen,
Tr Transformatoren.

Aus Ausschaltbereich und Schutzobjekt ergeben sich folgende Betriebsklassen:
gG/gL Ganzbereichs-Kabel- und -Leitungsschutz,
aM Teilbereichs-Schaltgeräteschutz,
aR Teilbereichs-Halbleiterschutz,
gR Ganzbereichs-Halbleiterschutz,
gB Ganzbereichs-Bergbau-Anlagenschutz,
gTr Ganzbereichs-Transformatorenschutz.

Ausschaltbereiche (Funktionsklassen):
Ausschaltbereiche legen fest, welchen Strombereich der Sicherungseinsatz ausschalten kann.

Ausschaltbereich (Funktionsklasse) g:
Diesen Ausschaltbereich beherrschen Ganzbereichssicherungen, die Ströme bis wenigstens zu ihrem Bemessungsstrom dauernd führen und Ströme vom kleinsten Schmelzstrom bis zum Bemessungsausschaltstrom ausschalten können.

Ausschaltbereich (Funktionsklasse) a:
Diesen Ausschaltbereich beherrschen Teilbereichssicherungen, die Ströme bis wenigstens zu ihrem Bemessungsstrom dauernd führen und Ströme oberhalb eines bestimmten Vielfachen ihres Bemessungsstromes bis zum Bemessungsausschaltstrom ausschalten können.

Betriebsmäßiges Schalten
Schalten eines Schaltgeräts, bei dem Grenzen eingehalten werden, die durch die Bemessungsdaten gegeben sind, z. B. Schalthäufigkeit, Bemessungsleistung.

Betriebsmittel (elektrische)
Technische Erzeugnisse oder deren Bestandteile, soweit sie nach Funktion und Aufbau dem Anwenden elektrischer Energie dienen. Hierzu gehören Gegenstände zum Erzeugen, Fortleiten, Verteilen, Speichern, Messen, Überwachen, Steuern, Regeln, Umsetzen und Verbrauchen elektrischer Energie.

Betriebsspannung
Die jeweils örtlich zwischen den Leitern herrschende Spannung an einem elektrischen Betriebsmittel oder Anlagenteil.

Betriebsstellung
Stellung der bewegbaren Teile eines Schaltgeräts, wenn der Antrieb betätigt ist (Gegenteil Ruhestellung).

Im Schaltanlagenbau: Stellung eines Einschubs, in der dieser für die vorgesehene Funktion voll angeschlossen ist (Trennstellung, Teststellung).

Binär
Binär bedeutet soviel wie "aus zwei Einheiten bestehend". Beide Werte sind meist durch 0 oder L (low) bzw. 1 oder H (high) gekennzeichnet. Vorteile der binären Darstellung ist die einfache Realisierbarkeit beider Werte in der Elektronik durch "Spannung vorhanden" beziehungsweise "keine Spannung vorhanden". Die meisten elektromechanischen Schaltgeräte, wie z. B. Schütze und Leistungsschalter sind entweder im geschlossenen oder geöffneten Zustand (EIN oder AUS) und werden daher als "binäre" Geräte bezeichnet.

Bit, bit
Abkürzung für "binary digit" (zweiwertige Ziffer). Kleinste Informationseinheit in der Digitaltechnik, 1 bit entspricht einer Binärentscheidung (Binär), z. B. H (high) oder L (low).

Blasspule
Sonderspule mit einer Anzahl von Windungen, die in jeder Hauptstrombahn (oder jedem Pol) eines Gleichstrom-Schaltgeräts integriert ist, um die Lichtbogenlöschung während des Öffnens der Schaltstücke zu verbessern.
Das durch den Stromfluss durch die Spule entstehende Magnetfeld bläst den Lichtbogen in die Lichtbogenkammer, in der er gekühlt und endgültig gelöscht wird, um so den Stromfluss zu unterbrechen. In Fällen, in denen das Magnetfeld der Blasspule zu schwach wäre, um den Lichtbogen von den Schaltstücken in die Lichtbogenkammer zu blasen, übernimmt ein in die Schaltkammer des Schaltgeräts eingebauter Dauermagnet diese Aufgabe.
Bei Wechselstrom-Schaltgeräten wird ein ähnlicher Effekt mittels einer einzelnen Kurve oder Schleife in der Strombahn erreicht; die Lichtbogenlöschung ist hier allerdings nicht im gleichen Maße relevant, da der Strom nach jeder Halbschwingung seinen Nulldurchgang erreicht. Diese Methode wird auch "magnetische Ausblasung" genannt.

Blindleistung
Leistung, die bei Wechsel- und Drehstrom zum Aufbau der elektromagnetischen Felder, z. B. in Elektromotoren und Transformatoren, erforderlich ist. Sie ist zum Betrieb aller induktiven Verbraucher unerlässlich, kann aber im Gegensatz zur Wirkleistung in keine nutzbare Energieform umgesetzt werden. Sie belastet damit "unnütz" Kabel und Anlagen, besonders die Netze von Energieversorgungsunternehmen (EVU). Kondensatorregelanlagen, Kompensationsanlagen, Kondensatoren, die zusätzlich eingebaut werden, liefern für den Verbraucher die nötige kapazitive Blindleistung, kompensieren somit induktive Felder und entlasten dadurch die Energieversorgungsnetze.

Blindleistungsregeleinheit
Sie besteht aus zu- und abschaltbaren Kondensatoren zur Kompensation der veränderlichen Blindleistung in Netzen.

Blindleistungsregler
Der Blindleistungsregler misst die anstehende Blindleistung und gibt, bei Abweichungen vom Sollwert, Schaltbefehle an die Schütze. Diese schalten je nach Bedarf Kondensatorgruppen zu oder ab.

Blockiersignal
Signal zum Verhindern der Änderung einer Schaltstellung. Dies ist z. B. ein Signal an ein Schaltgerät, trotz Überschreitung des Ansprechwerts des unverzögerten Kurzschlussauslösers, nicht auszulösen (n-Auslöser) oder erst nach einer vorbestimmten Zeit verzögert auszulösen (z-Auslöser), wenn der Ansprechwert zu diesem Zeitpunkt noch überschritten ist.

Bremswächter (Drehzahlwächter)
In Verbindung mit Bremsschützen zum schnellen Abbremsen von elektrischen Antrieben, die durch Gegenstrom in kürzester Zeit zum Stillstand gebracht werden sollen. Das Gerät schaltet den Bremsstrom kurz vor Erreichen des Stillstands selbsttätig ab.

Bürde
Begriff aus der Messtechnik. Mit Bürde wird der an den Sekundärkreis eines Wandlers angeschlossene Gesamtwiderstand (Leitung plus Instrumentenwiderstand) eines Messkreises bezeichnet.

Bus
Sammelleitungssystem zwischen Funktionseinheiten über das ein Austausch von Daten, z.B. zum Steuern, Melden, Parametrieren, stattfindet. Der gemeinsame Übertragungsweg, mit dem alle Teilnehmer verbunden sind, besitzt zwei definierte Enden.

Busanschlussstecker
Physikalische Verbindung zwischen Station (Master oder Slave) und Busleitung.

Bussegment
Siehe Segment.

Bussystem
Alle Stationen, die physikalisch über eine Busleitung verbunden sind, bilden ein Bussystem.

Byte
Aufeinanderfolge von 8 Bit, die als Einheit angesehen werden.

B10
Der B10-Wert für verschleißbehaftete Komponenten wird in Anzahl Schaltspiele ausgedrückt: dies ist die Anzahl der Schaltspiele, bei der im Laufe eines Lebensdauerversuchs 10 % der Prüflinge ausgefallen sind. Mit dem B10-Wert und dem Betätigungszyklus kann die Ausfallrate für elektromechanische Komponenten errechnet werden.

CCF (common cause failure)
Ausfall in Folge gemeinsamer Ursache (z. B. Kurzschluss). Ausfälle verschiedener Einheiten aufgrund eines einzelnen Ereignisses, wobei diese Ausfälle nicht auf gegenseitiger Ursache beruhen.

CEE
Internationale Kommission als Verfasser von "Regeln zur Begutachtung elektrotechnischer Erzeugnisse" (**C**ommission de l'**é**quipment **é**lectrique). Sie hat es übernommen, nationale Vorschriften und Regeln in eine international anwendbare Fassung zu bringen. Diese Regeln sollen es den Herstellern elektrotechnischer Erzeugnisse erleichtern, ihre Produkte weltweit anzubieten.

CENELEC
Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung (**C**omité **E**uropeen de **N**ormalisation **Élec**trotechnique). CENELEC hat die Aufgabe, auf der Grundlage von IEC-Publikation (IEC) aus nationalen Vorschriften und Bestimmungen der beteiligten Länder eine internationale Normung zum Nutzen der europäischen Elektroindustrie zu erarbeiten.

Chopping-Effekt (vorzeitiger Stromabriss)
Stromabriss und Lichtbogenlöschung vor dem natürlichen (betriebsfrequenten) Strom-Nulldurchgang beim betriebsmäßigen Ausschalten. Typische Werte für den Abreißstrom I_{ab} sind 2...5 A. Sie gelten für alle Schaltprinzipien, auch für die SF_6-Schalttechnik.

CLASS (Zeit)
Maximale Auslösezeit in Sekunden eines Überlastrelais bei dreipoliger Belastung aus dem kalten Zustand mit dem 6-fachen Einstellstrom.

cos φ
Leistungsfaktor; Verhältnis von Wirkleistung zu Scheinleistung in Wechselstrom- und Drehstromnetzen.

Datenübertragung
Übertragung von elektronischen Signalen (d.h. Daten, Informationen) zwischen kommunikationsfähigen Anlagen und Anlagenteilen.

Zu unterscheiden sind:
1. serielle Datenübertragung.
   Hierbei werden die Signale nacheinander über eine Leitung (Busleitung) geführt (z. B. Profibus).
   Vorteil: Zur Überbrückung langer Strecken wird nur eine Leitung benötigt.

2. parallele Datenübertragung.
   Die Signale werden gleichzeitig parallel über mehrere Leitungen geführt.
   Vorteil: Zeitkritische Signale können sehr schnell übertragen werden.

Die Geschwindigkeit, mit der Daten in Code-Elementen pro Sekunde übertragen werden, wird Baudrate genannt. Unter Datenübertragung ist der Datenfluss in eine Richtung zu verstehen. Werden Daten in beide Richtungen übertragen, erfolgt ein Datenaustausch.

Dauerbetrieb (S 1)
Der Dauerbetrieb ist eine Bemessungsbetriebsart, bei der die Hauptschaltstücke eines Schaltgeräts bei gleich bleibender Strombelastung ohne Unterbrechung länger als acht Stunden geschlossen bleiben (für Wochen, Monate oder sogar Jahre).

Anmerkung:
Diese Bemessungsbetriebsart ist vom Acht-Stunden-Betrieb zu unterscheiden, weil durch Oxydation und Verschmutzung der Kontaktflächen eine fortschreitende Erwärmung eintreten kann.

DC (diagnostic coverage), Diagnosedeckungsgrad
Abnahme der Wahrscheinlichkeit gefahrbringender Hardwareausfälle, die aus der Ausführung der automatischen Diagnosetests resultiert.

Deionisationskammer
Siehe Löschblechkammer bzw. Lichtbogenkammer.

Deionisierung
Physikalischer Vorgang, bei dem ionisierte Gase (Plasmen) neutralisiert werden.
Durch Schalten von Strömen entstehen Lichtbogen, die die umgebende Luft ionisieren und Trennstrecken leitend machen. Diese gefährliche Erscheinung wird in der Lichtbogenkammer (Deionkammer) auf ein Zeitminimum verkürzt, indem der Lichtbogen in mehrere Einzellichtbogen aufgeteilt und ihm solange Energie entzogen wird, bis er erlischt und eine Deionisierung des Schaltraums stattgefunden hat.

Differenzstrom (Fehlerstrom)
Im ungestörten Netz ist die Summe der vektoriell addierten Momentanwerte der Ströme Null.
Der Differenzstrom ist die von Null abweichende Summe der

Momentanwerte von Strömen, die an einer Stelle der elektrischen Anlage durch alle aktiven Leiter eines Stromkreises fließen.
(Bei Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen nach DIN VDE 0664 wird der Differenzstrom mit "Fehlerstrom" bezeichnet.)

Differenzstromauslöser (Fehlerstromauslöser)
Auslöser, der das Öffnen eines mechanischen Schaltgeräts verzögert oder unverzögert freigibt, wenn der Differenzstrom einen vorgegebenen Wert überschreitet.

Digital
Darstellung einer Größe in Form von Zeichen oder Zahlen. Der funktionelle Verlauf einer ursprünglich veränderlichen, analogen Größe wird in vorgegebenen Stufen, denen festgelegte Werte zugeordnet sind, nachgebildet.

Digitalanzeige
Anzeige eines Messgeräts, bei der das Messergebnis als Ziffernfolge, im Allgemeinen als dekadische Zahl, angegeben wird.

Direkter Überstromauslöser
Überstromauslöser, der unmittelbar vom Strom in der Hauptstrombahn eines Leistungsschalters erregt wird.

Drehstrom
Dreiphasiger Wechselstrom, der aus drei zeitlich um das Drittel einer Periode (120°) einander nacheilenden Wechselströmen besteht. Drehstrom hat gegenüber dem einphasigen Wechselstrom den Vorteil, die gleiche Energiemenge kostengünstiger transportieren zu können.

Druckkontakt
Kontaktgabe allein durch Aufeinanderdrücken zweier Schaltstücke. Beim Einschalten sind die Kontaktauflagen nicht durch Reibung beansprucht.

Durchlassstrom i_D
Größter Augenblickswert des Stroms während der Ausschaltzeit eines Schaltgeräts oder einer Sicherung. Beeinflusste Kurzschlussströme treten auf, wenn das Schaltgerät z. B. durch Widerstand, Schaltverzug und Lichtbogenspannung die Amplitude des Kurzschlussstroms herabsetzt. Der Durchlassstrom eines Geräts (z. B. strombegrenzende Sicherung und strombegrenzender Leistungsschalter) ist maßgebend für die thermische Beanspruchung (I^2t-Wert) nachgeschalteter Geräte (Strombegrenzung).

Dynamische Kurzschlussfestigkeit
Mechanische Festigkeit gegen Kurzschlussbeanspruchung bei Schaltgeräten und besonders bei Sammelschienen in Schaltanlagen und Verteiler (Kurzschlussfestigkeit).

ED in %
Die relative Einschaltdauer ED in % ist das Verhältnis zwischen Belastungsdauer und Spieldauer bei Verbrauchern, die häufig aus- und eingeschaltet werden.

EEMAC-Baugrößen
Siehe NEMA-Baugrößen/EEMAC-Baugrößen (für Schütze und Motorstarter).

Effektivwert (Quadratischer Mittelwert)
Wert, der der Wurzel aus dem quadratischen Mittelwert einer Wechselstromgröße entspricht. Da die Werte in einem Wechselstromnetz von der Phasenlage abhängige Augenblickswerte sind, werden in der Wechselstromlehre Strom und Spannung als Effektivwert angegeben. Messgeräte (Drehspulinstrumente) zeigen stets den Effektivwert an.

Für die Sinuskurve ist der Effektivwert = $1/\sqrt{2}$ • Amplitude (Scheitelwert).

Der Effektivwert eines Wechselstroms entspricht wertmäßig dem eines Gleichstroms, der die gleiche Wärme (Leistung) wie der Wechselstrom erzeugt.

Eigenkurzschlussfestigkeit
Bei Leistungsschaltern mit niedrigen Einstellströmen des thermisch verzögerten Überlastauslösers ist der Widerstand der Strombahn mit der Heizwicklung des Bimetallstreifens sowie der Spule des unverzögerten elektromagnetischen Kurzschlussauslösers sehr groß. Er kann so groß sein, dass er jeden Kurzschlussstrom I_k auf einen Wert dämpft, der vom Schalter noch thermisch und dynamisch beherrscht wird und auch ausgeschaltet werden kann.
Der Leistungsschalter ist dann "eigenkurzschlussfest". Er lässt sich an beliebigen Netzstellen einsetzen, an denen (auch) Kurzschlussströme über seinem Kurzschlussschaltvermögen zu erwarten sind. Der Einstellbereich, bis zu dem der Leistungsschalter kurzschlussfest ist, hängt vom Schaltvermögen des Leistungsschalters ab.
Da dieses wiederum von der Bemessungsspannung abhängt, ist auch die "Eigenkurzschlussfestigkeit" bei jeder Bemessungsspannung verschieden.

Eigenzeit
Teil der Gesamtausschaltzeit eines Schaltgeräts. Sie umfasst den Zeitbereich vom Unterbrechen der Betätigungsspannung bis zum Beginn des Öffnens der Schaltstücke der zuletzt öffnenden Strombahn.

Ein- bzw. Ausschaltzeit
Dauer vom Beginn der Befehlsgabe zum Ein- bzw. Ausschalten eines Schaltgeräts bis der Strom in allen Polen gleichmäßig fließt bzw. nicht mehr fließt.

Beim Draufschalten auf einen Kurzschlussstrom die Dauer, die vom Zeitpunkt des Erreichens des Ansprechstroms eines Auslösers vergeht bis zu dem Zeitpunkt, in dem der Lichtbogen in allen Phasen gelöscht ist.

Einbaulage
Die vom Hersteller eines Schaltgeräts vorgeschriebene Montageposition bzw. Gebrauchslage, um die ordnungsgemäße Funktion des Geräts zu gewährleisten.

Einphasenlauf
Anomaler Betriebszustand eines Drehstrom-Asynchronmotors, bei dem eine Phase unterbrochen ist (z. B. Leiterbruch, Abschmelzen einer Sicherung). Zur Erhöhung der Sicherheit ist es in solchen Fällen empfehlenswert, Schaltgeräte mit Phasenausfallempfindlichkeit einzusetzen.

Einsatz
Baugruppe aus Betriebsmitteln, die auf einer gemeinsamen Tragkonstruktion für festen Einbau zusammengebaut und verdrahtet sind.

Einschaltaugenblick
Augenblick, in dem sich die Schaltstücke beim Einschalten berühren.

Einschaltbereit
Zustand eines Schaltgeräts, bei dem alle Voraussetzungen (Sicherheit, Rückstellung, Entsperrungen usw.) für das Einschalten eines Verbrauchers oder einer Schaltanlage erfüllt sind.

Einschaltdauer
Zeit, während der die Schaltstücke geschlossen bleiben (relative ED in %).

Einschaltdauer, relative (ED)
Verhältnis von Betriebszeit unter Belastung, einschließlich Anlauf- und Bremszeit (Anlauf), zur Spieldauer (Schaltspiel), ausgedrückt in Prozent. Die ED hat Einfluss auf das thermische Verhalten der Betriebsmittel und ist beim Festlegen der Betriebsarten zu beachten.

Einschalten
Herstellen eines geschlossenen Stromkreises durch Schließen der Schaltstücke eines Schaltgeräts.

Einschalteigenzeit
Zeitspanne vom Augenblick des Einleitens der Schließbewegung bis zum Augenblick der Kontaktberührung in allen Polen.

Einschaltstrom (Rushstrom)
Strom, der unmittelbar nach dem Berühren der Schaltstücke beim Zuschalten eines Transformators oder Motors auftritt. Die Größe ist vom Einschaltaugenblick (Phasenlage der Spannung) abhängig. Maximaler Strom fließt beim Einschalten im Spannungsnulldurchgang: er klingt nach etwa 20 ms auf den Bemessungswert ab.

Einschaltstromauslöser
Auslöser, der während des Einschaltvorgangs einen Leistungsschalter ohne beabsichtigte Verzögerung öffnen soll, wenn der Einschaltstrom einen gegebenen Wert überschreitet. Ein solcher Auslöser ist unwirksam, wenn der Schalter vollständig geschlossen ist.

Einschaltvermögen
Ist der Wert des unbeeinflussten Einschaltstroms, den das Schaltgerät unter vorgeschriebenen Bedingungen bei angegebener Schaltung einschalten kann.
Das Einschaltvermögen für Wechselstromschütze wird als Effektivwert der symmetrischen Komponente des Einschaltstroms angegeben.

Bei Leistungsschaltern wird es durch den höchstmöglichen Augenblickswert des unbeeinflussten Stroms, der an den Eingangsklemmen bei der angegebenen Spannung zu erwarten ist, ausgedrückt.

Einschaltverzug
Siehe Schließverzug.

Einschaltzeit
Dauer von der Einleitung des Schließvorgangs bis zum Zeitpunkt, in dem der Strom in der Hauptstrombahn zu fließen beginnt.

Anmerkung:
Die Einschaltzeit enthält auch den Zeitverzug aller für das Einschalten erforderlichen Hilfseinrichtungen, soweit sie Bestandteil des Schaltgeräts sind.

Einschub
Austauschbare Baueinheit, die in eine Stellung gebracht werden kann, in der eine Trennstrecke offen ist, während sie mechanisch mit der Schaltanlage verbunden bleibt. Diese Trennstrecke darf in den Hauptstromkreisen allein oder in den Hauptstromkreisen und Hilfsstromkreisen liegen.

Einschub-Leistungsschalter
Bezeichnung für einen ausziehbaren Leistungsschalter, der im Gegensatz zum Einschub nicht mit weiteren Betriebsmitteln zu einer Baueinheit zusammengefasst ist.

Einschwingspannung
Wiederkehrende Spannung während des Zeitabschnitts, in dem sie deutlich Übergangscharakter aufweist.

Anmerkung:
Die Einschwingspannung kann je nach den Eigenschaften des Stromkreises und des Leistungsschalters periodisch oder aperiodisch oder eine Überlagerung von beiden sein. Sie schließt die Verlagerung des Mittelpunkts in einem Mehrphasensystem ein.

Wenn nichts anderes festgelegt ist, gilt in Drehstromkreisen als Einschwingspannung die Spannung im erstlöschenden Pol, da diese Spannung in der Regel höher ist als die, die an jedem der beiden anderen Pole auftritt.

Einspeisung
Funktionseinheit, die üblicherweise für die Zufuhr elektrischer Energie in die Schaltanlage bestimmt ist.

Einstellbereich
Bereich zwischen dem größten und kleinsten Einstellwert einer Skala, in dem ein Relais (z. B. Zeitrelais) oder Auslöser auf einen gewünschten Wert eingestellt werden kann.

Einstellstrom (eines Überstromauslösers)
Stromwert, auf den der Auslöser eingestellt ist und auf den sich seine Arbeitsbedingungen beziehen.

Einstellwert
Wert einer Wirkungsgröße (z. B. Zeit, Strom), auf den ein Gerät eingestellt ist und auf den sich seine Arbeitsbedingungen beziehen.

Einzelkompensation
Bei der Einzelkompensation werden die Kondensatoren direkt an den Klemmen der einzelnen Verbraucher angeschlossen und zusammen mit diesen über ein gemeinsames Schaltgerät eingeschaltet.

Elektrische Lebensdauer
Siehe Lebensdauer bzw. Schaltstücklebensdauer.

Elektrische Verriegelung
Elektrische Abhängigkeit von Schaltgeräten untereinander durch schaltungstechnische Maßnahmen. Üblich bei Schützsteuerungen: Ein Schütz darf z. B. nur dann eingeschaltet werden, wenn vorher ein anderes abgeschaltet hat. Für die Realisierung einer elektrischen Verriegelung werden Hilfskontakte oder Hilfsstromschalter verwendet.

Elektromagnetische Verträglichkeit
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) ist die Fähigkeit einer elektrischen Einrichtung, in ihrer elektromagnetischen Umgebung einwandfrei zu funktionieren, d.h. ohne durch diese unzulässig beeinflusst zu werden und dabei selbst diese nicht unzulässig zu beeinflussen.

Endtaster
Positionsschalter.

Energiebegrenzungsklasse
Die Energiebegrenzungsklasse gibt an, auf welchen I^2t-Wert ein Leitungsschutzschalter in Abhängigkeit von der Auslösecharakteristik und dem Bemessungsausschaltvermögen begrenzt.

Entkopplung
Unabhängigmachen von verschiedenen Funktionseinheiten untereinander. Elektrische Signale können mittels optoelektronischer Kopplungselemente entkoppelt werden. In kontaktlosen Logiksystemen erfolgt die Entkopplung über Dioden, damit sich bei Zusammenschaltung mehrerer Bausteine die Ausgänge nicht gegenseitig beeinflussen.

Entsperrung
Vorrichtung (z. B. Taste) zum Rückstellen (Reset) einer mechanischen Sperre, die aus Sicherheitsgründen ein unbeabsichtigtes Wiedereinschalten nach der Auslösung verhindern soll, z. B. bei Überlastrelais, Thermistor-Motorschutz. Befindet sich die Entsperrung innerhalb der Kapselung, wird sie als Innenentsperrung bezeichnet; ist sie von außen bedienbar, heißt sie Außenentsperrung.

Entstörkondensator
Störschutzmittel, das die Aufgabe hat, Überspannungen zwischen Schaltstücke(n) beim Abschalten induktiver Verbraucher in Gleichstromkreisen zu reduzieren oder zu unterdrücken.

Erde
Bezeichnung für das leitfähige Erdreich dessen elektrisches Potential gleich null gesetzt wird.
Nach DIN VDE 0100 Teil 200 ist das Wort Erde die Bezeichnung sowohl für den Ort als auch für den Stoff.

Erdschluss
Eine durch einen Fehler, auch über einen Lichtbogen, entstandene leitende Verbindung eines Außenleiters oder eines betriebsmäßig isolierten Neutralleiters (Leiter) mit der Erde oder mit geerdeten Teilen (Erdung).

Erdschlusssicher
Erdschlusssicher sind Betriebsmittel oder Strombahnen, bei denen durch Anwendung geeigneter Maßnahmen unter bestimmungsgemäßen Betriebsbedingungen keine Erdschlüsse (Körperschlüsse) zu erwarten sind (Kurzschlusssicher).

Erdschlussstrom
Erdschlussstrom ist der Strom, der infolge eines Erdschlusses zum Fließen kommt.

Erdung, Erdungsleitung
Leitende Verbindung zwischen den zu erdenden leitfähigen Teilen und dem Erder über eine Erdungsanlage. Die Erder als leitende, ins Erdreich eingebettete Verbindungen, können als Band-, Stab- oder Plattenerder ausgeführt sein. Sie wird als offen bezeichnet, wenn Überspannungs-Schutzeinrichtungen, z. B. Schutzfunkenstrecken, in die Erdungsleitung (Schutzleiter) eingebaut sind.

Erschütterungsfestigkeit
Angegeben als Vielfaches der Erdbeschleunigung g, bei der ein Schaltgerät noch betriebssicher arbeitet. In Verbindung mit dem g-Wert ist stets die Kraftrichtung, die Funktion - nach der die Beschleunigung erfolgt - und die Größe der Amplitude zu nennen.

EVU
Abkürzung für "Elektrizitäts-Versorgungsunternehmen". Mit EVU werden die Anbieter elektrischer Energie (Elektrizitätswerke) bezeichnet.

Explosionsschutz
Voraussetzung für den Einsatz elektrischer Betriebsmittel in explosionsgefährdeten Bereichen gemäß DIN EN 50014 (VDE 0170/0171). Für den Explosionsschutz ist sicherzustellen, dass ein Betriebsmittel, bei dem während des Betriebs zündfähige Lichtbögen (Plasmen) auftreten können, druckfest gekapselt ist. In das Gehäuse kann zwar das explosionsfähige Gemisch eindringen, jedoch wird bei einer Explosion im Innern das Austreten einer zündfähigen Flamme nach außen verhindert.

Fabrikfertige Schaltgerätekombination (TSK, PTSK)
Als FSK galten Zusammenfassungen von Schaltgeräten einschließlich aller Verbindungsleitungen und gegebenenfalls unter Einbeziehung von Sammelschienen und sonstigen Betriebsmitteln, die beim Hersteller zusammengebaut, verdrahtet und geprüft wurden. Nach DIN EN 60439 Teil 1 (VDE 0660 Teil 500) werden solche Schaltgerätekombinationen heute als TSK und PTSK bezeichnet.

Fach
Baueinheit einer Schaltanlage zwischen zwei übereinander liegenden waagrechten Begrenzungsebenen innerhalb eines Feldes.

Fädelwandler
Aufsteckwandler können bis etwa 200 A Betriebsstrom als Fädelwandler eingesetzt werden. Höhere Ströme sind aufgrund des Leitungsquerschnitts nicht zweckmäßig, da sich nur Leiterquerschnitte bis etwa 35 mm^2 noch fädeln lassen. Durch das Fädeln werden bei einem Wandler bei gleicher Leistung verschiedene Übersetzungsverhältnisse erreicht.

Farbliche Kennzeichnung
Für Befehls- und Meldegeräte an Industriemaschinen international festgelegte Farbkodierung nach DIN EN 60073 (VDE 0199) und DIN EN 60204 Teil 1 (VDE 0113) und IEC 73, 1991. Die fünf Farben Rot, Gelb, Grün, Weiß und Blau bilden die Grundlage. Bei den ersten drei Farben ist Aussage und Bedeutung sinngemäß wie bei einer Verkehrsampel zu bewerten: Rot - Gefahr Stopp, Gelb - Achtung, Grün - Start.
An Bedienungsständen dürfen nur noch Betriebszustände von Maschinen und nicht mehr Schaltzustände angezeigt werden.

f-Auslöser
Kurzbezeichnung für Arbeitsstromauslöser.

fc-Auslöser
Kurzbezeichnung für Arbeitsstromauslöser mit Kondensatorgerät (Maschennetzauslöser).

Fehlerhäufigkeit
Aus der Summe der Fehleranzahl F wird durch Division durch das Produkt Anzahl der geprüften Strombahnen N mal mechanische Schaltspiele M die mittlere Fehlerhäufigkeit HF errechnet:

$$HF = F / (N \bullet M)$$

Fehlerspannung
Spannung, die im Fehlerfall zwischen nicht zum Betriebsstromkreis gehörenden, berührbaren leitfähigen Teilen oder zwischen diesen und der Erde auftritt. Kommt ein Mensch mit fehlerhaften Maschinen oder Anlagen in Berührung und steht er z. B. auf einem leitfähigen Fußboden, so wirkt ein Teil der Fehlerspannung die so genannte Berührungsspannung, auf ihn ein.

Fehlerstrom (Differenzstrom)
Fehlerstrom ist der Strom, der durch einen Isolationsfehler zum Fließen kommt. Er wird z. B. als Differenz der über eine Messeinrichtung in die Anlage hineinfließenden und über diese Messeinrichtung aus der Anlage herausfließenden Ströme gemessen (DIN VDE 0664).

Fehlerstrom-Schutzeinrichtung
Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen nach DIN VDE 0664 sind Fehlerstrom-Schutzschalter (FI-Schutzschalter), die eine elektrische Anlage abschalten, wenn über die geerdeten, nicht zum Betriebsstromkreis gehörenden leitfähigen Anlagenteile oder über den menschlichen Körper ein Fehlerstrom (Differenzstrom) fließt, der den Auslösestrom (Bemessungsfehlerstrom) des FI-Schutzschalters überschreitet.

Fehlerstrom-Schutzschalter (FI-Schutzschalter)
Siehe Fehlerstrom-Schutzeinrichtung.

Fehlertoleranz
Fähigkeit eines SRECS (sicherheitsbezogenes elektrisches Steuerungssystem), eines Teilsystems oder Teilsystem-Elements, eine geforderte Funktion beim Vorhandensein von Fehlern oder Ausfällen weiter auszuführen (Widerstandsfähigkeit gegenüber Fehlern).

Fehlschaltungssicherheit
Aussage über die Betriebszuverlässigkeit einer elektrischen Steuerung. Eine Fehlschaltung tritt dann auf, wenn der elektromagnetische Kraftantrieb eines Schalt- oder Steuergeräts (Schütz, Zeitrelais, Magnetventil) keine ausreichende Betätigungsspannung erhält und deshalb bei Kommandogabe die beabsichtigte Funktion nicht ausführen kann.

Um eine hohe Fehlschaltungssicherheit zu erreichen, sind negative Einflüsse wie sie z. B. durch eine instabile bzw. zu niedrige Steuerspannung, zu viele in Reihe liegende Kontakte im Ansteuerkreis, zu große Leitungslängen, zu geringer Leiterquerschnitt entstehen können, bei der Projektierung einer Steuerung zu berücksichtigen.

Feld
Baueinheit einer Schaltanlage (Schaltgerätekombination) zwischen zwei aufeinander folgenden senkrechten Begrenzungsebenen.

Fernauslöser
Siehe Hilfsauslöser.

Fernbetätigung
Betätigen eines Schaltgeräts aus beliebiger Entfernung durch einen Kraftantrieb oder einen Hilfsauslöser (Fernschalter).

Fernschalter
Schalter mit elektromagnetischer Fernbedienung, deren Mechanismus durch Stromimpulse betätigt wird (Stromstoßschalter). Sie sind vorwiegend zur Verwendung in Hausinstallationen bestimmt.

Freiauslösung
Konstruktives Merkmal von Schlossschaltern und Auslösern. Die Freiauslösung schließt ein Behindern des Auslösevorgangs aus, selbst dann, wenn der Antrieb blockiert oder von Hand in der "Ein"-Stellung festgehalten wird.

Freischalten
In Starkstromanlagen ist es das allseitige Abschalten oder Abtrennen einer Anlage, eines Teils einer Anlage oder eines Betriebsmittels von allen nicht geerdeten Leitern.

Funkstörungen
Funkstörungen können beim Abschalten von induktivitätsbehafteten Stromkreisen z. B. als so genannte Knackgeräusche auftreten. Abhilfe kann durch geeignete RC-Beschaltung der Trennstrecke geschaffen werden.

Funktionale Sicherheit
Teil der Gesamtsicherheit, bezogen auf die Maschine und das Maschinen-Steuerungssystem, die von der korrekten Funktion des SRECS (sicherheitsbezogenes elektrisches Steuerungssystem), sicherheitsbezogenen Systemen anderer Technologie und externen Einrichtungen zur Risikominderung abhängt.

Funktionsklassen
Funktionsklassen legen fest, welchen Strombereich der Sicherungseinsatz ausschalten kann (DIN VDE 0636).

Funktionsklasse g
Ganzbereichssicherungen, die Ströme bis mindestens zu ihrem Bemessungsstrom dauernd führen und Ströme vom kleinsten Schmelzstrom bis zum Bemessungsausschaltstrom ausschalten können.

Funktionsklasse a
Teilbereichssicherungen, die Ströme bis mindestens zu ihrem Bemessungsstrom dauernd führen und Ströme oberhalb eines bestimmten Vielfachen ihres Bemessungsstroms bis zum Bemessungsausschaltstrom ausschalten können. Dieser Funktionsklasse sind die Schaltgeräteschutzsicherungen aM zuzuordnen, deren Ausschaltbereich oberhalb des vierfachen Bemessungsstroms beginnt und die daher allein dem Kurzschlussschutz dienen. Die aR Sicherungen für den Halbleiterschutz haben eine Zeit-Strom-Kennlinie von ca. $2{,}7 \bullet I_n$.

Funktionsprüfung
Prüfung, die dem Nachweis dient, dass die Schaltgeräte innerhalb der in den Normen und Bestimmungen festgelegten Grenzen einwandfrei arbeiten. Zur Durchführung der Funktionsprüfung ist der Hersteller von Schaltgeräten verpflichtet.

Fußtaster
Schalter für Hilfsstromkreis(e) mit einem Bedienteil, das mit dem Fuß betätigt werden kann.

Galvanische Trennung
Trennung elektrisch leitender Teile mit unterschiedlichen Potentialen durch isolierendes Material oder durch Luftstrecken.

Gebrauchskategorie
Der Verwendungszweck und die Beanspruchung von Schaltgeräten können durch die Angabe der Gebrauchskategorie gekennzeichnet werden. Es handelt sich um die in den Gerätevorschriften (z. B. DIN VDE 0660 und IEC 947-.) festgelegten Kombinationen von Anforderungen, die einer wesentlichen Gruppe praktischer Anwendungsfälle entsprechen.
Die Gebrauchskategorie ist gekennzeichnet durch:
1. Werte der Ein- und Ausschaltströme als das Vielfache des Bemessungsbetriebsstroms,
2. Werte der Spannung als das Vielfache der Bemessungsbetriebsspannung (Bemessungsspannung),

3. Werte des Leistungsfaktors cos φ oder Zeitkonstante t,
4. Verhalten bei Kurzschluss, Selektivität und Back-up-Schutz.

Für Leistungsschalter werden zwei Gebrauchskategorien festgelegt:
"A" nicht besonders für Selektivität ausgelegt, z. B. ohne beabsichtigte Kurzschlussverzögerung für Selektivität unter Kurzschlussbedingungen und daher ohne Angabe des Bemessungskurzzeitstroms I_{cw}.
"B" besonders für Selektivität unter Kurzschlussbedingungen gegenüber anderen auf der Lastseite in Reihe liegenden Kurzschlussschutzeinrichtungen ausgelegt. Dies ist z. B. durch eine einstellbare Kurzzeitverzögerung möglich. Für diese Leistungsschalter muss der Bemessungskurzzeitstrom I_{cw} angegeben werden.

Gefahrbringender Ausfall (dangerous failure)
Jede Fehlfunktion in der Maschine oder in deren Energieversorgung, die das Risiko erhöht.

Gehäuse (Umhüllung)
Teil, das die Betriebsmittel vor bestimmten äußeren Einflüssen schützt und das aus jeder beliebigen Richtung Schutz gegen direktes Berühren mit einer Schutzart von mindestens IP 2X bietet.

Gerüst
Tragkonstruktion, die Bestandteil einer Schaltanlage (Schaltgerätekombination) ist, die verschiedene Komponenten und ggf. eine Gehäuseumhüllung der Schaltgerätekombination trägt.

Gesamtausschaltzeit
Zeit vom Beginn des Ausschaltbefehls bis zum Ende der Lichtbogendauer.

Gesamtschließzeit
Zeit vom Beginn des Einschaltbefehls bis zum Ende der Prelldauer (Prellen) des letztschließenden Kontakts (Zeitbegriffe).

Gleichstromanteil (Gleichstromglied)
Größe der Abweichung von der Nulllinie der normalen Sinusschwingung des Stroms.
Tritt z. B. im Kurzschlussfall kurzzeitig auf. Der Gleichstromanteil kann höchstens 100 % des Scheitelwerts des symmetrischen Kurzschlusswechselstroms sein, in den üblichen Niederspannungsnetzen meistens maximal 50 %.

Gleichzeitigkeitsfaktor
Verhältnis der Leistungen aller gleichzeitig im Betrieb befindlichen Verbraucher zu der Summe der Bemessungsleistungen aller angeschlossenen Stromverbraucher. Er wird z. B. zum Bestimmen von Hauptsicherungen in elektrischen Anlagen benötigt.

Grenzauslösestrom
Kleinstmöglicher Strom, bei dem z. B. ein Überlastrelais unter festgelegten Bedingungen noch auslöst. Unterhalb des Grenzstroms erfolgt keine Auslösung, oberhalb dieser Strommarke ein Auslösen. Mit steigendem Strom wird die Auslösezeit kürzer.

Grenztemperatur
Höchste Temperatur, die die einzelnen Teile eines Schaltgeräts noch dauernd vertragen können, ohne Schaden zu nehmen. Sie addiert sich aus der Umgebungstemperatur und der für das Schaltgerät zugelassenen Eigenerwärmung. Ein Überschreiten der Grenztemperatur gefährdet die Funktionssicherheit.

Grenzübertemperatur
Die für die einzelnen Geräteteile festgelegte höchstzulässige Übertemperatur (Erwärmung).

Halteleistung
Die durch den dauernd aufgenommenen Strom bedingte Leistungsaufnahme der Magnetspule, die notwendig ist, um das Magnetsystem im Einschaltzustand zu halten.

Hamming-Distanz
Die Hamming-Distanz (HD) gibt an, wie viele Stellen eines Codeworts sich ändern müssen, damit ein neues, gültiges Codewort entsteht.
Bei einem erkannten Fehler erfolgt eine automatische Datenwiederholung.

Hauptschalter
Jede Industriemaschine, die in den Geltungsbereich von DIN EN 60 204 Teil 1 (VDE 0113, Teil 1) fällt, muss mit einem Hauptschalter ausgestattet sein, der die gesamte elektrische Ausrüstung während der Dauer von Reinigungs-, Wartungs- und Reparaturarbeiten sowie bei längeren Stillstandszeiten vom Netz trennt.
Es ist üblicherweise ein von Hand bedienbarer Schalter, der vorgeschrieben ist, um eine Gefährdung elektrisch oder mechanisch zu verhindern.
Der Hauptschalter kann zugleich Not-Aus-Einrichtung sein.

Er muss folgende Anforderungen erfüllen:
1. Von außen zugängliche Handhabe.
2. Nur je eine "Aus"- und "Ein"-Stellung mit zugeordneten Anschlägen.
3. Kennzeichnung der zwei Stellungen durch "0" und "I".
4. "Aus"-Stellung abschließbar.
5. Abdeckung der Netzanschlussklemmen gegen zufälliges Berühren.
6. Das Schaltvermögen muss bei Motorschaltern AC-23, bei Lastschaltern AC-22 entsprechen (Gebrauchskategorie).
7. Zwangsläufige Anzeige der Schaltstellung.

Hauptschaltglied
Schaltglied im Hauptstromkreis eines Schaltgeräts, das dafür vorgesehen ist, in der Schließstellung den Strom des Hauptstromkreises zu führen.

Hauptstromkreis
Stromkreis, der Betriebsmittel zum Erzeugen, Umformen, Verteilen, Schalten und Verbrauch elektrischer Energie enthält.

Heizgerät
Gerät, das die Luft in Schränken und Gehäusen erwärmt. Dadurch wird eine Mindesttemperatur im Schrank gewährleistet, die relative Luftfeuchtigkeit gesenkt und somit Schutz vor Betauung erreicht.

Hilfsauslöser
Auslöser zum Ausschalten eines Schaltgeräts über einen Hilfsstromkreis; z. B. können mit Hilfe von Spannungs- oder Unterspannungsauslösern Schlossschalter fernausgeschaltet (fernausgelöst) werden.

Hilfskontakt
Kontakt zum Schalten in Hilfsstromkreisen. Nach seiner Schaltfunktion wird der Hilfskontakt als Öffner, Schließer, Wechsler oder Wischer bezeichnet.

Hilfsschalter
Siehe Hilfsstromschalter.

Hilfsschalterblock
Baustein, der in sich verschiedene Hilfsschalterkombinationen vereint und im Allgemeinen auch nachträglich an ein Schaltgerät angebaut werden kann (modulare Bauweise; Bausteinprinzip).

Hilfsschaltglied
Schaltglied, das in einem Hilfsstromkreis des Schaltgeräts liegt und vom Gerät mechanisch betätigt wird.

Anmerkung:
Ein Hilfsschaltglied dient zusätzlichen Funktionen wie Meldung, Verriegelung usw.; in diesem Fall kann es Teil des Steuerstromkreises anderer Schaltgeräte sein.

Hilfsstromkreis
Alle leitenden Teile einer Schaltgerätekombination in einem Stromkreis (mit Ausnahme des Hauptstromkreises), der zum Steuern, Messen, Melden, Regeln, Verriegeln, zur Datenverarbeitung usw. dient (Betätigungsstromkreis).

Anmerkung:
Hilfsstromkreise dienen auch für zusätzliche Funktionen. Sie können Teile des Steuerstromkreises anderer Schaltgeräte sein.

Hilfsstromschalter
Im Hilfsstromkreis liegender Schalter zur Signalabgabe, Verriegelung und Betätigung elektrischer Schaltgeräte usw. Er besteht aus einem oder mehreren Schaltgliedern mit einem gemeinsamen Betätigungssystem.

IEC (**I**nternationale **E**lektrotechnische **C**ommission)
Kommission, die im Rahmen der Harmonisierung durch internationale Bestimmungen die unterschiedlichen nationalen Regelwerke vereinheitlicht und so zum Abbau von Handelshemmnissen beiträgt.

Impedanz
Impedanz (Z) ist die Summe der Widerstände des kompletten Pols bei Bemessungsstrom. Sie setzt sich zusammen aus Wirkwiderstand (R) und Blindwiderstand. Die angegebenen Werte beziehen sich auf die Bemessungsfrequenz.

Induktiver Näherungsschalter (BERO)
Berührungslos und kontaktlos arbeitender Positionsschalter. Seine Betätigung erfolgt durch Metall, das in die Nähe der aktiven Fläche gebracht wird. Seine Vorteile liegen u. a. in der Verschleißfreiheit, praktisch unbegrenzter Lebensdauer, hoher Schalthäufigkeiten sowie in der Unempfindlichkeit gegenüber Umwelteinflüssen und Erschütterungen.

Isolationsgruppe
Betriebsmittel wurden bisher nach ihrer Verwendung und dem Umfang der Isolationsminderung, den sie unter dem Einfluss des Staub- und Feuchtigkeitsgehalts der sie umgebenden Luft am Einsatzort

(Umgebungsbedingungen) erfahren können, in vier Isolationsgruppen eingeteilt (DIN VDE 0110). Für Niederspannung-Schaltgeräte wurde nach DIN VDE 0660 Isolationsgruppe C vorgeschrieben. Nach DIN VDE 0110 Teil 1 und 2 hängt der Einsatz elektrischer Betriebsmittel in erster Linie vom Verschmutzungsgrad 1-4 und der Überspannungskategorie I-IV ab.

Isolierstoffklasse
Isolierende Teile und Wicklungsisolierungen werden gemäß dem verwendeten Material in Isolierstoffklassen eingeteilt. In den Produktnormen ist jeder Isolierstoffklasse eine bestimmte Höchsttemperatur und/oder Grenzübertemperatur zugeordnet. Nach DIN VDE 0660 Teil 102 und IEC 947-4-1 gelten z. B. folgende Grenzübertemperaturen für isolierte Spulen in Luft (Umgebungstemperatur -5 bis +40 °C):

Isolierstoffklasse des Materials	Grenzübertemperatur (K)
A	85
E	100
B	110
F	135
H	160

IT-System
Siehe Netzsysteme.

I^2t-Bereich
Bereich zwischen den minimalen und maximalen I^2t-Kennlinien.

I^2t-Kennlinie
Eine Kurve, die die Werte von I^2t in Relation zu den Abschaltzeiten (allgemein die minimalen oder maximalen Werte von I^2t) als eine Funktion des unbeeinflussten Stroms (prospektiver Strom) unter festgelegten Betriebsbedingungen darstellt.

I^2t-Wert
Der Wärmewert eines (un-)beeinflussten Kurzschlussstroms (Durchlassstrom).

Joule-Integral
Das Integral des Stromwerts zum Quadrat über eine gegebene Zeitdauer:

$$I^2 \bullet t = \int_{t_0}^{t_1} I^2 \bullet dt$$

Anmerkung:
Diese Definition entspricht dem Internationalen Elektrotechnischen Vokabular (1 EV, 441-07-14), jedoch ohne Anmerkung.

Kabeleinführung
Teil mit Öffnungen für das Einführen von Kabeln und Leitungen in Schaltanlagen oder Gehäusen.

Anmerkung:
Eine Kabeleinführung kann zugleich als Kabelendverschluss ausgeführt sein.

Kaltleiter-Temperaturfühler
Teil der Thermistor-Motorschutzeinrichtung, der in die Wicklung des zu schützenden Motors eingebaut wird. Der Kaltleiter-Temperaturfühler vergrößert mit steigender Temperatur in einem bestimmten, engen Temperaturbereich seinen Widerstand um mehrere Zehnerpotenzen (PTC-Thermistor).

Kapselung
Umhüllung zum Schutz von elektrischen Betriebsmitteln. Sie bietet für die eingeschlossenen Betriebsmittel Schutz gegen schädigende Umwelteinflüsse (Schutzarten) sowie Schutz gegen direktes Berühren (Schutzmaßnahmen).

Kaskadenschaltung
Reihenschaltung von Leistungsschaltern mit verschiedenem Schaltvermögen, jedoch mit etwa gleichem Öffnungsverzug im Kurzschlussfall. Bei einem Kurzschlussstrom, der das Schaltvermögen des nachgeordneten Leistungsschalters übersteigt, schaltet der vorgeordnete Leistungsschalter mit höherem Schaltvermögen mit aus, so dass zwei Schaltstellen in Reihe liegen. Der nachgeordnete Leistungsschalter kann somit bei höheren Kurzschlussströmen eingesetzt werden als seinem Schaltvermögen entspricht (Back-up-Schutz).

Kategorien B, 1, 2, 3 oder 4 (vorgesehene Architekturen)
Die Kategorien beinhalten neben qualitativen auch quantifi zierbare Aspekte (wie z. B. $MTTF_d$, DC und CCF). Mit einem vereinfachten Verfahren, auf Basis der Kategorien als "vorgesehene Architekturen", kann der erreichte PL (Performance Level) beurteilt werden.

Kennlinie
Eine Kennlinie ist eine grafische Darstellung von zwei voneinender abhängigen physikalischen Größen, die für ein Bauteil, eine Baugruppe oder ein Gerät kennzeichnend ist. Die Kennlinie wird als Linie in einem zweidimensionalen orthogonalen Koordinatensystem dargestellt. Das

Kennlinienfeld oder kurz Kennfeld stellt mehrere Kennlinien in Abhängigkeit von weiteren Eingangsgrößen (Parameter) in Form mehrerer Kennlinien oder in einem dreidimensionalen orthogonalen Koordinatensystem dar.

Klemmenbezeichnung
Anschlussbezeichnung in alphabetischer und/oder numerischer Beschriftung von Anschluss- oder Eingangs- sowie Abgangsklemmen in elektrischen Anlagen bzw. an elektrischen Geräten.

Klimate
Im Sinne technischer Normen interpretierte physikalische und chemische Zustände der Atmosphäre einschließlich der lokalen eigentümlichen Witterungseinflüsse wie Temperatur und Feuchte der Umgebungsluft.

Kompensation
Maßnahme zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit elektrischer Anlagen. Dabei wird die beim Betrieb in induktiven Verbrauchern (Verbraucher) entstehende Blindleistung ausgeglichen (kompensiert). Bei einer kompensierten Anlage ist der Strom in der Zuleitung kleiner als in einer unkompensierten Anlage.
Dadurch können Leiterquerschnitte verringert und Wicklungsdrähte von Transformatoren und Generatoren im Querschnitt reduziert werden. Je nach Anwendungsfall wird unterschieden in: Einzel-, Gruppen- und Zentralkompensation.

Kontakt
Zustand, der durch gegenseitiges Berühren zweier zur Stromführung dienender Teile (z. B. Schaltstücke) entsteht. Diese Bezeichnung wird auch für Kontaktglied oder Kontaktstück verwendet.

Kontaktieren, Bonden
Dauerhafte Verbindung (z. B. durch Schweißen, Löten) metallischer Teile, um einen elektrisch leitfähigen Pfad zu errichten, der für die gewünschte Anwendung ausreichende Leitfähigkeit und Strombelastbarkeit bietet. Falls die erforderliche elektrische Leitfähigkeit durch die Verbindung metallischer Teile (z. B. Metall-Kabelrohr und Metallgehäuse) nicht gewährleistet ist, kann ein Potentialausgleichsleiter (d.h. ein gesonderter Leiter) erforderlich sein.

Kontaktkraft
Kraft, die zwei zur Stromführung dienende Teile (z. B. Schaltstücke) aufeinander ausüben. Mit steigender Kontaktkraft erhöht sich die Kontaktsicherheit, d.h. mehr nicht leitende Fremdschichten (Oxydation)

auf der Kontaktoberfläche werden durchstoßen und der Kontaktwiderstand günstig beeinflusst. Die Kontaktkraft hat direkte Auswirkungen auf Einschaltvermögen, Erwärmung und Lebensdauer eines Schaltgeräts.

Kontaktmaterial
Siehe auch Schaltstückmaterial.
Werkstoff zur Herstellung von Schaltstückauflagen. Neben hoher elektrischer und thermischer Leitfähigkeit sowie großer mechanischer Festigkeit werden besondere Anforderungen an Abbrandverhalten (Abbrand) und Verschweißsicherheit (Verschweißen) gestellt. Silber oder Silberlegierungen werden vorwiegend als Kontaktmaterial für Niederspannung-Schaltgeräte eingesetzt - je nach Verwendung mit Zusätzen von Nickel, Zinn und Kohlenstoff.

Kontaktstelle
Die Berührungsstelle der festen und beweglichen Schaltstücke während des Schließens. Je nach Schaltstückmaterial wird die Kontaktstelle der Hauptschaltglieder mit der Zeit rau, löchrig und/oder sie verfärbt sich. Im Allgemeinen sollten die Schaltstücke der heutigen Niederspannung-Schaltgerätegeneration nicht gesäubert und nachbearbeitet werden. Es ist zu empfehlen, vor Reinigungs- und Wartungszeiten (z. B. Austausch von Kontaktsätzen) die Bedienungsanleitung zu lesen oder sich beim Hersteller zu erkundigen.
Der Zustand der Kontaktstellen und die Dicke des Schaltstückmaterials an den Schaltgliedern (Hauptschaltgliedern) nach einer gewissen Betriebsdauer gibt Auskunft über die verbleibende Lebensdauer.

Die Kontaktstelle von Hilfsschaltgliedern und anderen Schaltstücken zum Schalten von niedrigeren Strömen und Spannungen ist häufig gespitzt oder geschärft (Spitzkontakt, Messerkontakt). Dadurch werden bei jedem Schließen eventuelle Schmutzschichten durchstoßen und die Kontaktzuverlässigkeit verbessert. Werden diese Schaltstücke bei höheren Spannungen und/oder Strömen verwendet, kann es zu Abbrand durch den Lichtbogen kommen.
Der Lichtbogen selbst hat an den Kontaktstellen auch einen Reinigungseffekt. Kontaktstellen können mechanisch so angeordnet werden, dass sie bei jedem Öffnen und Schließen gegeneinander wischen. Diese Selbstreinigung erhöht ebenfalls die Kontaktzuverlässigkeit, führt jedoch unter Umständen zu unerwünschtem Abrieb.

Kontaktwiderstand
Elektrischer Widerstand eines geschlossenen Kontaktsystems. Er lässt sich als Summe physikalischer unterschiedlicher Faktoren beschreiben. U. a. wird er beeinflusst von der Form der Kontakte, dem Kontaktmaterial, der Kontaktkraft sowie von Oxydschicht und Verschmutzungsgrad der Kontaktoberfläche. Der Kontaktwiderstand ist für eine gegebene Kontaktstelle nicht konstant, sondern ändert sich von Schaltung zu Schaltung zum Teil erheblich.

Anmerkung:
Bei Hochleistungs-Schaltgeräten (Industrieschaltanlagen) sollte auf die Messung des Kontaktwiderstands mittels Widerstands-Messgeräten, Vielfachmessgeräten u. ä. (hohe Impedanz, niedrige Spannung) verzichtet werden, da die Ergebnisse meist irreführend und irrelevant sind. Siehe auch Kontaktzuverlässigkeit.

Kontaktzuverlässigkeit
Die Kontaktzuverlässigkeit eines Hilfsschaltglieds, z. B., ist definiert als die Wahrscheinlichkeit eines Schaltzustands, der zu einer Störung im Steuerstromkreis führt (Kontaktfehler). Somit ist der Schaltzustand durch den zulässigen Kontaktwiderstand bei einem gegebenen Stromwert definiert.
Der Kontaktwiderstand wird durch eventuelle Verschmutzung oder Oxydschichten an den Kontaktstellen stark beeinflusst. Die Kontaktzuverlässigkeit bei mechanischen Schaltgeräten kann verbessert werden durch:
- hohe Kontaktkraft,
- Sonderformen der Schaltstücke (z. B. Messerkontakte),
- wischende oder selbstreinigende Bewegung (Wischer),
- Einzel- anstelle von Doppelschaltstücken (Einzelwiderstand),
- Parallelschaltung von Strombahnen (z. B. Doppelschaltbrücken),
- Einbau der Schaltstücke in eine abgedichtete Schaltkammer.

Konventioneller thermischer Strom I_{th} in freier Luft
Der konventionelle thermische Strom (I_{th}) eines Schaltgeräts, z. B. Leistungsschalters, ist der vom Hersteller angegebene maximale Prüfstrom für Erwärmungsprüfungen, den er ohne Gehäuse und in freier Luft führen kann, ohne dass die Übertemperatur seiner Bestandteile bei Prüfungen die Grenzwerte der einschlägigen Vorschriften überschreiten (Bemessungsdauerstrom).

Anmerkung 1:
Unter freier Luft ist die Luft normaler Innenräume - annähernd frei von Luftzug und Strahlung - zu verstehen.

Anmerkung 2:
Leistungsschalter ohne Gehäuse sind Leistungsschalter, die vom Hersteller ohne Gehäuse geliefert werden oder Leistungsschalter, deren Gehäuse integrale Bestandteile der Leistungsschalter sind.

Kraftantrieb
Antriebe, deren Betätigung mit anderer als menschlicher Kraft erfolgt.

Kraftspeicher
Teil eines Schlossschalters, der durch Vorspannen einer Feder am Beginn einer Schaltbewegung soviel Energie speichert, dass diese ausreicht, den Einschaltvorgang unter den vorgesehenen Bedingungen selbsttätig durchzuführen.

Kriechstrecke
Kürzeste Strecke längs einer Isolierstoffoberfläche zwischen zwei Bezugspunkten, auf der längs der Oberfläche (unter Berücksichtigung etwaiger Rillen) ein Strom fließen kann (Isolationsgruppe, Bemessungsisolationsspannung).

Anmerkung:
Eine Fuge zwischen zwei Isolierstoffteilen wird als Teil der Isolierstoffoberfläche angesehen.

Kriechstrom
Strom, der sich auf der Oberfläche eines im trockenen, sauberen Zustand isolierenden Stoffs infolge von leitfähigen Verunreinigungen zwischen zwei spannungsführenden Teilen ausbildet.

Kriechstromfestigkeit
Widerstandsfähigkeit eines Isoliermaterials gegen Kriechspurbildung und damit gegen Kriechströme.

Kritischer Ausschaltstrom
Wert des Ausschaltstroms, der geringer ist als der Strom beim Bemessungskurzschlussausschaltvermögen, bei dem jedoch die Lichtbogendauer merklich länger oder die Lichtbogenenergie merklich höher ist als beim Bemessungskurzschlussausschaltvermögen.

Kühlgerät
Gerät, das nach dem Kühlschrankprinzip arbeitet, in Schutzart IP 54 zur Wärmeabfuhr aus Schränken und Gehäusen. Die Schrankinnentemperatur kann dadurch auf oder unter die Umgebungstemperatur abgesenkt werden.

Kuppelschalter
Ein Leistungsschalter, der zwei Sammelschienenabschnitte miteinander verbindet. Anwendungsbeispiel: Jeder Sammelschienenabschnitt hat seinen eigenen Leistungsschalter mit zugehörigem Transformator. Falls die Stromversorgung auf einem Sammelschienenabschnitt ausfällt oder abgeschaltet wird (z. B. aufgrund eines Transformatorfehlers oder Wartungsarbeiten), wird der Kuppelschalter geschlossen und beide Sammelschienenabschnitte über die gleiche Einspeisung versorgt.

Kurzschluss
Verbindung mit vernachlässigbar kleiner Impedanz zwischen betriebsmäßig gegeneinander unter Spannung stehender Leiter. Der Strom ist dabei ein Vielfaches des Bemessungsbetriebsstroms; dadurch kann eine thermische (Bemessungskurzzeitstrom) bzw. mechanische (Bemessungsstoßstrom) Überbeanspruchung der Schaltgeräte und Anlagenteile entstehen.

Kurzschluss-Einschalt- oder -Ausschaltvermögen
Einschalt- oder Ausschaltvermögen, bei dem die vorgeschriebenen Bedingungen einen Kurzschluss an den Anschlüssen des Leistungsschalters einschließen.

Kurzschlussfestigkeit
Widerstandsfähigkeit eines Schaltgeräts im geschlossenen Zustand mit seinen Bestandteilen (z. B. Auslöser) oder einer kompletten Schaltanlage gegen die im Kurzschlussfall auftretenden elektrodynamischen (dynamische Kurzschlussfestigkeit) und thermischen (thermische Kurzschlussfestigkeit) Beanspruchungen.
Die Kenngröße für die dynamische Beanspruchung ist der Stoßkurzschlussstrom als der höchste Augenblickswert des Kurzschlussstroms.
Die Kenngröße für die thermische Beanspruchung des Kurzschlussstroms ist der quadratische Mittelwert des Kurzschlussstroms während seiner Dauer.

Kurzschlussschnellauslöser
Auslöser eines Leistungsschalters, der den Kurzschlussschutz des nachgeordneten Verbrauchers bzw. der Leitung übernimmt. Der Kurzschlussschnellauslöser muss bei einem Kurzschluss unverzögert oder kurzverzögert den Leistungsschalter allpolig abschalten.

Kurzschlussschutzeinrichtung (SCPD, **s**hort-**c**ircuit **p**rotective **d**evice)
Gerät (z. B. Leistungsschalter oder Sicherung), das einen Stromkreis oder Teile eines Stromkreises gegen die Auswirkungen eines Kurzschlussstroms durch Abschalten und/ oder Begrenzen des Kurzschlussstromes (siehe Strombegrenzung) schützt.

Kurzschlusssicher
Kurzschlusssicher sind Betriebsmittel oder Strombahnen, bei denen durch Anwendung geeigneter Maßnahmen unter bestimmungsgemäßen Betriebsbedingungen keine Kurzschlüsse zu erwarten sind (Erdschlusssicher).

Kurzschlussspannung u_{kr}
Spannung in Prozent der Bemessungseingangsspannung, die an die Eingangsklemmen eines Transformators anzulegen ist, damit bei kurzgeschlossenen Ausgangsklemmen der Bemessungsausgangsstrom (I_2) fließt, bezogen auf 20 °C.

Kurzschlussstrom (Dauerkurzschlussstrom I_k)
Überstrom, der im Fehlerfall in einem elektrischen Stromkreis auftritt, z. B. bei kurzgeschlossenen Klemmen an einem Schaltgerät oder bei fehlerhafter Überbrückung im elektrischen Stromkreis.

Kurzschlussstrombegrenzung
Eine Möglichkeit der Kurzschlussstrombegrenzung bei Leistungsschaltern ist die sehr schnelle Ausschaltung des gestörten Stromkreises innerhalb von wenigen Millisekunden; mit dem Ergebnis, dass der zu erwartende Scheitelwert des unbeeinflussten Kurzschlussstrom nicht auftritt, sondern auf einen erheblich niedrigeren Wert des Durchlassstroms i_D begrenzt wird. Sie wird z. B. durch strombegrenzende Leistungsschalter erreicht. Eine andere Möglichkeit ist über den Innenwiderstand des Leistungsschalters gegeben (Eigenkurzschlussfestigkeit). Weitere Möglichkeiten sind z. B. Einbau von Drosseln in den Stromkreis.

Kurzschlusswechselstrom
Der betriebsfrequente Anteil des Kurzschlussstroms. Bei generatornahem Kurzschluss klingt der Kurzschlusswechselstrom vom Anfangs-Kurzschluss-wechselstrom auf den Dauerkurzschlussstrom ab. Bei generatorfernem Kurzschluss ist der Kurzschlusswechselstrom während der gesamten Kurzschlussdauer nahezu konstant. Damit ist der Anfangskurz-schlusswechselstrom I_k'' gleich dem Dauerkurzschlussstrom I_k.

Kurzzeitstrom
Strom, den ein Schaltgerät in der Schließstellung während einer festgelegten kurzen Dauer unter vorgeschriebenen Bedingungen führen kann.

Anmerkung:
Zu berücksichtigen sind der I^2t-Wert während der Stromflussdauer und die elektromechanischen Auswirkungen durch den Scheitelwert des Stroms.

λ, Lambda
Ausfallrate, die sich aus der Rate sicherer Ausfälle (λ_S) und der Rate gefahrbringender Ausfälle (λ_D) zusammensetzt.

Lastabwurf
Methode, durch schaltungstechnische Maßnahmen minder wichtige angeschlossene Verbraucher voreilend auszuschalten, um ein Leistungs- oder Strommaximum nicht zu überschreiten.

Lebensdauer
Zeit, in der das Schaltgerät unter normalen Betriebsbedingungen einwandfrei arbeitet. Sie wird angegeben in Schaltspielzahlen (Schaltspiele). Unterschieden wird in mechanische Lebensdauer und elektrische Lebensdauer (Schaltstücklebensdauer).
Das Ende der elektrischen Lebensdauer wird erreicht, wenn die Schaltstücke durch Abbrand soweit verbraucht sind, dass eine sichere Kontaktgabe nicht mehr gewährleistet ist.
Die mechanische Lebensdauer wird durch die vom Hersteller angegebenen Schaltspiele ohne Belastung bestimmt, die das Gerät ohne Instandsetzung oder Ersatz von Teilen ausführen kann. Raue Umgebung (z. B. Staub, der einen erhöhten Abrieb bewirkt), unsachgemäße Wartungsarbeiten, falsche Steuerspeisespannung, unzulässige Einbaulage usw. können die mechanische Lebensdauer stark beeinträchtigen.

LED
Eine Licht emittierende Diode, die zur Anzeige des Signalzustands dient.

Leistung
1. physikalisch
   Die von einer Kraft in der Zeiteinheit geleistete Arbeit in Watt.

2. elektrisch
   Die von einem Verbraucher dem Netz entnommene elektrische Energie je Zeiteinheit.

In einem Wechselstromnetz treten nachstehende vom Verbraucher abhängige Leistungsarten auf:

- Wirkleistung (P)
  Anteil der Leistung, der in eine andere Energieform umgesetzt wird. Der Anteil der Wirkleistung an der Scheinleistung ergibt sich aus $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$ [W].

- Blindleistung (Q)
  Anteil der Leistung, der nicht in eine andere Energieform umgesetzt werden kann. Blindleistung entsteht infolge der Induktion, wobei es zu einer Verschiebung zwischen der Strom- und der Spannungskurve kommt.
  Der Anteil der Blindleistung an der Scheinleistung ergibt sich aus
  $Q = U \bullet I \bullet \sin \varphi$ [var].

- Scheinleistung (S)
  Dem Netz entnommene Leistung, die sich aus Wirk- und Blindleistung zusammensetzt.
  Die Scheinleistung ergibt sich aus
  $S = U \bullet I$ [VA].

Diese drei Leistungsarten haben eine geometrische Abhängigkeit zueinander, die sich in einem Leistungsdiagramm darstellen lässt.

Das Verhältnis von Wirkleistung zur Scheinleistung wird durch den Leistungsfaktor (cos φ) bestimmt. Er wird durch eine Winkelfunktion als Cosinus des Winkels φ ausgedrückt.

Leistungsaufnahme
Leistungsaufnahme, bezogen auf Schaltgeräte, ist der Leistungsbedarf von Magnetspulen oder Antriebsmotoren an Schaltgeräten. Dieser wird als Wirkleistung in Watt (W) oder als Scheinleistung in Volt-Ampere (VA) angegeben.

Leistungsschalter
Allgemein Schlossschalter, der unter betriebsmäßigen Bedingungen im Stromkreis Ströme einschalten, führen und ausschalten kann, sowie unter festgelegten nicht normalen Bedingungen bis zum Kurzschluss den Strom einschalten, während einer bestimmten Dauer führen und ihn unterbrechen kann.

Anmerkung:
Leistungsschalter sind im Allgemeinen zum seltenen Schalten bestimmt, obwohl einige Ausführungen für häufigeres Schalten geeignet sind.

Leistungsschalter mit Einschaltverrriegelung
Leistungsschalter, bei dem, wenn das Einschaltkommando unter bestehenden Verriegelungsbedingungen gegeben wird, kein bewegbares Schaltstück so weit schließt, dass ein Strom fließen kann.

Leistungsschalter mit Freiauslösung
Leistungsschalter, dessen bewegbare Schaltstücke in die Offenstellung zurückkehren und darin verharren, wenn der Öffnungsvorgang nach Beginn des Schließvorgangs eingeleitet wird; auch dann, wenn der Einschaltbefehl aufrecht erhalten wird (Freiauslösung).

Anmerkung:
Um ein einwandfreies Unterbrechen des Stroms zu erreichen, der möglicherweise schon fließt, kann es erforderlich sein, dass die Schaltstücke kurzzeitig in die Schließstellung gelangen.

Leiter
Aufbau:
Leiter ist der metallene Teil einer elektrischen Leitung oder eines Kabels zur Fortleitung der elektrischen Energie. Leiter können aus einem einzelnen Draht oder aus mehreren Einzeldrähten, die miteinander verseilt sind, bestehen.
Als bevorzugtes Leitermaterial wird Kupfer eingesetzt, weil es einen sehr hohen elektrischen Leitwert hat. Bei großen Leiterquerschnitten wird häufig Aluminium verwendet, weil Gewicht und Verarbeitung hierbei günstiger sind.
Leiterbezeichnungen:
Außenleiter (L1, L2, L3)
Leiter, die Stromquellen mit Verbrauchern verbinden, aber nicht vom Mittel- oder Sternpunkt ausgehen.

Neutralleiter (N)
ein mit dem Mittel- oder Sternpunkt verbundener Leiter, der auch elektrische Energie fortleitet.

Schutzleiter (PE)
Leiter, der bei einigen Schutzmaßnahmen zum Verbinden von nicht zum Betriebsstromkreis gehörenden leitfähigen Teilen untereinander oder mit fremden leitfähigen Teilen sowie mit Erdern verwendet wird.

PEN-Leiter
Leiter, der die Funktion von Neutral- und Schutzleiter in sich vereinigt.

Leiterquerschnitt
Flächeninhalt bei Rund- und Flachleitern (Leiter). Er wird in mm^2 angegeben und ist entscheidend für die thermische Belastbarkeit und für die Kurzschlussbelastbarkeit des elektrischen Leiters.

Leitfähiges Teil
Teil, das Strom führen kann, auch wenn es nicht unbedingt betriebsmäßig zum Stromführen verwendet wird.

Leitungsschutzschalter (LS-Schalter)
Mechanisches Schaltgerät, das dazu dient, einen Stromkreis durch Handbetätigung mit dem Netz zu verbinden oder von diesem zu trennen und selbsttätig den Stromkreis vom Netz zu trennen, wenn der Strom einen bestimmten Maximalwert überschreitet.

Im Falle einer thermischen Überlastung eines angeschlossenen Verbrauchers oder eines Abzweigs leitet ein thermisch verzögerter Auslöser den Abschaltvorgang ein. Bei einem Kurzschluss übernimmt das Abschalten der Kurzschlussschnellauslöser.
Beide Auslöser arbeiten unabhängig voneinander und schützen sich gegenseitig. Die Freiauslösung des Leitungsschutzschalters gewährleistet, dass der Schalter bei Überstrom und Kurzschluss auch dann auslöst, wenn der Betätigungshebel in der Einstellung blockiert oder vom Bedienenden festgehalten wird.
Um die Abzweige optimal zu schützen werden die LS-Schalter mit unterschiedlichen Auslösecharakteristiken (A, B, C und D) hergestellt.

Lichtbogen
Erscheinung, die beim Öffnen eines elektrischen Stromkreises bei Spannungen >15 V stets auftritt. Die Stärke des Lichtbogens ist u. a. abhängig von Belastungsart und -höhe, dem Leistungsfaktor sowie dem Augenblick der Schaltstücktrennung. Im Innern eines Lichtbogens können Temperaturen von 10.000 bis 15.000 °C auftreten, wobei es zum Verdampfen von Kontaktmaterial kommen kann. Da der Lichtbogen dadurch einen direkten Einfluss auf die Lebensdauer der Schaltstücke hat, müssen Maßnahmen ergriffen werden, den Lichtbogen entweder klein zu halten oder ihn so schnell wie möglich zu löschen (Deionisierung).

Lichtbogenausblasraum
Während der Schaltvorgänge eines Schaltgeräts, insbesondere während des Abschaltens hochinduktiver Lastströme oder Kurzschlussströme, werden die durch den Lichtbogen erzeugten ionisierten Gase aus den Öffnungen der Lichtbogenkammer gedrückt. Um sicherzustellen, dass die Konzentration dieser ionisierten Gase kein gefährliches Maß erreicht, ist ein bestimmter Freiraum oberhalb oder vor dem Gerät erforderlich.
Dieser Lichtbogenausblasraum wird vom Hersteller (normalerweise auf den Maßzeichnungen) angegeben und hängt vom Vorhandensein exponierter spannungsführender Leiter (z. B. Sammelschienen), leitenden baulichen Strukturen und Isolationstrennwänden am Schaltgerät ab. An

größere Leistungsschalter können Lichtbogenkammeraufsätze angebaut werden, um den Freiraumbedarf, und damit den Platzbedarf im Schaltschrank, zu verringern. Bei Vakuum-Leistungsschaltern und Vakuumschützen ist kein Lichtbogenausblasraum erforderlich, da der Lichtbogen nicht aus der Vakuumkammer austritt und keine ionisierten Gase freigesetzt werden.

Lichtbogenbildung
Eine Erscheinung, bei der elektrischer Strom durch Luft, oder genauer, durch eine Säule ionisierten Gases fließt. Während die Spannung entlang einer bestimmten Leiterlänge mit Ohmschen Widerstand proportional zum fließenden Strom steigt, erfolgt in einem Lichtbogen der umgekehrte Effekt. Unter Voraussetzung einer konstanten Länge verringert sich der Spannungsfall entlang eines Lichtbogens mit steigendem Strom. Dies erklärt sich dadurch, dass die Leitfähigkeit einer Säule ionisierten Gases temperaturabhängig ist; d.h. je höher der Lichtbogenstrom, desto höher die Temperatur und desto höher der Grad der Ionisation. In der Niederspannungs-Schalttechnik beträgt die Temperatur innerhalb eines Lichtbogens typischerweise zwischen 10.000 und 15.000 °C. Bei Spannungen über 15 V bildet sich stets ein Lichtbogen beim Öffnen eines elektrischen Stromkreises (siehe auch Lichtbogen). Kurzschlüsse sind übli-cherweise die Folge von unkontrollierter Lichtbogenbildung zwischen leitfähigen Teilen mit unterschiedlichem Potential (Überschlag). Kurzschlüsse stellen eine Brandgefahr dar und können erheblichen Schaden verursachen, wenn sie nicht sofort unter Kontrolle gebracht und/oder abgeschaltet werden können (siehe auch Kurzschlussschutzeinrichtung).

Lichtbogenkammer
Teil eines Schaltgeräts, das über den Schaltstücken angebracht ist, zum Aufnehmen und Löschen des Lichtbogens dient und vor Lichtbogenüberschlägen zwischen den einzelnen Polen schützt (Löschblechkammer).

Lichtbogenlöschung
Bei jeder Stromabschaltung müssen nicht nur die Schaltstücke geöffnet, sondern auch der beim Öffnen der Schaltstücke entstehende Lichtbogen gelöscht werden. Dabei wird zwischen verschiedenen Methoden unterschieden:

- Der Wechselstromlichtbogen erlischt beim Nulldurchgang des Stroms selbsttätig. Es muss allerdings ein Wiederzünden nach Spannungsrückkehr verhindert werden.
- Der Gleichstromlichtbogen wird dadurch gelöscht, dass ihm eine höhere Spannung aufgezwungen wird, als sie das Netz liefern kann. Dies geschieht durch Längung und intensive Kühlung.

Lichtbogenspannung
Größter Augenblickswert der Spannung, die unter vorgegebenen Bedingungen zwischen den Anschlussklemmen eines Pols des Schaltgeräts während der Lichtbogenzeit auftritt.

Lichtbogenzeit
Zeit vom Beginn des Öffnens der Schaltstücke in dem zuerst öffnenden Pol bis zum Ende des Stromflusses in allen Polen (Zeitbegriffe).

Lichtwellenleiter, Faserlichtleiter
Ein Lichtwellenleiter besteht aus einem Kern mit hoher Brechungszahl (Glasfaserbündel bzw. eine oder mehrere Kunststofffasern) und einem äußeren Mantel mit niedriger Brechungszahl. Ein Lichtwellenleiter führt Licht selbst um Biegungen und Kurven von einem Ort zum anderen.

In der Niederspannungs-Schalttechnik werden Lichtwellenleiter in Reflexions-Lichtschranken und -Lichttastern (Näherungsschaltern) eingesetzt. Sie werden vor dem Sender und Empfänger angebracht und fungieren als verlängertes "Auge" des Schalters (Lichtwellenverstärker). Da sie sehr biegsam und nicht spannungsführend sind, erleichtern sie das Austasten in unzugänglichen, problematischen und gefährdeten Bereichen. Die meisten Lichtwellenleiter können auf die gewünschte Länge gekürzt werden. Die Verwendung von Lichtwellenleitern bei Infrarotlicht ist wegen ihrer stärkeren Dämpfung bei niedrigeren Frequenzen nicht empfehlenswert.

Lineare Verbraucher
Lineare Verbraucher entnehmen dem Netz beim Anlegen sinusförmiger Netzspannung einen sinusförmigen Strom, der gegenüber der Spannung in der Phasenlage verschoben sein kann.

Löschbleche
Metallblechstücke in der Bahn eines Lichtbogens zur Erhöhung der Lichtbogenspannung. Eine Lichtbogenkammer kann mehrere Löschbleche enthalten, die den Lichtbogen von einem Löschblech zum anderen "überspringen" lassen. Bei jedem Auftreffen und Verlassen eines Löschblechs wird an der Basis oder Wurzel des Lichtbogens ein Spannungsfall bewirkt, der je nach Stromrichtung als Kathoden- oder Anodenfall erscheint.
Bei einem Dauer-Gleichstromlichtbogen beträgt diese Spannung 10 bis 20 V. Bei Stromumkehr (Wechselstrom) ist dieser Spannungsfall an der Oberfläche des Löschblechs wesentlich höher. Er wird dem Spannungsfall der Lichtbogensäule hinzuaddiert.

Löschblechkammer
Der Lichtbogen wird in der Kammer (auch Entionisierungskammer oder Deionisationskammer genannt) durch die darin befindlichen Löschbleche in viele kleine Einzellichtbögen unterteilt.
Der Wechselstromlichtbogen erlischt beim Nulldurchgang des Stroms; ein Wiederzünden des Lichtbogens nach Spannungsrückkehr wird durch das Wegwandern des Lichtbogens von den Schaltstücken und die Unterteilung des Lichtbogens in den Blechen verhindert.

Löschkammer
Siehe auch Lichtbogenkammer, Löschblechkammer.

LOVAG
Die **Lo**w **V**oltage **A**greement **G**roup (Vereinigung für Übereinstimmung im Bereich der Niederpannungs-Schalttechnik) bemüht sich um gegenseitige Anerkennung von Prüf- und Zertifikationsschriften der einzelnen nationalen Organisationen in Europa.
Ihre Gründungsmitglieder sind u. a. ASEFA (Frankreich), ASTA (England) und ALPHA (Deutschland).

Luftfeuchte, relative
Verhältnis des jeweiligen Feuchtezustands der Luft zum Sättigungszustand bei gleicher Temperatur, angegeben in Prozent.

Luftstrecke
Kürzester, als Fadenmaß, gemessener Abstand zwischen zwei leitfähigen Teilen. Sie ist mitentscheidend für das Isolationsniveau eines Schaltgeräts oder einer Schaltanlage.

Luftstrecke zur Erde
Luftstrecke zwischen den leitfähigen Teilen der Pole und geerdeten oder zur Erdung vorgesehenen Teilen.

Lyra-Kontakt
Eine feste Kontakthalterung in Form einer Lyra, in die das bewegliche Kontaktmesser während des Schließens eingelegt wird. Da der Strom in jedem der zwei parallelen Zinken (Seiten bzw. Backen) des Lyra-Kontakts (in geschlossenem Zustand) in die gleiche Richtung fließt, ziehen sich die Zinken gegenseitig dynamisch an. Je höher der Strom, desto höher ist auch die Kontaktkraft zwischen den Zinken am beweglichen Kontaktmesser. Lyra-Kontakte werden in Sicherungsunterteilen für NH-Sicherungen, Sicherungs-Lasttrennschaltern und Lasttrennschaltern mit Sicherungen verwendet. Die Kontaktmesser der NH-Sicherungen werden in die Lyra-Kontakte eingelegt.

Magnetanker
Der bewegliche Teil eines Magnetsystems, wie es bei Schützen und elektromagnetischen Auslösern verwendet wird. Der Magnetanker ist meistens ein geblechter Eisenkern. Wird die Spule erregt, so wird der Magnetanker von dem festen Teil (Joch) des Magnetsystems angezogen. Bei Schützen sind mit dem Anker die beweglichen Schaltstücke verbunden.

Magnetantrieb
Kraftantrieb bei fernbetätigbaren Schaltgeräten, z. B. Schützen. Er besteht im Wesentlichen aus Spule und Magnetkern, dessen beweglicher Teil als Magnetanker bezeichnet wird. Ein an die Spule gelegtes Eingangssignal steuert die Bewegung des Ankers, die zum Ein- bzw. Ausschalten des Schaltgeräts genutzt wird.

Magnetsystem
Bei Schaltgeräten der feste (Joch) und bewegliche Teil (Anker) des Magnetkerns und die Magnetspule, also der vollständige Elektromagnet, der zum Betätigen von Schützen oder magnetischen Überlastauslösern verwendet wird. Es gibt wechselstrom- und gleichstrombetätigte Magnetsysteme.

Maschennetz
Im Maschennetz wird die Energie über ein netzartig verbundenes Leitungssystem verteilt. Eingespeist wird im Allgemeinen über mehrere Punkte. Bei Ausfall einer Leitung wird jeder Verbraucher über die verbleibenden Leitungszweige (ohne umzuschalten) gespeist (Strahlennetz, Ringnetz).

Maschennetzrelais (Auslöser)
Diese Relais werden zusammen mit Maschennetzschaltern verwendet. Sie gewährleisten rasches und selektives Abschalten von beschädigten Hochspannungskabeln. Das Relais erfasst die Umkehr der Energierichtung, wenn bei einem Kurzschluss in einem hochspannungsseitigem Speisekabel des Maschennetzes hohe Ströme über das Netz und über die Transformatoren des schadhaften Kabels zur Fehlerstelle fließen. In diesem Fall spricht das Relais sofort an und löst über einen Spannungsauslöser und einen Energiespeicher den zugehörigen Leistungsschalter aus.

Maschennetzschalter
Leistungsschalter in einer Kombination mit einem Maschennetzrelais und einem speziellen Spannungsauslöser mit Energiespeicher (Maschennetzauslöser), der zwischen 10 und 110 Prozent der Bemessungsbetätigungsspannung sicher anspricht. Das Relais überwacht

die Richtung des Leistungsflusses an der Einbaustelle. Fließt die Leistung vom Transformator zum Verbraucher (Vorwärtsleistung), so spricht das Relais nicht an. Kehrt sich durch einen Fehler im Transformator oder im Hochspannungsnetz die Richtung des Leistungsflusses um, fließt also die Leistung zum Transformator (Rückleistung; dies ist möglich im Maschennetz mit mehreren Einspeisungen), dann spricht das Relais an und löst über den Maschennetzauslöser den Maschennetzschalter aus.

Master
Master (=aktive Busteilnehmer) dürfen, wenn sie den Token besitzen, Daten an andere Teilnehmer schicken und von anderen Teilnehmern Daten anfordern.

Masteranschaltung
Baugruppe für den dezentralen Aufbau. Über die Masteranschaltung wird die dezentrale Peripherie an das Automatisierungsgerät angeschlossen.

Master-Slave-Verfahren
Beim Master-Slave-Verfahren kontrolliert immer eine der Stationen, der Master, den Buszugriff durch das explizite Zuteilen einer zeitlich begrenzten Sendeerlaubnis an andere Stationen, die Slaves.

Mastersystem
Alle Slaves, die einem Master lesend oder schreibend zugeordnet sind, bilden zusammen mit dem Master ein Mastersystem.

MCC
Motor Control Center sind Niederspannung-Schaltanlagen in Einschubtechnik für Motorabzweige mit Hauptschalter und Türverriegelung.

MCCB
Molded Case Circuit Breaker=Leistungsschalter in Kompaktbauweise wobei das Schaltergehäuse aus Formstoff ist.

Mechanische Verriegelung
Eine Verriegelung, die mechanisch (d.h. nicht elektrisch), z. B. mit Kipphebel, Hebelsatz, Rastmechanismus, Seilzug, Schaltschloss betätigt wird.

Typische Beispiele bzw. Anwendungen sind:
1. Die gegenseitige Verriegelung zweier Schütze in einem Reversierstarter oder der Stern- und Dreieckschütze in einem Stern-Dreieck-Starter. Keiner der beiden verriegelten Schütze kann

eingeschaltet werden, falls der andere bereits eingeschaltet ist. Damit werden Kurzschlüsse bei Lastumschaltung verhindert. Es ist zu beachten, dass die mechanische Verriegelung den nachfolgenden Betrieb des Schütz nicht verzögern darf. Wenn elektrisch sichergestellt ist (d.h. mittels elektrischer Verriegelung und/oder Zeitsteuerung), dass das erste Schütz ausgeschaltet ist (einschließlich Löschung des Lichtbogens), bevor sich die Schaltstücke des zweiten Schütz berühren, kann auf eine mechanische Verriegelung eventuell verzichtet werden. Gegenseitige mechanische Verriegelung zweier Schütze verhindert auch, dass sie sich als Folge mechanischer Erschütterungen gleichzeitig einschalten.

2. Die gegenseitige Verriegelung zweier oder mehrerer Leistungsschalter, die sicherstellt, dass nur eine bestimmte Anzahl der Schalter (z. B. einer oder zwei) gleichzeitig geschlossen werden können. Z. B. gewährleistet eine spezielle mechanische Verriegelung von zwei Einspeisungsleistungsschaltern (mit unterschiedlichen Transformatoren), die lastseitig mittels Kuppelschalter verbunden sind, dass entweder beide Einspeisungsleistungsschalter ein- und der Kuppelschalter ausgeschaltet sind, oder dass nur ein Einspeisungsleistungsschalter und der Kuppelschalter eingeschaltet sind. Für diese Anordnung werden häufig Schlösser an den Leistungsschaltern angebracht. Einschalten ist nur dann möglich, wenn der Schlüssel eingesteckt und umgedreht ist und danach im Schloss verbleibt. Da nur zwei Schlüssel verfügbar sind, können nur zwei der drei Schalter gleichzeitig eingeschaltet werden. Diese Anordnung wird auch “Castell-Verriegelung” genannt, wobei “Castell” die Produktbezeichnung von bestimmten Hochsicherheitsschlössern und -schlüssel ist. Castell-Verriegelung bezeichnet aber jegliche Verriegelung mit Schloss und Schlüssel. Die Verriegelungsanordnung kann auch mit Seilzügen und Stößeln erreicht werden.

3. Die Türverriegelung an der Handhabe eines Schaltgeräteantriebs. Eine solche Verriegelung wird beispielsweise dann verwendet, wenn verhindert werden soll, dass eine Schaltschranktür geöffnet wird, solange der Trennschalter hinter der Türe eingeschaltet, bzw. in EIN-Stellung steht (wird auch “MCC Handhabe” genannt).

Mehrfachunterbrechung
Reihenschaltung von Schaltstellen, die gleichzeitig geschlossen und geöffnet werden. Wird angewendet, um die Bemessungsspannung eines Schaltgeräts zu erhöhen und den Lichtbogen in mehrere Einzellichtbögen zu unterteilen (Ausschaltvermögen).
Die einfachste Form der Mehrfachunterbrechung ist die

Doppelunterbrechung mit zwei Unterbrecherstellen. Ziel dieser Maßnahme ist es, den beim Schalten entstehenden Lichtbogen in mehrere Einzellichtbögen aufzuteilen, um die elektrische Lebensdauer des Kontaktsystems und die Kontaktsicherheit bei Kleinspannungen zu erhöhen.

Mindestbefehlsdauer
Für den Anwender des Schaltgeräts die Mindestzeit und für den Entwickler des Schaltgeräts die maximale Zeit, die ein Befehl anstehen muss, um einen Vorgang (z. B. Einschaltvorgang) sicher zu beenden.

MTTF / $MTTF_d$ (Mean Time To Failure/Mean Time To Failure dangerous)
Mittlere Zeit bis zu einem Ausfall bzw. gefährlichem Ausfall. Die MTTF kann für Bauelemente durch die Analyse von Felddaten oder mittels Vorhersagen durchgeführt werden. Bei einer konstanten Ausfallrate ist der Mittelwert der ausfallfreien Arbeitszeit MTTF = 1 / λ, wobei Lambda λ die Ausfallrate des Gerätes ist. (Statistisch gesehen kann angenommen werden, dass nach Ablauf der MTTF 63,2% der betreffenden Komponenten ausgefallen sind.)

Motorschutz
Schutz der Drehstrommotoren vor Überlast und Kurzschluss, d.h. Schutz der Wicklungsisolierung vor unzulässiger Erwärmung.

Motorstarter
Die Kombination aller zum Anlassen und Stillsetzen eines Motors erforderlichen Geräte in Verbindung mit geeignetem Überlastschutz. Dies kann sein, z. B. eine Gerätekombination von Schütz, Überlastrelais, Betätigungselementen und gegebenenfalls Leuchtmeldern, verdrahtet und eingebaut in ein Gehäuse (Umhüllung) oder ein Leistungsschalter für den Motorschutz mit a- und n-Auslöser.

NAMUR (Siehe auch Näherungsschalter**)**
Abkürzung für **N**ormen**a**usschuss für **M**ess- **u**nd **R**egelungstechnik. Näherungsschalter BERO nach NAMUR und DIN 19 234 sind induktive, kapazitive und Ultraschall-Näherungsschalter für Gleichspannung. Sie besitzen nur einen Oszillator zur Erzeugung des elektromagnetischen Erfassungsfelds.
Aufgrund ihres niederohmigen Eingangs sind sie gegen induktive und kapazitive Einkoppelungen besonders unempfindlich. In Verbindung mit speziellen Nachschaltgeräten können diese BERO in eigensicheren Stromkreisen betrieben werden.

n-Auslöser
Kurzbezeichnung für unverzögerten elektromagnetischen Überstromauslöser.

Näherungsschalter
Siehe auch induktiver Näherungsschalter (BERO) und NAMUR

NEMA/EEMAC-Baugröße
Sowohl die US-amerikanische NEMA Norm (**N**ational **E**lectrical **M**anufacturer's **A**ssociation: Nationaler Verband der Hersteller elektrotechnischer Erzeugnisse) als auch die kanadische EEMAC Norm (**E**lectrical and **E**lectronic **M**anufacturer's **A**ssociation of **C**anada: Kanadischer Verband der Hersteller elektrotechnischer Erzeugnisse) definieren ein System von Schütz- und Motorstarterbaugrößen, die auf genormten Bemessungsdaten basieren.
Das IEC-Prinzip dagegen basiert auf Gebrauchskategorien bzw. genormten Prüfkriterien, um Anwendungsbereiche zu definieren und den jeweiligen Anlasser für die tatsächlichen Last- und Betriebsbedingungen zu dimensionieren.
NEMA (oder EEMAC) Starter sind außerdem durch austauschbare Heizelemente an den Überlastrelais, austauschbare Hauptschaltglieder (auch für niedrige Bemessungsdaten) und genormte Einbauabmessungen gekennzeichnet.

Netzarten und Systeme
Elektrische Netze werden nach Spannung, Aufbau und Form gegliedert.
Bei Wechselspannung wird unterschieden nach:
- Niederspannungsnetzen bis 1.000 V,
- Mittelspannungsnetzen über 1 bis 60 kV,
- Hochspannungsnetzen über 60 bis 380 kV,
- Höchstspannungsnetzen über 380 kV.

Im Aufbau der Netze wird differenziert zwischen:
- offenem Netz (z. B. Strahlennetz) und
- geschlossenem Netz (z. B. Ringnetz, Maschennetz).

Bei Niederspannung gibt es folgende Netzformen:
- TN-System,

Im TN-System ist ein Punkt des Netzes (Sternpunkt oder Außenleiter) direkt geerdet. Die Körper der elektrischen Betriebsmittel sind über einen Schutz- bzw. PEN-Leiter mit dem geerdeten Netzpunkt verbunden.

Im TN-System gibt es folgende Varianten:

- TN-S-System
  Hier sind Neutralleiter (N) und Schutzleiter (PE) im gesamten Netz getrennt geführt.
- TN-C-System,
  Hier sind Neutralleiter- und Schutzleiterfunktion im gesamten Netz in einem einzigen Leiter, dem PEN-Leiter, zusammengefasst.
- TN-C-S-System,
  Hier sind Neutralleiter- und Schutzleiterfunktion nur in einem Teil des Netzes in einem einzigen Leiter, dem PEN-Leiter, zusammenfasst; im übrigen Teil des Systems sind Neutral- und Schutzleiter getrennt verlegt.
- TT-System,
  Im TT-System ist ein Punkt direkt geerdet; die Körper der Betriebsmittel sind mit Erdern verbunden.
- IT-System,
  Das IT-System hat keine direkte Verbindung zwischen aktiven Leitern und geerdeten Teilen, die Körper der elektrischen Betriebsmittel sind geerdet.

Netzumschalter
Schalter zum Schalten von Verbraucher(n) auf zwei voneinander unabhängige Netze. Netzumschalter werden dort eingesetzt, wo eine sichere Versorgung auch nach Ausfall des normalen Versorgungsnetzes sichergestellt werden muss.

Neutralleiter (N)
Ein mit dem Mittel- bzw. Sternpunkt des Netzes verbundener Leiter, der geeignet ist, elektrische Energie fortzuleiten.

NH-Sicherung
Niederspannungs-Hochleistungssicherungen für industrielle und ähnliche Anlagen bestehend aus Sicherungsunterteil und Sicherungseinsatz. Der NH-Sicherungseinsatz darf aufgrund seiner Bauart nur von Fachleuten unter Berücksichtigung einschlägiger Vorschriften ausgewechselt werden.

NH-Sicherungseinsatz
Die Sicherung ist ein für einmaliges Ausschalten geeignetes Schutzgerät, bei dem der Strom durch Schmelzen eines in Sand eingebetteten Schmelzleiters infolge Stromwärme unterbrochen wird. Die Ausführung ihrer Schmelzleiter bestimmt das Ausschaltvermögen entsprechend der Betriebsklassen.

Niederspannungs-Schaltgerätekombination
Eine Schaltgerätekombination ist die Zusammenfassung eines oder mehrerer Niederspannungs-Schaltgeräte mit zugehörigen Betriebsmitteln zum Steuern, Messen, Melden und den zugehörigen Schutz- und Regeleinrichtungen. Sie ist unter Verantwortung des Herstellers komplett zusammengebaut, mit allen inneren elektrischen und mechanischer Verbindungen und Konstruktionsteilen.

NOT-AUS-Einrichtung
Nach DIN VDE 0100 Teil 460 dient die NOT-AUS-Einrichtung zur Abschaltung der speisenden Spannung (Not-Aus-Schalter).

NOT-AUS-Schalter
Nach DIN EN 60 204 Teil 1 (VDE 0113 Teil 1) müssen mit dem NOT-AUS-Schalter eine Anlage, Teile einer Anlage oder einer Maschine im Gefahrenfall stillgesetzt bzw. in einen Zustand gebracht werden, dass Gefahren für Personen und Maschine vermieden werden (NOT-AUS-Einrichtung).
Die Bedienteile müssen vom Standplatz des Bedienenden aus gut sichtbar und leicht erreichbar sein. Seine Handhabe muss rot und mit gelber Kontrastfläche unterlegt sein.

Nullpunktlöscher
Leistungsschalter, dessen Schaltstücke im Kurzschlussfall (Kurzschluss) über Kurzschlussschnellauslöser und Schaltschloss öffnen. Während der Öffnungszeit steigt der Kurzschlussstrom auf seinen vollen Wert an. Der entstehende Lichtbogen verringert den Kurzschlussstrom nur soweit, bis der Lichtbogen im natürlichen Stromnulldurchgang verlöscht.

Nullspannungsauslöser
Nullspannungsauslöser sind spezielle Unterspannungsauslöser, die zwischen 35 % und 10 % der Bemessungssteuerspeisespannung wirken.

Oberschwingung
Oberschwingungen sind die in nicht-sinusförmigen, periodischen Schwingungen enthaltenen sinusförmigen (harmonischen) Schwingungen, die mit einem ganzzahligen Vielfachen der Grundschwingungs-(= Netz-)frequenz schwingen. Ihre Amplituden sind um ein Vielfaches kleiner als die der Grundschwingung.

Oberschwingungsanteil
Bei Wechselstromnetzen Grad der Verzerrung der Sinushalbwelle durch Oberschwingungserzeuger (z. B. gesättigte Schwingkreisdrosseln).

Offene Bauform
Niederspannung-Schaltgerätekombination (TSK oder PTSK), bei der die elektrischen Betriebsmittel in einer Tragkonstruktion so angeordnet sind, dass ihre aktiven Teile zugänglich sind.

Offenstellung
Stellung, in der die vorgesehene Luftstrecke zwischen geöffneten Schaltstücken im Hauptstromkreis eines Schaltgeräts sichergestellt ist.

Öffner (NC)
Steuer- oder Hilfsschaltglied, das offen ist, wenn die Hauptschaltglieder eines Schaltgeräts geschlossen sind, und das geschlossen ist, wenn diese offen sind.

Öffnungsverzug
Öffnungsverzug ist die Zeit vom Eintreten des die Auslösung verursachenden Zustands bis zum Beginn des Öffnens der Schaltstücke der zuletzt öffnenden Strombahn. Es ist die Summe der Auslösezeit und Eigenzeit.

Öffnungszeit (bis zum Öffnen der Abbrennschaltstücke)
Öffnungszeit ist die Dauer bis zum Öffnen der Abbrennschaltstücke, wenn jede Verzögerungseinrichtung, die einen wesentlichen Bestandteil des Leistungsschalters bildet, auf den kleinsten Wert eingestellt, oder wenn möglich, ganz unwirksam gemacht wird.
Bei einem Leistungsschalter, der durch eine Hilfsenergie ausgelöst wird, beginnt die Öffnungszeit in dem Augenblick, in dem diese Hilfsenergie dem Auslöser des eingeschalteten Leistungsschalters zugeführt wird. Sie endet in dem Augenblick, in dem die Abbrennschaltstücke in allen Polen getrennt sind. Bei einem Leistungsschalter, der durch Überstrom ohne Hilfsenergie ausgelöst wird, beginnt die Öffnungszeit in dem Augenblick, in dem der Strom in der Hauptstrombahn bei geschlossenem Leistungsschalter den Ansprechstrom des Überstromauslösers erreicht. Sie endet in dem Augenblick, in dem die Abbrennschaltstücke in allen Polen getrennt sind.

Optical Link Modul (OLM)
Mit dem OLM lassen sich Profibus-Netze mit Lichtwellenleitern (LWL) in Linien-, Ring- und Sternstruktur aufbauen. Die Übertragungsgeschwindigkeit einer LWLStrecke ist dabei unabhängig von der Entfernung. Die Module gibt es sowohl für Kunststoff- als auch für Glasfaserleitungen. Die Ausführungen für große Entfernung können maximal 10 km (Mehrmoden-LWL) bzw. 15 km (Einmoden-LWL) überbrücken.

Partiell typgeprüfte
Niederspannungs-Schaltgerätekombination (PTSK)
Eine Schaltgerätekombination nach DIN EN 60 439 Teil 1 (VDE 0660 Teil 500), die typgeprüfte und/oder nicht-typgeprüfte Baugruppen enthält, bei der die Einhaltung der jeweiligen Anforderungen durch Prüfung und/oder rechnerische Ermittlung nachgewiesen wird. Eine Baugruppe kann z. B. auch aus einem einzelnen Niederspannungs-Schaltgerät mit dazugehörigen elektrischen Verbindungen oder aus einem Gehäuse (Umhüllung) bestehen.

PEN-Leiter
Geerdeter Sternpunktleiter mit Schutzfunktion im Drehstromsystem.

PFH_D (Probability of dangerous failure per hour)
Wahrscheinlichkeit eines gefahrbringenden Ausfalls pro Stunde.

Phasenausfallempfindlichkeit
Einrichtung bei Überlastrelais, die ein Ansprechen der Schutzeinrichtung auch bei Einphasenlauf eines Drehstrom-Asynchronmotors ermöglicht, bevor dem Motor thermischer Schaden zugefügt wird (DIN VDE 0660 Teil 102).

PL (Performance Level)
Diskreter Level, der die Fähigkeit von sicherheitsbezogenen Teilen einer Steuerung spezifiziert, eine Sicherheitsfunktion unter vorhersehbaren Bedingungen auszuführen: von PL "a" (höchste Ausfallwahrscheinlichkeit) bis PL "e" (niedrigste Ausfallwahrscheinlichkeit).

Pol (eines Leistungsschalters)
Alle Teile eines Leistungsschalters, die demselben Hauptstromkreis zugeordnet und mit Schaltstücken zum Schließen und Öffnen ausgestattet sind. Ausgenommen sind die Teile, die zur gemeinsamen Befestigung und Betätigung aller Pole dienen.

Anmerkung:
Hat ein Leistungsschalter nur einen Pol, so handelt es sich um einen einpoligen Schalter. Mehrpolige (zweipolig, dreipolig usw.) Schalter besitzen mehrere Pole, die so gekoppelt sind oder gekoppelt werden können, dass sie gemeinsam arbeiten.

Polzahl
Anzahl der Strombahnen eines Schaltgeräts. Die Strombahnen werden nach Hauptstrom- und Hilfsstrombahnen unterschieden.

PNO
Die Profibus-Nutzerorganisation (PNO) wurde im Dezember 1989 gegründet, um den Informationsaustausch zwischen allen am Profibus Interessierten zu organisieren und zu pflegen. Darüber hinaus übernimmt die PNO die Normpflege für die Weiterentwicklung des Profibus und verleiht das PNO-Warenzeichen für qualifizierte und geprüfte Produkte. www.profibus.com

Prellen
Vorgang während des Einschaltens (selten beim Ausschalten) von Schaltstücken, verursacht durch federnde bewegliche Schaltstücke, die nach kurzzeitigem Schließen von den feststehenden Schaltstücken abgestoßen werden und sich danach erneut berühren. Dieser Vorgang setzt sich solange fort, bis die Bewegungsenergie verbraucht ist, und der Kontakt geschlossen bleibt.

Da während der gesamten Prelldauer ein hoher, vom Verbraucher abhängiger Einschaltstrom fließt, bilden sich beim Abheben der Schaltstücke Lichtbögen, die zu erheblichem Kontaktverschleiß und schließlich sogar zum Verschweißen führen können.

Profibus
Process **Fi**eld B**us**, internationale Prozess- und Feldbusnorm, die u. a. in der Profibus-Norm (EN 50170, DIN 19 245, Teil 1 und 2) festgelegt ist. Die Norm gibt funktionelle, elektrische und mechanische Eigenschaften für ein serielles Feldbussystem vor.

Profibus-DP
Normentwurf Profibus-DP (EN 50170, DIN 19 245, Teil 3). Die Hauptaufgabe von Profibus-DP ist der schnellste zyklische Datenaustausch zwischen dem zentralen DP-Master und den Peripheriegeräten.

Proof-Test, Wiederholungsprüfung
Wiederkehrende Prüfung, die Fehler oder eine Verschlechterung in einem SRECS und seinen Teilsystemen erkennen kann, sodass, falls notwendig, das SRECS und seine Teilsysteme in einen "Wie-neu-Zustand" oder so nah wie praktisch möglich diesem Zustand entsprechend wiederhergestellt werden können.

Prospektiver Kurzschlussstrom
Ein im Schadensfall zu erwartender unbeeinflusster Kurzschlussstrom, der in einem Stromkreis fließen würde, wenn keine Schutzeinrichtungen im Leitungszug diesen Strom dämpfen würde.

Prüfstellung
Stellung eines Einschubs, in der die betreffenden Hauptstromkreise geöffnet sind, aber die Anforderungen an eine Trennstrecke nicht erfüllt werden müssen, und in der die Hilfsstromkreise so angeschlossen sind, dass eine Funktionsprüfung des Einschubs vorgenommen werden kann, während dieser mechanisch mit der Schaltgerätekombination verbunden bleibt.
Die Öffnung der Hauptstromkreise darf auch durch Betätigung eines geeigneten Schaltgeräts hergestellt werden, ohne dass der Einschub mechanisch bewegt werden muss.

PTB-Bescheinigung
Protokoll der **P**hysikalisch-**T**echnischen-**B**undesanstalt (PTB), in dem bestimmte, vom Hersteller der Geräte zugesagte Eigenschaften bestätigt werden. Sie ist für Motorschutzeinrichtungen (Motorstarter, Überlastrelais, Thermistor-Motorschutzgerät) vorgeschrieben, wenn diese Geräte zum Schutz von Motoren der Bauart (Ex)e eingesetzt werden sollen.
In Verbindung mit einer am Schaltgerät angebrachten Auslösekennlinie (Auslöser) wird in der PTB-Bescheinigung dokumentiert, dass die Motorschutzeinrichtung so beschaffen ist, dass bei ordnungsgemäßem Betrieb der Schaltanlage in einem explosionsgefährdetem Raum zündfähige Temperaturen am Motor nicht entstehen (Explosionsschutz).

PTB-Bescheinigung und Auslösekennlinie(n) werden auf Anforderung dem Ersteller oder Betreiber der Anlage vom Schaltgerätehersteller zur Verfügung gestellt.

PTSK
Partiell typgeprüfte Niederspannungs-Schaltgerätekombination (siehe auch TSK).

r-Auslöser
Kurzbezeichnung für Unterspannungsauslöser.

rc-Auslöser
Kurzbezeichnung für Unterspannungsauslöser mit Kondensatorverzögerung.

RC-Glied
Hintereinanderschaltung von ohmschem Widerstand und Kondensator. Beim Abschalten eines Verbrauchers tritt in Stromkreisen mit induktiver Last eine Überspannung auf, die zu einem Lichtbogen führen kann und die Lebensdauer der Kontakte verringert. Zur Löschung dieses Lichtbogens kann man den Kontakt durch ein RC-Glied überbrücken.

Reaktionszeit
Die Reaktionszeit ist die durchschnittliche Zeit, die zwischen der Änderung eines Eingangs und der dazugehörigen Änderung eines Ausgangs vergeht.

Reproduzierbarkeit R
Unter Reproduzierbarkeit versteht man die Wiederholgenauigkeit des Nutzschaltabstands (s_u) bei zwei aufeinander folgenden Schaltungen innerhalb einer Zeitdauer von acht Stunden bei einer Gehäusetemperatur zwischen 15 °C und 30 °C und bei einer Spannung, die ± 15 % von der Bemessungsspannung (U_n) abweichen darf.

Reset-Stellung
Position, in die ein Schaltgerät nach einer Auslösung über einen Antrieb oder Taster gebracht werden muss, um das Schaltgerät erneut betätigen zu können.

Ringnetz
Mehrere Transformatoren speisen bei einem Ringnetz einen in sich geschlossenen Kabelring, an dem alle Verbraucher angeschlossen sind. Wird der Ring an irgendeiner Stelle aufgetrennt, werden die Verbraucher von einer der beiden Seiten wie durch ein Strahlennetz gespeist. Das Ringnetz ist eine Form des Energieversorgungsnetzes (siehe auch Maschennetz).

RMS (r.m.s)
Effektivwert (Wurzel aus dem quadratischen Mittelwert).

RS 485-Repeater
Betriebsmittel zur Verstärkung und Regenerierung von Bussignalen und Kopplung von Segmenten über große Entfernungen.

Rückfallverzögerung
Die von einem Zeitrelais oder Zeitglied (z. B. an Schützen) bewirkte Zeitspanne zwischen Ausschaltbefehl und dem Erreichen der Ausgangsstellung der Schaltglieder des Zeitrelais bzw. des Zeitglieds.

Rushstrom
Die kurzzeitige Stromspitze, die unmittelbar nach dem Einschalten eines magnetischen Stromkreises (z. B. Transformator, Motor, Antrieb usw.) auftritt. Sie wird durch den Aufbau des magnetischen Felds (Rusheffekt) hervorgerufen. Die Amplitude des Einschaltstroms hängt von der Induktivität des Laststromkreises und vom Einschaltaugenblick, d.h. der Phasenlage der Spannung, bei der die Schaltstücke des Schaltgeräts

schließen, ab. Maximaler Strom fließt beim Einschalten im Spannungsnulldurchgang. Typische Einschaltstromwerte eines Käfigläufermotors (bei Bemessungsspannung) sind:

Einschalten: $i_{max} = \sqrt{2} \bullet I_{an} \bullet (1{,}8 \text{ bis } 2{,}0)$

Stern-Dreieck-Umschaltung: $i_{max} = \sqrt{2} \bullet I_{an} \bullet (2{,}1 \text{ bis } 3{,}7)$

Reversieren: $i_{max} = \sqrt{2} \bullet I_{an} \bullet (2{,}7 \text{ bis } 5{,}0)$

mit I_{an} = Anlaufstrom des Motors

Bei Transformatoren ist der Rushstrom (Einschaltstrom) abhängig von Bauart, Ausführung, Wicklungsaufbau, Anwendungsfall, Leistungsgröße usw. Er liegt als Effektivwert beim etwa 15- bis 30-fachen des Primär-Bemessungsstroms. Der Rushstrom klingt in wenigen Perioden ab und ist bereits nach 20 ms deutlich kleiner.

Sanftanlaufanlasser

Ein Motorstarter, der das Anlaufdrehmoment (Anzugsdrehmoment, Losbrechmoment) des Motors reduziert, um Erschütterungen an der angetriebenen Maschine zu verringern. Bei Käfigläufermotoren wird das Anlaufdrehmoment normalerweise dadurch verringert, dass die Versorgungsspannung zu Beginn niedriger als die Bemessungsspannung des Motors ist (das Anlaufdrehmoment ist proportional dem Quadrat der angelegten Spannung). Die Klemmenspannung kann erhöht werden, sobald der Motor läuft. Klassische Methoden zur Reduzierung der Klemmenspannung sind z. B. Stern-Dreieck-Anlassen, Anlauf über Widerstände im Ständer und Anlauf mit Spartransformator. Die Verwendung von Halbleiter-Motorsteuergeräten mit geschalteten Thyristorkreisen zur Regelung der Klemmenspannung bei Käfigläufermotoren setzt sich in zunehmendem Maße durch. Siehe auch - Sanftauslauf.

Bei Schleifringmotoren wird der Sanftanlauf durch Regelung des Widerstands in der Läuferschaltung erreicht.

Sanftanlauf kann auch mechanisch erreicht werden (z. B. hydraulische Getriebe, Kupplungen usw.).

Sanftauslauf (von Käfigläufermotoren)

Der Sanftauslauf von Käfigläufermotoren wird durch Reduzierung der Klemmenspannung unter Berücksichtigung einer speziellen zeitabhängigen Funktion erreicht (z. B. lineare Abfalls- oder Auslauframpe mit gegebener Rampenzeit). Sanftauslauf ist besonders wichtig, wenn das Trägheitsmoment des Antriebs klein ist und ein plötzlicher Halt der Maschine vermieden werden soll (z. B. Fließband, Aufzug).

Schaltanlage
Elektrische Anlage, die durch den Zusammenbau von Schaltgeräten, Sammelschienen zugehörigen Verbindungsleitungen und sonstigem Zubehör, z. B. Wandler und Messgeräten, entsteht.

Schaltgerätekombination (SK, TSK, PTSK)
Kombination von Niederspannungs-Schaltgeräten, die nach DIN EN 60 439 Teil 1 (VDE 0660 Teil 500) gebaut und geprüft ist. Diese Bestimmung unterscheidet typgeprüfte (TSK) und partiell typgeprüfte (PTSK) Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen.

TSK: Schaltgerätekombination, die ohne wesentliche Abweichungen mit dem Ursprungstyp oder -system der nach der Norm typgprüften Schaltgerätekombination übereinstimmt.

PTSK: Schaltgerätekombination, die typgeprüfte und/oder nicht typgeprüfte Baugruppen enthält, bei der die Einhaltung der jeweiligen Anforderungen dieser Bestimmung nachgewiesen wird.

Schaltgeschwindigkeit
Geschwindigkeit der beweglichen Schaltstücke beim Ein- und Ausschalten.

Schaltschloss
Teil eines Schlossschalters, das den Schalter in der eingeschalteten Stellung verriegelt. Das Schaltschloss umfasst alle mechanischen Glieder für die Schaltübersetzung und die Verklinkung zu einem geschlossenen Bauteil. Es enthält noch die Freiauslösung.

Schaltspiel
Folge von Betätigung von einer Schaltstellung in die andere und zurück zur Ausgangsstellung, wobei - falls vorhanden - alle Zwischenstellungen durchlaufen werden.

Anmerkung:
Das kann Schließen mit nachfolgendem Öffnen sein. Eine Folge von Betätigungen, die keine Schaltspiele bilden, heißt eine Reihe von Betätigungen.

Schaltstellungsanzeige
Vorrichtung, die mit dem Schaltgerät mechanisch oder elektrisch verbunden ist und anzeigt, ob dieses ein- oder ausgeschaltet ist (Schaltstücke der Hauptstrombahn in geöffneter oder geschlossener Stellung).

Schaltstück
Teil eines Kontaktsystems, durch den der Stromkreis geöffnet oder geschlossen wird. Unterscheidung zwischen festen und beweglichen Schaltstücken sowie nach Verwendungszweck zwischen Hauptschaltstücken und Hilfsschaltstücken.

Schaltstückauflage
Siehe auch Schaltstückmaterial.

Schaltstücklebensdauer
Anzahl der Schaltspiele, die ein Kontaktsatz unter spezifizierten elektrischen und/oder mechanischen Belastungen erreichen kann. Die Schaltstücklebensdauer ist z. B. erreicht, wenn das Volumen oder die Dicke des Schaltstückmaterials an den Schaltstückspitzen durch Schaltstückabbrand soweit reduziert ist, dass das Schaltstückauflagematerial frei liegt und das Risiko einer Schaltstückverschweißung sehr hoch wird.
Schaltstücke unterliegen auch mechanischer Abnutzung (siehe Wischer), so dass die Schaltstücklebensdauer selbst dann begrenzt ist, wenn Schaltstückabbrand aufgrund von Lichtbögen verschwindend gering ist. Ist z. B. die Belastung eines Schütz bekannt, kann die zu erwartende Schaltstücklebensdauer mit Diagrammen oder geeigneter Software vorhergesagt werden. Die Gültigkeit solcher Vorhersagen hängt natürlich stark vom Auftreten von Kurzschlüssen oder unerwarteten Überströmen ab (z. B. bei Leistungsschaltern).

Schaltstückmaterial
Die Eigenschaften des Schaltstückmaterials (Material der Schaltstückspitzen), die mit den beweglichen und festen Schaltgliedern verbunden sind, bestimmen wesentlich die Qualität, Zuverlässigkeit und Lebensdauer des Schaltgeräts. Das Schaltstückmaterial muss folgende Eigenschaften aufweisen:

a) Hohe thermische und elektrische Leitfähigkeit
b) Geringe Verschmutzungsanfälligkeit an den Auflageschichten
c) Geringe Brennbarkeit
d) Hoher Schmelzpunkt und Schweißfestigkeit
e) Geeignete Härte, Festigkeit und Starrheit (Ausgewogenheit zwischen Kontaktkraft, Einschaltgeschwindigkeit, Prellen etc.)
f) Umweltfreundlichkeit (d.h. ungiftig in der Herstellung und Entsorgung)
g) Einfach zu handhaben und kostengünstig

Leider gibt es kein Idealmaterial, das allen diesen Ansprüchen auch nur annähernd gerecht wird. Die heutigen Materialien für Niederspannungs-

Schaltgeräte sind u. a. Silber, Silberlegierungen und einige Sinterwerkstoffe. Obwohl Silber-Cadmium-Oxyd sehr günstige Eigenschaften aufweist, z. B. hohe Schweißfestigkeit, wird es aufgrund seiner Toxizität immer weniger und in Siemens-Schützen überhaupt nicht mehr verwendet.

Schaltvermögen
Strom, den ein Schaltgerät unter festgelegten Bedingungen aus- und einschalten kann (Ausschalt- und Einschaltvermögen).
Kann ein Schaltgerät größere Ströme einschalten als ausschalten oder umgekehrt, so kann die Angabe des Schaltvermögens in Ausschaltvermögen und Einschaltvermögen getrennt werden.

Schaltwelle
Teil des Schalters, mit dem die Schaltstücke bewegt werden. An der Schaltwelle greift der Antrieb an.

Schaltwinkel
Winkel, um den das Betätigungselement beim Schalten eines Schaltgeräts gedreht werden muss.

Scheinleistung
Bei Wechselstrom das Produkt aus Spannung und Strom ohne Berücksichtigung des Leistungsfaktors cos φ. Die Scheinleistung ist eine messbare Größe. Sie wird angegeben in VA (siehe auch Leistung).

Scheitelwert des unbeeinflussten Stroms
Scheitelwert des unbeeinflussten Stroms ist der höchste Wert des Stroms, der während der Übergangsperiode nach Beginn des Stromflusses auftritt.

Anmerkung:
Bei dieser Definition wird angenommen, dass der Strom durch einen idealen Schalter eingeschaltet wird, d.h. mit unverzögerter Veränderung der Impedanz von Unendlich auf nahezu Null.
Für mehrphasige Stromkreise nimmt man außerdem an, dass der Strom in allen Polen gleichzeitig eingeschaltet wird, auch wenn der Strom in einem Pol betrachtet wird.

Schließen
Betätigung, bei der der Leistungsschalter von der Offenstellung in die Schließstellung gebracht wird.

Schließer (S)
Steuer- oder Hilfskontakt, der geschlossen ist, wenn die Hauptschaltglieder des Leistungsschalters geschlossen sind und der offen ist, wenn diese offen sind. Kontakt, der in unbetätigter Position geöffnet ist und bei Betätigung schließt.

Schließstellung
Stellung, in der die Kontakte eines Schaltgeräts geschlossen sind.

Schließverzug
Schließverzug ist die Zeit vom Beginn der Befehlsgabe bis zur ersten Kontaktgabe der Schaltstücke des erstschließenden Pols. Sie ist gleich der Summe aus Bewegungsverzug und Schließzeit (siehe auch Zeitbegriffe).

Schlossschalter
Schalter mit einem Schaltschloss; Leistungsschalter sind Schlossschalter. Kennzeichnend für die Schlossschalter sind die Kraftspeicherung, damit die Schaltglieder bei Freigabe der Sperre in ihre Ausgangsstellung zurückkehren und die Freiauslösung.

Schlüsselschalter
Handbetätigtes Schaltgerät, das durch Schlüsselbetätigung ein- und/oder ausgeschaltet werden kann.

Schmelzleiter
Besonders geformter Leiter aus Kupfer (in Sonderfällen aus Silber) im Sicherungskörper des Sicherungseinsatzes. Er schmilzt bei Überlast oder Kurzschluss infolge Stromwärme. Besondere Merkmale sind Lotbereich und Engstellen. Der Lotbereich schmilzt bei unzulässiger Überlast, die Engstellen sind definierte Abschmelzstellen bei Kurzschluss.

Schmelzzeit
Zeit für das Abschmelzen des Schmelzleiters einer Sicherung vom Beginn des unzulässigen Überlaststroms oder Kurzschlussstroms bis zum Beginn des Unterbrechungsvorgangs.

Schnappbefestigung
Befestigungsart von Geräten durch Aufschnappen auf eine dafür vorgesehene Normtragschiene, z. B. Hutschiene 35 mm nach DIN EN 50 022. Ein Lösen der Geräte von der Schiene ist nur mit Hilfe eines Werkzeugs möglich.

Schnellschalter
Schalter mit besonders kurzem Öffnungsverzug, der den Kurzschlussstrom nach Größe und Dauer begrenzt.

Schütz
Schaltgerät mit nur einer Ruhestellung, im Normalfall ohne mechanische Sperre, das nicht von Hand betätigt wird und das unter normalen Bedingungen des Stromkreises einschließlich betriebsmäßiger Überlast Ströme einschalten, führen und ausschalten kann. Schütze sind vorzugsweise für hohe Schalthäufigkeit bestimmt. Man unterscheidet: Schütze zum Schalten von Motoren (Motorschalter) und Hilfsschütze zum Steuern.

Anmerkung:
Ein Schütz kann Kurzschlussströme ein- und ausschalten, wenn es dafür ausgelegt ist. Es ist im Allgemeinen nicht zum Trennen bestimmt. Ein Schütz, dessen Hauptschaltglieder in der Ruhestellung geschlossen sind, wird im Französischen mit "rupteur" bezeichnet. Im Englischen gibt es keinen vergleichbaren Begriff.

Schutzart
Die Schutzart eines Geräts gibt den Schutzumfang an. Der Schutzumfang beinhaltet den Schutz von Personen gegen das Berühren unter Spannung stehender Teile und den Schutz der elektrischen Betriebsmittel gegen das Eindringen von festen Körpern und von Wasser bei Gehäusen und Kapselungen (DIN VDE 0470-1).
Die Schutzart wird international durch eine Kombination von Buchstaben (IP = **i**nternational **p**rotection) und Zahlen ausgedrückt. Die erste Kennziffer definiert den Berührungs- und Fremdkörperschutz, die zweite den Wasserschutz.

Schutz bei indirektem Berühren
Maßnahmen zum Schutz von Personen (und Nutztieren) vor Gefahren, die sich im Fehlerfall aus einer Berührung mit Körpern oder fremden leitfähigen Teilen ergeben können.

Schutz gegen direktes Berühren
Maßnahmen zum Schutz von Personen (und Nutztieren) vor Gefahren, die sich aus einer Berührung mit aktiven Teilen elektrischer Betriebsmittel ergeben. Es kann sich hierbei um einen vollständigen oder teilweisen Schutz handeln. Bei teilweisem Schutz besteht nur ein Schutz gegen zufälliges Berühren.

Schutzisolierung
Sie ist eine Schutzmaßnahme und wird hergestellt
- durch eine zusätzliche Isolierung zur Basisisolierung oder
- durch eine Verstärkung der Basisisolierung

in einer solchen Art, dass bei einem Versagen der einfachen Basisisolierung keine gefährlichen Körperströme zum Fließen kommen können.

Schutzkleinspannung
Schutzmaßnahme, bei der Stromkreise mit Bemessungsspannung bis 50 V Wechselspannung bzw. 120 V Gleichspannung ungeerdet betrieben werden und die Speisung aus Stromkreisen höherer Spannung von diesen sicher getrennt sind.

Schutzleiter (PE)
Leiter, der bei einigen Schutzmaßnahmen bei indirektem Berühren zum Verbinden von Körpern mit anderen Körpern, fremden leitfähigen Teilen, die nicht zur Schaltgerätekombination gehören, Erdern, Erdungsleitern und geerdeten aktiven Teilen, PEN-Leiter der geerdeten Klemme der Stromquelle oder einem künstlichen Mittelpunkt verwendet wird.

Schutzmaßnahmen
Maßnahmen zum Schutz von Mensch und Tier vor Berührungsspannung, die als Folge von Isolationsfehlern in Schaltanlagen auftreten kann.

Schutzobjekte
Folgende Schutzobjekte sind festgelegt:
G Kabel und Leitungen, bisher generelle Anwendungen
M Schaltgeräte
R Halbleiter
B Bergbauanlagen
Tr Transformatoren

Schutztrennung
Schutzmaßnahme, bei der Betriebsmittel vom speisenden Netz sicher getrennt und nicht geerdet sind.

Schweranlauf
Benötigt ein Motor aufgrund seiner besonderen Belastungsverhältnisse vom Einschalten bis zum Erreichen seiner Bemessungsdrehzahl mehr als 10 bis 15 s, ist Schweranlauf gegeben. Bei Schweranlauf ist das Lastmoment der anzutreibenden Maschine während des Anlaufs größer als im Bemessungsbetrieb. Das Erreichen der Bemessungsdrehzahl dauert lange, da große Schwungmassen zu beschleunigen sind (z. B. bei Walzwerken, Zentrifugen). Zum Schutz von schweranlaufenden Motoren sind besondere Überlastrelais (Schweranlaufrelais, elektronische Überlastrelais) oder Thermistor-Motorschutzgeräte erforderlich.

Segment
Ein Busabschnitt zwischen zwei definierten Enden bildet ein Segment. Ein Segment kann mehrere Stationen enthalten, z. B. Slave, Master, RS 485-Repeater. Bussegmente können über RS 485-Repeater gekoppelt werden.

Selbsthaltung
Schaltung, mit der sich ein Schütz in der "Ein-Position" halten kann, nachdem es durch einen Schaltimpuls eingeschaltet wurde.

Selektivität
Zusammenarbeit in Reihe liegender Schaltgeräte (Leistungsschalter, Sicherungen) zum gestaffelten Abschalten. Es muss das der Kurzschlussstelle am nächsten liegende, vorgeordnete Schaltgerät abschalten. Die anderen im Leitungszug liegenden Schaltgeräte bleiben eingeschaltet. Selektivität begrenzt die Auswirkungen eines Fehlers räumlich und zeitlich auf ein Mindestmaß.

Sensor
Sammelbegriff für Signalgeber wie Näherungsschalter, Positionsschalter oder Temperaturfühler, die Signale aus dem Prozess aufnehmen und an ein Auswertegerät weiterleiten.

SFF (safe failure fraction)
Anteil sicherer Ausfälle an der Gesamtausfallrate eines Teilsystems, der nicht zu einem gefahrbringenden Ausfall führt.

Sichere Trennung
Sichere Trennung ist dann gewährleistet, wenn ein einzelner Fehler nicht zu einem Übertritt der Spannung eines Stromkreises in einen anderen führt. Dieses ist besonders notwendig, wenn Schutzkleinspannung und andere Spannungen bis AC 1.000 V in einem Gerät geschaltet werden.

Sicherheitsfunktion
Funktion einer Maschine, wobei ein Ausfall dieser Funktion zur unmittelbaren Erhöhung des Risikos (der Risiken) führen kann.

Sicherungseinsatz
Der Sicherungseinsatz ist der Teil einer Sicherung, der einen oder mehrere Schmelzleiter enthält, Kontaktstücke hat und der nach Ausschalten der Sicherung zur Wiederinbetriebnahme ersetzt werden muss. Die Stromunterbrechung mit ihren Begleiterscheinungen erfolgt im Innern eines geschlossenen, mit Quarzsand gefüllten Schmelzraums.

SIL (Safety Integrity Level) Sicherheits-Integritätslevel
Diskrete Stufe (eine von drei möglichen) zur Festlegung der Anforderungen zur Sicherheitsintegrität der sicherheitsbezogenen Steuerungsfunktionen, die dem SRECS zugeordnet wird, wobei der Sicherheits-Integritätslevel 3 den höchsten und der Sicherheits-Integritätslevel 1 den niedrigsten Sicherheits-Integritätslevel darstellt.

SIL CL (Claim Limit), SIL-Anspruchsgrenze
Maximaler SIL, der für ein SRECS-Teilsystem in Bezug auf strukturelle Einschränkungen und systematische Sicherheitsintegrität beansprucht werden kann.

Sivacon
Siemens Produktbezeichnung für eine Reihe von vielseitig einsetzbaren, typgeprüften Niederspannung-Schaltgerätekombinationen mit Sammelschienen-Bemessungsströmen bis 6.300 A. Die Schaltschränke sind für Festeinbau und Einschubtechnik der Geräte erhältlich und bestehen ausschließlich aus genormten, seriengefertigten Konstruktionsteilen und Modulen.
Die Einschubausführung ermöglicht, dass die Einschübe (z. B. Leistungsschalter, Motorstarter) aus der Betriebsstellung in die Prüf- und Trennstellung gebracht werden können, ohne dass die Schranktür geöffnet werden muss (siehe auch MCCB).

Slave
Ein Slave darf nur nach Aufforderung durch einen Master Daten mit diesem austauschen. Beim AS-Interface ein Sammelbegriff für Eingabeeinheiten wie Drucktaster.

Spannungsauslöser
Hilfsauslöser zum Fernauslösen und zur Verriegelung von Schlossschaltern. Ein Elektromagnet, der bei Erregung seiner Spule einen Anker anzieht und dadurch das Schaltschloss entklinkt. Die Spannungsquelle kann von der Spannung im Hauptstromkreis unabhängig sein.

Speicherantrieb
Siehe Kraftspeicher.

Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)
Elektronische Steuerung, bei der Steuerungsabläufe in Form von Programmen im Programmspeicher abgelegt werden. Die Anweisungen in den Programmen werden gelesen und die entsprechende Operation ausgeführt. Zum Eingeben oder Ändern der Programme werden getrennt arbeitende Programmiergeräte (PG) benötigt.

Spieldauer
Summe aus Belastungsdauer plus stromlosen Pausen (siehe auch ED).

SRCF (Safety-Related Control Function), Steuerungsfunktion
Vom SRECS ausgeführte sicherheitsbezogene Steuerungsfunktion mit

einem festgelegten Integritätslevel, die dazu vorgesehen ist, den sicheren Zustand der Maschine aufrechtzuerhalten oder einen unmittelbaren Anstieg von Risiken zu verhindern.

SRECS (Safety-Related Electrical Control System)
Sicherheitsbezogenes elektrisches Steuerungssystem einer Maschine, dessen Ausfall zu einer unmittelbaren Erhöhung von Risiken führt.

SRP/CS (Safety-Related Parts of Control System)
Sicherheitsbezogenes Teil einer Steuerung, das auf sicherheitsbezogene Eingangssignale reagiert und sicherheitsbezogene Ausgangssignale erzeugt.

Staffelung
Der Weg der elektrischen Energie zum Verbraucher führt über eine Anzahl von Sicherungen und Schaltgeräten mit Überstromauslösern oder -relais, die hintereinander geschaltet sind. Die Ansprechströme und Ansprechzeiten der Auslöser werden so gewählt, dass sie zum Verbraucher hin immer kleiner werden. Diese Stufung wird Staffelung genannt. Durch die Staffelung innerhalb einer Anlage wird Selektivität erreicht.

Stern-Dreieck-Starter
Ein Motorstarter (normalerweise für Käfigläufermotoren), der den Motor beim Anlauf in Sternstellung schaltet und nach einiger Zeit in die Dreieckstellung umschaltet. Stern-Dreieck-Starter werden dort eingesetzt, wo ein hoher Anlaufstrom vermieden werden muss, um Spannungseinbrüche im Netz zu vermeiden.
Während der Anlaufstufe (Sternstellung), ist der Anlaufstrom auf 1/3 des Stroms begrenzt, der beim direkten Anlauf fließen würde. Auch das Anlaufdrehmoment ist auf 1/3 des Werts begrenzt, der beim direkten Anlauf in der Dreieckstellung vorliegen würde.
Sobald der Motor ca. 90 % seiner Bemessungsdrehzahl erreicht hat, wird in die Betriebsstufe (Dreieckstellung) weitergeschaltet.
Bei automatischen Stern-Dreieck-Startern (normalerweise eine Schaltgerätekombination aus drei Schützen, einem Überlastrelais und zugehöriger Steuerung) wird die Umschaltzeit an einem Zeitrelais eingestellt. Bei handbetätigten Stern-Dreieck-Startern (z. B. Steuerschalter) bestimmt der Bediener die Umschaltzeit.
Sonderausführungen sind z. B. Starter für die unterbrechungslose Stern-Dreieck-Umschaltung und Vier-Stufen-Stern-Dreieck-Starter.

Anmerkung:
Stern-Dreieck-Starter werden auch als "YΔ-Starter" bezeichnet.

Steuerschalter
Schalter für Hauptstromkreise zum unmittelbaren Steuern von Betriebsmitteln oder Schalter für Hilfsstromkreise zum mittelbaren Steuern von Betriebsmitteln.

Steuerspeisespannung U_s
Spannung, mit der Hilfsstromkreise betrieben werden. Für Steuerstromkreise, die aus einem Steuertransformator gespeist werden, gelten AC 230 V, 50 Hz, als Vorzugswert.

Anmerkung:
Es wurde unterschieden zwischen der Betätigungsspannung, die an dem Schließer im Steuerstromkreis auftritt, und der Steuerspeisespannung, die an die Eingangsanschlüsse des Steuerstromkreises des Geräts angelegt wird. Diese beiden Spannungen dürfen infolge eingebauter Transformatoren, Gleichrichter, Widerstände usw. voneinander abweichen.

Steuerstromkreis
Er ist Teil eines Hilfsstromkreises und umfasst alle Teile eines Stromkreises, die nicht zum Hauptstromkreis gehören. Steuerstromkreise sind Stromkreise für:
- Signalbildung und Signaleingabe
- Signalverarbeitung einschließlich Umformung, Speicherung, Verriegelung und Verstärkung
- Signalausgabe und zur Steuerung von Stellgliedern und Signalgebern

Stoßkurzschlussstrom i_p
Höchster Augenblickswert des unbeeinflussten Stroms nach Eintritt des Kurzschlusses. Er setzt sich aus dem Kurzschlussstrom und einem Gleichstromanteil zusammen und wird als Scheitelwert angegeben.

Stoßstromfestigkeit
Spitzenwert des Stroms, dem ein Stromkreis oder Schaltgerät in geschlossener Stellung unter vorgegebenen Anwendungen oder entsprechendem Einsatz standhält.

Strahlennetz
Das Leitungsbild entspricht dabei der Verästelung eines Baums, wobei vom Stamm aus eingespeist wird und für jeden Verbraucher (Blatt) nur ein bestimmter Weg (Ast) für die elektrische Energie zur Verfügung steht (siehe auch Maschennetz, Ringnetz).

Stromabhängig verzögerter Überlastauslöser (a-Auslöser)
Thermischer Überlastauslöser, der mit einer Zeitverzögerung arbeitet, die mit steigendem Strom kleiner wird.

Strombahn
Alle leitenden Teile eines Schaltgeräts, die zu einem Pol des Stromkreises gehören, der geschaltet werden soll. Unterschieden wird zwischen Hauptstrombahn, Hilfsstrombahn und Steuerstrombahn (für Funktionen wie Meldung und Verriegelung).

Strombegrenzer
Leistungsschalter und Leitungsschutzschalter, die beim Öffnen ihrer Schaltstücke eine erhebliche Strombegrenzung auf den Kurzschlussstrom ausüben. Der Strombegrenzungseffekt der Leistungsschalter wird üblicherweise durch eine oder zwei der folgenden Methoden erreicht:

- durch schnelles Öffnen der Schaltstücke bereits beim ansteigenden Kurzschlussstrom (d.h. bevor der natürliche Scheitelwert der ersten Halbschwingung erreicht ist) und durch die Erzeugung eines hochimpedanten Lichtbogens in der Strombahn.
  In diesen Leistungsschaltern werden meist die durch den Kurzschlussstrom selbst entstehenden dynamischen Kräfte zum Öffnen der Schaltstücke verwendet; die relativ lange mechanische Verzögerung des Schaltschlosses wird dabei umgangen. Die hohe Impedanz des Lichtbogens wird durch die eingesetzten Lichtbogenlöschmethoden erzeugt. Der Strom wird unterbrochen (einschließlich Lichtbogenlöschung), bevor er seinen natürlichen Nulldurchgang erreicht.

- durch den Wert der Eigenimpedanz des Leistungsschalters. Siehe auch Kurzschlusssicher. Strombegrenzer sind in der Regel isolierstoff-gekapselte Leistungsschalter und werden besonders dort eingesetzt, wo es gilt, die Schäden durch thermische und dynamische Effekte hoher Kurzschlussströme zu begrenzen - ihr eigenes "Überleben" hängt davon ab.
  Aufgrund ihrer schnellen Arbeitsweise bei Kurzschluss sind sie für Zeit-Selektivität zwischen Verteilerebenen nicht geeignet.
  Leistungsschalter mit Strombegrenzung werden auch in Kaskadenschaltungen eingesetzt.

Strombegrenzung
Der mit Rücksicht auf die Stromkreiskonstanten (R, L) zu erwartende Stoßkurzschlussstrom tritt nicht auf, sondern wird auf einen niedrigeren Wert, den Durchlassstrom, begrenzt. Dies wird durch Sicherungen oder so

genannte strombegrenzende Leistungsschalter und Schnellschalter erreicht, die bei hohen Kurzschlussströmen äußerst rasch (in einigen Millisekunden) abschalten.

Strombelastbarkeit
Der maximale Strom, den ein Leiter oder eine Strombahn in einem Schaltgerät unter gegebenen Bedingungen führen kann, ohne dass am Leiter oder seiner Isolation (falls zutreffend) Schaden entsteht. Die Strombelastbarkeit eines Schaltgeräts ist u. a. abhängig von seiner Größe, dem Gehäuse und der Umgebungstemperatur. Die Strombelastbarkeit eines Leiters wird auch Stromtragfähigkeit genannt.

Strom-Einstellbereich (eines Überstromauslösers)
Bereich zwischen dem kleinsten und dem größten Wert des Stroms, auf den der Auslöser eingestellt werden kann.

Strom-Selektivität
Bezieht sich auf den Schutz durch Selektivität, unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Auslösezeiten in Reihe geschalteter Schaltgeräte (z. B. Sicherungen, Leistungsschalter) bei verschiedenen Belastungsströmen. So verhalten sich z. B. in Reihe liegende Sicherungen selektiv, wenn ihre jeweiligen Zeit-Strom-Kennlinien ausreichenden Abstand voneinander haben. Allgemein ist dies der Fall, wenn das Verhältnis zwischen den Bemessungsströmen der nachfolgenden Sicherungen größer oder gleich 1:1,6 ist. So sind z. B. eine 160-A-Sicherung und eine 100-A-Sicherung zueinander absolut selektiv.

Bei zwei in Reihe geschalteten Leistungsschaltern muss zwischen Selektivität bei Überlast und Kurzschluss unterschieden werden.

Bei Überlast ist eine stromabhängige Selektivität zwischen zwei Leistungsschaltern dann gewährleistet, wenn die Auslösekennlinien ihrer jeweiligen Überlastrelais ausreichenden Abstand voneinander haben (siehe auch Übernahmestrom).
Bei Kurzschluss, wenn die unverzögerten Kurzschlussauslöser beider Leistungsschalter auslösen, kann eine stromabhängige Selektivität nur bis zu dem Kurzschlussstromwert erreicht werden, bei dem der Auslösestrom des vorgeordneten Schalters den Spitzendurchlassstrom des nachgeordneten Schalters überschreitet (Selektivitätsgrenze).

Stromwandler
Stromwandler transformieren Ströme auf einfach zu messende Werte. Sie schützen Messgeräte durch ihre Übertragungseigenschaften vor Kurzschlussströmen und Überspannungen.

Summenstromwandler
Für Summenstrommessungen bei frequenzgleichen Strömen gleicher Phasenlage, jedoch bei beliebigen Phasenverschiebungen cos φ einzelner Netzabzweige oder Einspeisungen, werden im Allgemeinen Summenstromwandler verwendet.

SWG
Britisch **S**tandard **W**ire **G**auge: britisches Leiternormalmaß für Leiterquerschnitte bis 81,08 mm^2 = SWG 0000.

TAB
Technische Anschlussbedingungen, die von den EVU veröffentlicht und bei Anschluss von Schaltanlagen (TSK/PTSK) und Verteilern beachtet werden müssen.

Taster
Schalter für Hilfsstromkreis(e) mit Federrückstellung und Bedienteil, das durch ausgeübten Druck, im allgemeinen durch Finger oder Handfläche, betätigt wird, z. B. Drucktaster, Pilztaster, Schwenktaster.

Tasterbetätigung
Steuerung eines Stromkreises durch einen Tastschalter. Es werden nur kurzzeitige Befehle gegeben.

Tastschalter
Schalter mit Rückstellkraft ohne Sperre, die bei Wegfall der Betätigungskraft aus der Wirkstellung in die Ausgangsstellung zurückkehrt. Beispiele sind Schütze und Drucktaster.

Teillastoptimierung
Methode, die bei elektronischen Motorstartern eingesetzt wird. Die Klemmenspannung wird im Teillast- und Leerlaufbetrieb abgesenkt, um den Leistungsfaktor cos φ zu verbessern. Während des Teillast- und Leerlaufbetriebs sinkt bei einem Drehstrom-Asynchronmotor der Strom nicht in demselben Maß, wie sich die Leistungsabgabe verringert. Das bedeutet, dass sich der Leistungsfaktor des Motors verschlechtert. Der elektronische Motorstarter erkennt die Verschlechterung des Leistungsfaktors und erzielt durch entsprechende Absenkung der Klemmenspannung eine Verbesserung des Leistungsfaktors. Dabei verringert sich auch die elektrische Leistungsaufnahme. Bei Lastwechsel (Änderung der Bedarfsleistung), wird die Motorklemmenspannung sofort durch die Steuereinheit angepasst, ein Drehzahleinbruch erfolgt nicht. Der Grad der Energieeinsparung hängt von der Bemessungsleistung des Motors, der Polzahl, des Motortyps und der Belastungsart (relative

Einschaltdauer) ab. Bei kleineren Motoren (z. B. 5 kW) kann eine Einsparung von bis zu 10 % der Bemessungsleistung erzielt werden. Bei größeren Motoren (>110 kW) beträgt die Einsparung weniger als 2 %.

Teilsystem
Einheit des Architekturentwurfs des SRECS auf oberster Ebene, wobei ein Ausfall irgendeines Teilsystems zu einem Ausfall der sicherheitsbezogenen Steuerungsfunktion führt.

Teilsystem-Element
Teil eines Teilsystems, das ein einzelnes Bauteil oder irgendeine Gruppe von Bauteilen umfasst.

Temperaturklasse
Elektrische Betriebsmittel werden gemäß den Spezifikationen für den Zündschutz in zwei Gruppen unterteilt:

- Gruppe I Elektrische Betriebsmittel für den Bergbau,
- Gruppe II Elektrische Betriebsmittel für alle anderen gefährdeten Bereiche.

Elektrische Betriebsmittel der Gruppe II können nach Temperaturklasse und Zündart der eventuell vorhandenen potentiell explosionsfähigen Atmosphäre weiter unterteilt werden. Die Temperatur, bei der sich eine Atmosphäre z. B. aufgrund von heißen Oberflächen an elektrischen Geräten entzündet, hängt von der Art der vorhandenen Gase oder Dämpfe ab. Die Temperaturklasse spezifiziert die maximal zulässige Oberflächentemperatur eines elektrischen Betriebsmittels (z.B. T1 bis 450 °C, T2 bis 300 °C, T3 bis 200 °C usw.), die immer niedriger sein muss als die Zündtemperatur der Gas- oder Dampfmischung am Einbauort.

Temperaturkompensation
Bei stromabhängig (thermisch) verzögerten Überlastauslösern und -relais beeinflusst nicht nur der Strom, sondern auch die Umgebungstemperatur die Auslösezeit. Durch einen zusätzlichen, nicht vom Strom beheizten Bimetallstreifen wird der Einfluss der Umgebungstemperatur kompensiert. Bei elektronischen Überlastrelais ist eine elektronische Kompensation möglich.

Thermistor-Motorschutz
Schutz des Motors durch in die Wicklungen eingebaute Temperaturfühler (Kaltleiter-Temperaturfühler). Diese überwachen unmittelbar die Wicklungstemperatur.

Tippbetrieb
Einmaliges oder wiederholt kurzzeitiges Ein- und Ausschalten eines Motors, um kleine Bewegungen zu erreichen. Mit Schaltgeräten muss der Anlaufstrom des Motors, d.h. ein Vielfaches des Bemessungsstroms, ein und ausgeschaltet werden (siehe auch Gebrauchskategorie).

Token
Unter Token wird ein spezielles Telegramm verstanden, das die Sendeberechtigung unter den Mastern in einem Multimasternetz regelt. Nur der Master, der das Token besitzt, hat die Sendeberechtigung.

TN-System
Siehe dazu Netzarten und Systeme.

Trägheitsgrad
Überlastrelais und Überlastauslöser arbeiten nach Zeit-Strom-Kennlinien, aus denen hervorgeht, in welcher Zeit das Relais oder der Auslöser bei einem bestimmten Strom anspricht.

Die kleinste vorgeschriebene Auslösezeit bei einem bestimmten Vielfachen des Bemessungsstroms vom kalten Zustand aus wird dabei als Auslöseklasse (siehe auch CLASS-Zeit) bezeichnet.

Trennen
Öffnen der Strombahn unter Herstellen einer zum Schutz von Personen ausreichenden Strecke (siehe Trennstrecke).

Trennschalter (Trenner)
Mechanisches Schaltgerät, das einen Stromkreis allpolig in geöffneter Stellung bei zuverlässiger Schaltstellungsanzeige auftrennt.

Trennstellung
Stellung des Einschubs, in der in den Hauptstromkreisen und Hilfsstromkreisen Trennstrecken offen sind, während dieser mit der Schaltgerätekombination mechanisch verbunden bleibt.

Die Trennstrecke kann auch durch Betätigung eines geeigneten Schaltgeräts hergestellt werden, ohne dass der Einschub mechanisch bewegt werden muss.

Trennstrecke
Schaltstücköffnungsweg eines Schalters, bei dem die vorgeschriebene Luftstrecke eingehalten wird.

TSK
Siehe Typgeprüfte Niederspannungs-Schaltgerätekombination.

TT-System
Siehe Netzarten und Systeme.

Typgeprüfte Niederspannung-Schaltgerätekombination (TSK)
Kombination von Niederspannung-Schaltgeräten, die nach DIN EN 60 439 Teil 1 (VDE 0660, Teil 500) gebaut und typgeprüft ist oder ohne wesentliche Abweichungen mit dem Ursprungtyp oder -system, der/das nach dieser Norm typgeprüften Schaltgerätekombination übereinstimmt. Schaltgerätekombinationen können elektromechanische und/oder elektronische Betriebsmittel enthalten.

Überlast
Betriebsbedingungen in einem elektrisch ungestörten fehlerfreien Stromkreis, die einen Überstrom hervorrufen. Überlast kann Schaden verursachen, wenn sie längere Zeit anhält und nicht abgeschaltet wird.

Überlastauslöser
Überstromauslöser, der zum Schutz gegen Überlast dient.

Überlastfaktor (eines Motors)
Ist auf dem Typenschild eines Motors ein Überlastfaktor angegeben, kann der Motor dauerhaft unter Überlast betrieben werden. Die maximal zulässige Leistungsabgabe des Motors wird wie folgt berechnet:

$$P_{perm.} = P_n \bullet \text{Überlastfaktor}$$

In den Normen NEMA und EEMAC wird z. B. der Überlastfaktor mit 1,0 für völlig geschlossene Maschinen mit Eigenlüftung (IP 44) und mit 1,15 für offene, tropfwassergeschützte Maschinen angegeben. Der Überlastfaktor muss gegebenenfalls bei der Einstellung des Auslösestroms von Überlastschutzeinrichtungen in Betracht gezogen werden.

Überlastrelais
Stromabhängig verzögertes Relais, das im Überlastfall nach einer Zeit-Strom-Kennlinie anspricht und so das Schaltgerät sowie einen Verbraucher vor Überlastungen schützt.

Übernahmestrom
Stromgrenzwert im Schnittpunkt der jeweils oberen Zeit-Strom-Kennlinien zweier Überstromschutzeinrichtungen in Reihe (entweder I^2t-Wert oder homogene Zeit-Strom-Kennlinie).

Anmerkung:
Wenn zusätzlich zum Leistungsschalter ein weiteres Schaltgerät (Sicherung oder ein anderer Leistungsschalter) eingesetzt wird mit dem Ziel des Schutzes vor Kurzschlussströmen, die das Ausschaltvermögen des Schalters übersteigt, so muss unterschieden werden zwischen:

- *Übernahmestrom I_B: maximaler Wert des Überstroms, bei dessen Überschreiten das zusätzliche Schaltgerät auf jeden Fall öffnet. (Der Übernahmestrom I_B wird auch als Grenzansprechstrom des zusätzlichen Geräts definiert) und*
- *Grenzstrom bei Selektivität I_S: maximaler Grenzwert des Überstroms bei Selektivität, bei dem der Leistungsschalter allein öffnet.*

Überspannung $U_ü$
Scheitelwert der hochfrequenten Einschwingspannung; sie liegt über der Bemessungsbetriebsspannung U_e ($U_ü > U_e$).

Überspannungsbegrenzer
Ein Gerät oder eine Schaltung, wodurch z. B. die Auswirkungen von Schaltüberspannungen beim Öffnen von induktiven Stromkreisen (z. B. Schütz bzw. Steuerstromkreise) begrenzt werden. Überspannungsbegrenzer werden als Zubehör für die jeweiligen Schütztypen und -baugrößen angeboten oder sind in den Geräten eingebaut. Sie sind außerhalb des Schützkörpers angebaut und parallel mit den Anschlussklemmen geschaltet. Es werden unterschiedliche Methoden zur Überspannungsbegrenzung eingesetzt:

Freilaufdiode: Sie kann nur für gleichstrombetätigte Magnetantriebe verwendet werden. Wird der Stromkreis geöffnet, schließt die Diode die Spule für alle Überspannungen, die eine der Steuerspannung entgegengesetzte Polarität haben, kurz. Da die Freilaufdiode jedoch manchmal die Abschaltzeit des Schütz verlängert und eventuell sogar einen Zweistufenabfall in größeren Geräten verursacht, ist sie mit Vorsicht zu verwenden.

RC-Glied: (Für wechselstrombetätigte Geräte). Verringert die Höhe und Steilheit (Anstiegszeit) der Abschaltüberspannung. Die RC-Beschaltung schützt damit speziell du/dt-empfindliche Ausgangsstufen elektronischer Steuergeräte (z. B. Triacs). Für Ausgangsstufen mit Tiefpaßcharakter ist sie weniger geeignet.

Varistor: Begrenzt die maximale Höhe der Überspannung. Die Varistorbeschaltung ist gut zum Schutz von Ausgangsstufen mit Tiefpaßcharakter, weniger für den Schutz von du/dt-empfindlichen Ausgangsstufen geeignet.

Anmerkung:
Es werden auch Kombinationen aus RC- und Varistorbeschaltungen angeboten.

Überstrom
Jeder Strom in einem Stromkreis, der den Wert des Bemessungsstroms übersteigt; siehe auch Überlast, Kurzschlussstrom. Überstrom gefährdet Leitungen, elektrische Maschinen und Geräte durch unzulässig hohe Wärmeentwicklung.

Überstromauslöser
Auslöser in Verbindung mit Schaltgeräten, der das Öffnen eines mechanischen Schaltgeräts verzögert oder unverzögert freigibt, wenn der Strom einen vorgegebenen Wert überschreitet. Er dient zum Schutz von elektrischen Betriebsmitteln gegen Überlast oder schädigende Wirkungen von Kurzschlussströmen.

Überstromrelais
Unverzögertes elektromagnetisches Relais, das bei einem Überstrom, z. B. im Kurzschlussfall, anspricht. Über einen Hilfsschalter des Relais erfolgt elektrische Fernausschaltung, z. B. des zugeordneten Leistungsschalters.

Überstromselektivität
Koordination zwischen den Ansprechkennlinien von zwei oder mehreren Überstromschutzeinrichtungen in der Weise, dass beim Auftreten von Überströmen zwischen bestimmten Grenzwerten, die zum Ausschalten innerhalb dieses Bereichs vorgesehene Einrichtung ausschaltet, während die anderen Schutzeinrichtungen nicht ansprechen.

Umgebungstemperatur
Die unter festgelegten Bedingungen ermittelte Temperatur der das komplette Schaltgerät umgebenden Luft (z. B. für umhüllte Leistungsschalter die Temperatur der Luft außerhalb der Umhüllung). In Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur ändert sich die Wärmeabgabe, so dass eine Reduzierung des Bemessungsstroms erforderlich sein kann.

Umwelteinflüsse
Beeinflussungen durch die umgebende Atmosphäre wie z. B. Feuchtigkeit, Kälte, Sonneneinstrahlung, die auf ein elektrisches Schaltgerät einwirken.

Unabhängig verzögerter Überstromauslöser
Überstromauslöser, der mit einer von der Höhe des Überstroms unabhängigen Verzögerung arbeitet, die einstellbar sein kann.

Unabhängige Handbetätigung
Betätigung durch einen Speicherantrieb, bei dem die von Hand aufgebrachte Energie in einem Zug gespeichert und freigegeben wird, so dass Geschwindigkeit und Kraft für die Schaltbewegung vom Bedienenden unabhängig sind.

Unbeeinflusster Kurzschlussstrom
Höchstwert eines Dauer-Überstroms an einer bestimmten Stelle eines Stromkreises oder an einem Betriebsmittel, der aufgrund einer Störung von vernachlässigbarer Impedanz (d.h. Kurzschluss) zwischen den aktiven Leitern (oder zwischen Leiter und Erde) an dieser Stelle auftreten würde.

Unbeeinflusster Strom
Der unbeeinflusste Strom eines Stromkreises z. B. an der Einbaustelle eines Schaltgeräts oder Sicherung ist der Strom, der fließen würde, wenn die Strombahn jedes Pols des Geräts oder der Sicherung durch einen Leiter mit vernachlässigbarer Impedanz ersetzt wäre. Dies ist bei der Auswahl von Schutzeinrichtungen mit Strombegrenzung für Kurzschlussströme besonders wichtig, da er den Wert des Kurzschlussstroms angibt, der ohne die Schutzeinrichtung fließen würde. Die Methoden zur Berechnung und Angabe des unbeeinflussten Stroms können sich in den einzelnen Gerätespezifikationen unterscheiden.

Unbeeinflusster Strom (r)
Der in der IEC-Gerätespezifikation für Schütze und Motorstarter angegebene Kurzschluss-Prüfstrom (DIN VDE 0600 Teil 102, IEC 947-4-1). Für jeden Bereich des Bemessungsstroms I_e wird ein spezieller Wert zugeordnet, z. B. 3 kA für Starter mit Bemessungsströmen größer 16 A und kleiner oder gleich 63 A (die Werte werden in Gebrauchskategorie AC-3 angegeben).

Unbeeinflusster symmetrischer Strom (eines Wechselstromkreises)
Der unbeeinflusst symmetrische Strom tritt auf, wenn durch (ideale) Schaltstücke so eingeschaltet wird, dass bei Stromflussbeginn kein Ausgleichsvorgang auftritt. Bei Kurzschlussüberlegungen wird der unbeeinflusste symmetrische Strom als Scheitelwert des unbeeinflussten Stroms angesehen, der dort symmetrisch ist, wo der Ausgleichsvorgang (der Gleichstromanteil) abklingt. Der unbeeinflusste symmetrische Strom wird auch als "Dauer"-Kurzschlussstrom bezeichnet und als Effektivwert ausgedrückt.

Unterspannungsauslöser
Auslöser, der das Öffnen oder Schließen eines mechanischen Schaltgeräts verzögert oder unverzögert freigibt, wenn die Betätigungsspannung an den Anschlüssen des Auslösers unter einen vorgegebenen Wert sinkt. Er verhin-

dert das selbsttätige Anlaufen von Maschinen nach Spannungsrückkehr. Des weiteren eignet er sich für Verriegelungszwecke und Fernausschaltung.

Unverzögerter Auslöser
Auslöser, der ohne beabsichtigte Verzögerung anspricht.

Vakuum-Leistungsschalter
Ein Leistungsschalter, dessen Hauptschaltglieder sich in einer luftfreien Kammer öffnen und schließen. Da beim Öffnen der Schaltstücke kein Lichtbogen entsteht, besitzen Vakuum-Leistungsschalter eine besonders lange elektrische Lebensdauer, selbst wenn regelmäßig hohe Kurzschlussströme ausgeschaltet werden.

Vakuumschütz
Ein Schütz, dessen Hauptschaltglieder sich in einer luftfreien Kammer öffnen und schließen. Da selbst die kleinen Lichtbögen nicht aus der luftfreien Kammer austreten können, bieten diese Schütze eine saubere und umweltfreundliche Alternative zu den herkömmlichen Schützen, deren Hauptschaltglieder in Luft unter atmosphärischem Druck schalten.

Varistor
Ein nicht-linearer Widerstand (Halbleiter), dessen Widerstandswert (Ohm) stark abfällt, sobald die Spannung an seinen Anschlussklemmen einen bestimmten Wert überschreitet.
Er wird zur Begrenzung von Überspannungen, die beim Abschalten des Magnetantriebs von Schützen entstehen, eingesetzt (siehe auch Überspannungsbegrenzer).

VBG 4
Unfallverhütungsvorschrift für "Elektrische Anlagen und Betriebsmittel", herausgegeben vom Verband der Berufsgenossenschaften. In dieser Vorschrift werden Schutzziele vorgegeben. Für die Durchführung von Maßnahmen wird auf einschlägige DIN VDE-Bestimmungen verwiesen.

VDE
Verband der Elektrotechniker Elektronik Informationstechnik e.V., gegründet 1893.
Als gemeinnütziger technisch-wissenschaftlicher Verein sieht er seine Aufgaben in der Pflege der Wissenschaft, der Fortbildung seiner Mitglieder, dem Erstellen elektrotechnischer, vom Gesetzgeber anerkannter Sicherheitsregeln (VDE-Bestimmungen), der Prüfung von Elektroerzeugnissen (VDE-Prüfzeichen) und der Vertretung elektrotechnischer Belange gegenüber dem In- und Ausland. www.vde.com

Verbraucher
Geräte oder Einrichtungen, die elektrische Energie in eine andere, nicht elektrische Energieform umwandeln. In der Wechselstromtechnik werden Verbraucher in drei Kategorien unterteilt:

Ohmsche Verbraucher, die im Netz keine Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung verursachen, z. B. Heizungen, Glühlampen.
Induktive Verbraucher, die im Netz ein Nacheilen des Stroms gegenüber der Spannung verursachen, z. B. Motoren, Spulen, Elektromagnete.
Kapazitive Verbraucher, die im Netz ein Voreilen des Stroms gegenüber der Spannung verursachen, z. B. Kondensatoren.

Verriegelung
elektrisch:
Schaltungsart, bei der man die Hilfsschalter verschiedener Geräte so schaltet, dass die Schaltzustände voneinander abhängig sind. So ist z. B. das Einschalten eines Schaltgeräts unmöglich, solange ein anderes eingeschaltet ist.
mechanisch:
Mittel, um eine mechanische Abhängigkeit mehrerer Funktionseinheiten untereinander zu erreichen, z. B. um das Öffnen eines Gehäusedeckels bei eingeschaltetem Schaltgerät zu verhindern oder bei einem Wendeschütz das Zuschalten des "Linkslaufschützes", wenn das "Rechtslaufschütz" eingeschaltet ist oder umgekehrt.

Verriegelungseinrichtung
Einrichtung, die das Betätigen eines Schaltgeräts von der Stellung oder Wirkung eines oder mehrerer Anlagenbestandteile abhängig macht.

Verschlussschieber/Shutter
Bewegbares Teil, das in einer Endstellung die Verbindung der Trennkontakte eines austauschbaren Teils (z. B. Einschub) mit den feststehenden Kontaktstücken zulässt und in der anderen Endstellung die feststehenden Kontaktstücke der Schaltgerätekombination abdeckt.

Verschmutzung
Bei Niederspannungs-Schaltanlagen bezeichnet der Begriff Verschmutzung jeden Zustand, der die Durchschlagfestigkeit, den Oberflächenwiderstand von Isolatoren, die Luftstrecken und Sicherheitsabstände beeinträchtigt. Darunter fällt das Vorhandensein von Fremdstoffen (fest, flüssig, gasförmig), z. B. ein Übermaß an ionisierten Gasen, hygroskopischer Staub, Salz usw. (Verschmutzungsgrad).

Verschmutzungsgrad
Der Verschmutzungsgrad eines Betriebsmittels bezieht sich auf seine Betriebsumgebung. Er wird als Kennzahl ausgedrückt, die erstens von der Menge an leitfähigem, oder hygroskopischem Staub, ionisiertem Gas oder Salz (Verschmutzung) in der Betriebsumgebung (üblicherweise die Mikro-Umgebung) der Schaltanlage und zweitens von der Häufigkeit des Auftretens relativer Feuchte als Verursacher hygroskopischer Absorption oder Kondensation von Feuchtigkeit mit der Folge der Verringerung der Durchschlagfestigkeit und/oder des Oberflächenwiderstands von Isolatoren abhängt. Sofern nicht anderweitig angegeben, (z. B. in einer Gerätespezifikation) gilt der Verschmutzungsgrad 3 (DIN VDE 0660 Teil 100; IEC 947-1) als Grundlage für industriell genutzte Betriebsmittel.
Er lässt leitfähige Verschmutzung (oder durch Kondensation entstehende leitfähige Verschmutzung von ursprünglich nicht-leitfähigen Substanzen) zu.

Verschweißen
Ein Verschweißen der geschlossenen Schaltstücke eines Schaltgeräts durch Verflüssigung und anschließender Erstarrung des Kontaktmaterials kann auftreten bei:

- unzulässig hohen Strömen
- zu geringer Kontaktkraft
- flatterhafter Kommandogabe (unkontrollierte schnell hintereinander folgende Ein-Aus-Befehle)

Vier-Stufen-Stern-Dreieck-Starter
Die Vier-Stufen-Stern-Dreieck-Starter (nur möglich bei Motoren mit Wicklungsunterteilung und neun Anschlussklemmen) wird bei Antrieben verwendet, deren Gegenmoment so hoch ist, dass die normale Stern-Dreieck-Schaltung den Antrieb nicht auf ausreichende Umschaltdrehzahl beschleunigen kann (siehe auch Stern-Dreieck-Starter).

Vor-Ort-Steuerung
Steuerung einer Betätigung am zu steuernden Schaltgerät oder in dessen Nähe.

Wandler
Sie transformieren die Werte der Eingangsspannungen oder -ströme sekundärseitig in andere Ausgangsspannungs- oder -stromwerte.

Wechsler
Hilfsschalter mit nur einem beweglichen Schaltstück, der je eine Schließstellung bei geschlossenem und geöffnetem Schaltgerät hat.

Wickelwandler
Wickelwandler sind Wandler mit Primärwicklung und festen Primär- und Sekundäranschlüssen.

Wiederbereitschaftszeit
Je nach Geräteart wird die Wiederbereitschaftszeit unterschiedlich definiert. So gilt z. B. für elektronische Geräte: Wiederbereitschaftszeit ist die Zeit, die nach Abschaltung oder Ausfall der Betriebsspannung vergehen muss, damit beim erneuten Einschalten die Einschaltfehlimpulsunterdrückung wirksam wird. Diese Zeit gilt nicht für Geräte, die keine Einschaltfehlimpulsunterdrückung besitzen.

Thermischer Auslöser:	Erforderliche Pausenzeit nach einer Auslösung bis zur möglichen Wiedereinschaltung nach entsprechender Abkühlung des thermischen Auslösers.
Antriebe:	Pausenzeit, die benötigt wird, damit alle beweglichen Teile des Antriebs soweit zur Ruhe gekommen sind, um einen erneuten Befehl sicher verarbeiten zu können (z. B. Auslaufzeit bei Fliehkraftantrieben).

Wiedereinschaltsperre
Verhindert das erneute Einschalten durch Steuerbefehle, solange bis die Sperre bewusst aufgehoben wird.

Wirkungsgrad
Verhältnis von abgegebener zu aufgenommener Leistung. Der Wirkungsgrad ist immer kleiner als 1 oder 100 %, da die Leistungsabgabe wegen des Eigenbedarfs des Verbrauchers stets geringer ist als seine Leistungsaufnahme.

Wischer
Hilfsschalter, der während des Übergangs des Schaltgeräts von einer Stellung zur anderen einen Stromkreis nur kurzzeitig schließt oder öffnet.

Worst case
Das gleichzeitige Auftreten bestimmter Einflussgrößen (Alterung, Bauteiletoleranzen, Temperatur, Spannung) in ungünstigster Kombination wird als “worst case” (ungünstigster Fall) bezeichnet.

z-Auslöser
Kurzbezeichnung für (zeitlich) kurzverzögerte elektromagnetische Überstromauslöser mit Einschaltsperre.

Zeitbegriffe
Die bei den Schaltvorgängen von Schaltgeräten und Hilfsstromschaltern verwendeten Zeitbegriffe: siehe nebenstehende Diagramme.

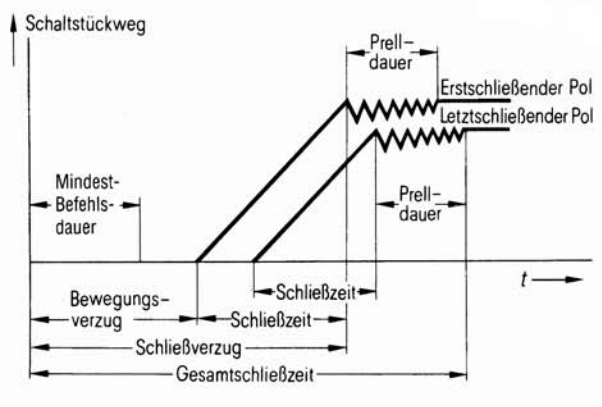
Zeitrelais
Schaltgerät mit elektronischer, elektromechanischer Zeitverzögerung, das nach Ablauf einer eingestellten Zeit Kontakte öffnet oder schließt.

Zündschutz
Die Voraussetzung für den Einsatz elektrischer Betriebsmittel in gefährdeten Bereichen, z. B. gemäß DIN EN 50 014 (VDE 0170/0171). Die Grundprinzipien des Zündschutzes sind weltweit gleich:

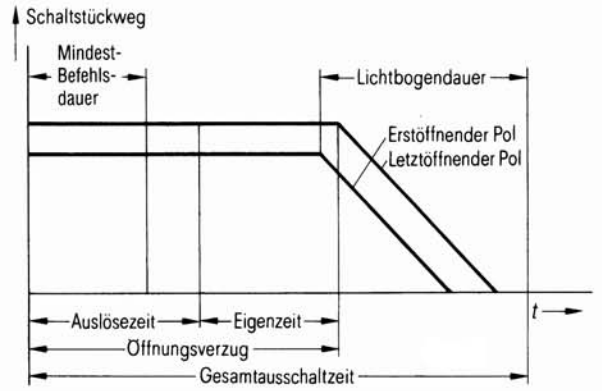
Das gleichzeitige Vorhandensein entflammbarer Substanzen (einschließlich Gas, Dampf, Nebel und Staub) in potenziell gefährlichen Mengen Luft (d.h. Sauerstoff) und möglichen Zündquellen muss verhindert werden. Wenn das Auftreten von potenziell explosionsfähigen Mischungen aus entflammbaren Substanzen und Luft durch den so genannten "Primär-Zündschutz" nicht vermieden werden kann, gelten für elektrische Betriebsmittel besondere Konstruktions- und Einbau-Spezifikationen zur Vermeidung von möglichen Zündquellen. In DIN EN 50 014 (VDE 0170/0171 Teil 1) sind verschiedene Schutzarten zur Herstellung explosionsgeschützter Betriebsmittel definiert.

Sie enthalten (z. B.):
- druckfeste Kapselungen "d":
  Teile, die eine explosionsfähige Atmosphäre entzünden könnten, sind in einem Gehäuse eingebaut; das Gehäuse ist so konstruiert, dass es dem Druck einer inneren Explosion standhalten kann und die Ausbreitung der Explosion in die umgebende explosionsfähige Atmosphäre verhindert.
- erhöhte Sicherheit "e":
  Maßnahmen, um Übertemperatur, Lichtbögen oder Funken im Inneren oder an außenliegenden Geräten, die unter normalen Betriebsbedingungen selbst keinen dieser Effekte verursachen, zu vermeiden.
- Überdruckgekapselte Geräte "p":
  Das Eindringen umgebender explosionsfähiger Atmosphäre wird dadurch verhindert, dass im Inneren des Gehäuses nicht-explosionsfähiges Gas unter Überdruck steht.

a) Einschaltvorgang von Schaltgeräten

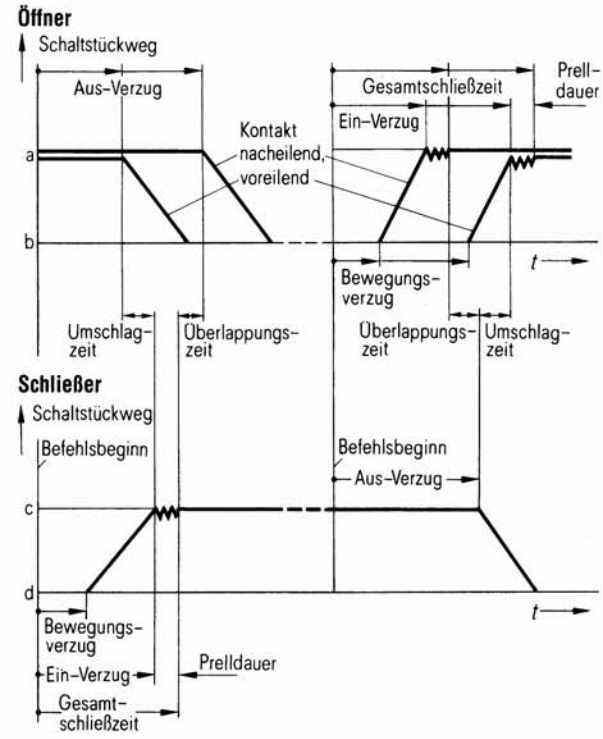


b) Ausschaltvorgang von Schaltgeräten



c) Schaltvorgang von Hilfsstromschaltern Umschaltung ohne Unterbrechung. z. B. von Öffner auf Schließer, ist sowohl durch nacheilende Öffner als auch durch voreilende Schließer zu erreichen.

a) Schließstellung des Öffners (NC)
b) Offenstellung des Öffners (NC)
c) Schließstellung des Schließers (NO)
d) Offenstellung des Schließers (NO)



- Eigensicherheit “i”:
  Das elektrische Gerät ist mit eigensicheren Stromkreisen ausgestattet, d. h. es können weder durch Funken noch durch thermische Effekte Zündungen unter spezifizierten normalen oder Störungsprüfbedingungen entstehen.
- Ölkapselung “o”.
- Sandkapselung “q”.
- Presskapselung “m” bzw. Kapselung.

Anmerkung:
Betriebsmittel, die den Spezifikationen einer dieser Schutzarten entsprechen, nennt man “explosionsgeschützt”.

Zwangsführung
Schaltbewegung, bei der nach festgelegten Bedingungen sichergestellt ist, dass sich die Hilfskontakte eines mechanischen Schaltgeräts stets in den jeweiligen Schaltstellungen befinden, die der geöffneten oder der geschlossenen Stellung der Hauptkontakte entsprechen.

Zwangsgeführte Kontakte
Kontakte, die mechanisch so gegeneinander angeordnet sind, dass Öffner und Schließer niemals gleichzeitig geschlossen sein können. Dabei muss sichergestellt sein, dass über die gesamte Lebensdauer, auch in gestörtem Zustand (z. B. Verschweißen eines Kontakts), Kontaktabstände von mindestens 0,5 mm vorhanden sind.

Zwangsöffnung
Öffnungsbewegung, die sicherstellt, dass alle Hauptschalter in geöffneter Stellung sind, wenn sich das Bedienteil in einer der geöffneten Stellung des Schaltgeräts entsprechenden Schaltstellung befindet.

Zwischenwandler
Zwischenwandler dienen zur Änderung des sekundären Strommesswerts. Außerdem können sie den Überstromfaktor von Hauptwandlern herabsetzen und dienen somit zum Schutz überstromempfindlicher Geräte. Als Zwischenwandler werden Wickelwandler verwendet. Der Eigenverbrauch sollte niedrig sein, um die Hauptwandler nicht übermäßig zu belasten.

Weitere Begriffe und Abkürzungen

AC 3-Strom für Schütze:	Der AC 3-Strom für Schütze ist der Bemessungsbetriebsstrom für das Ausschalten während des Laufs von Käfigläufermotoren.
ACB:	Air Circuit Breaker
AEC:	Active Energy Control - aktive Energiesteuerung zwischen Ableitern Typ 1 und Ableitern Typ 2
AS-Interface:	Aktor Sensor Interface
AV:	Allgemeine Stromversorgung
Bus:	Gemeinsamer Übertragungsweg, mit dem alle Teilnehmer verbunden sind; besitzt zwei definierte Enden. Bei Profibus ist der Bus eine Zweidrahtleitung (Kupferleitung) oder ein Lichtwellenleiter.
Bussegment (Profibus DP):	Ein Bussegment hat mindestens zwei Stationen, davon ist mindestens eine Station ein DP-Master.
Bussystem:	Alle Stationen, die physikalisch über ein Buskabel verbunden sind, bilden ein Bussystem.
BWS:	Berührungslos wirkende Schutzeinrichtung
CA-Zugriffsverfahren:	Collision Avoidance
CBA:	Component Based Automation
CD-Zugriffsverfahren:	Collision Detection
CRC:	Cyclic Redundancy Check = Signatur durch zyklische Redundanzprüfung
CSMA-Zugriffsverfahren:	Carrier Sense with Multiple Access
Daten-T-Steckverbinder:	Daten-T-Steckverbinder verbinden die Komponenten eines Automatierungssystems mit Profibus-DP. Es gibt zwei Daten-T-Steckverbinder im System Ecofast von Siemens für Profibus-DP mit Kupferleitung (Profibus-DP Cu) und Profibus-DP mit Lichtwellenleiter (Profibus-DP LWL).
DC:	Diagnosedeckungsgrad; (engl.) diagnostic coverage
DESINA:	Dezentrale und standardisierte Installationstechnik an Werkzeugmaschinen;

	Vereinigung von Werkzeugmaschinenherstellern mit dem Ziel einen Standard für Werkzeugmaschinen-Komponenten bezüglich Aufbau- und Montagetechnik zu definieren.
DP-Master:	Ein Master, der sich nach der Norm EN 50 170, Volume 2, Profibus, mit dem Protokoll DP verhält, wird als DP-Master bezeichnet.
DP-Slave:	Ein Slave, der am Profibus mit dem Protokoll Profibus-DP betrieben wird und sich nach der Norm EN 50 170, Volume 2, Profibus, verhält, heißt DP-Slave.
DPV1-Slave:	Ein Slave, der am Bus Profibus mit dem Protokoll Profibus DP betrieben wird und sich nach der Norm EN 50 170, Volume 2, Profibus, verhält, heißt DPV1-Slave.
E/A:	Eingabe/Ausgabe
ECOFAST:	(Energy and Communication Field Installation System); System zur weitgehenden Dezentralisierung und Modularisierung der Installation und umfassende Diagnose auf der Komponentenebene.
EDM:	External Device Monitoring = Rückführkreis
EHS:	European Home Systems
EIB:	European Installation Bus
EMV:	Elektromagnetische Verträglichkeit
EMVG:	EMV-Gesetz
ESD:	Electrostatic Discharge = Elektrostatische Entladung
EU:	Europäische Union
G-Erdschlussschutz bei Auslösern:	Ground Fault
GG:	Grundgerät
GPSG:	Geräte- und Produktsicherheitsgesetz
GSD:	Gerätestammdaten (GSD) enthalten DP-Slave-Beschreibungen in einem einheitlichen Format. Die Nutzung von GSD erleichtert die Projektierung des DP-Slaves in einem DP-Master-System.
HMI:	Human Machine Interface, Mensch-Maschine-Schnittstelle

I-Kurzschlussschutz bei Auslösern:	unverzögert (Instantaneous)
IRT:	Isochrone Real Time
ISO/OSI:	International Organisation for Standardization
LEMP:	Elektromagnetischer Impuls von Blitzen (lightning electromagnetic pulse)
LPZ:	Blitzschutzzone (lightning protection zone)
LTS:	Lasttrennschalter
L-Überlastschutz bei Auslösern:	verzögert (long time delay)
LWL:	Lichtwellenleiter
Master-Klasse 1:	Ein Master-Klasse 1 ist ein aktiver Teilnehmer am Profibus DP. Kennzeichnend ist der zyklische Datenaustausch mit anderen Teilnehmern. Typische Master-Klasse 1 sind beispielsweise SPS mit Profibus DP-Anbindung.
Master-Klasse 2:	Ein Master-Klasse 2 ist ein optionaler Teilnehmer am Profibus DP. Typische Master-Klasse 2 sind beispielsweise PC/PG mit der Software Simocode ES professional, Simatic PDM (PCS7), PC mit Software Simatic power-control (Power management).
MCB:	Niederspannungs-Leitungsschutzschalter (Miniature Circuit Breakers)
MCC:	Motor Control Center
MCCB:	Molded-Case Circuit-Breaker
MPCB:	Motor Protector Circuit Breaker
MRL:	Maschinenrichtlinie
MSP:	Motor Starter Protector
NN:	Meeresspiegel (Normalnull)
N-Neutralleiterschutz bei Auslösern:	verzögert (neutral)
NOP:	No Operation; Platzhalter
NTC:	Negativer Temperatur Koeffizient
OM SIMOCODE pro:	Der OM Simocode pro (Objektmanager) wird anstelle einer GSD eingesetzt, um Motormanagementgeräte Simocode pro in STEP7 zu integrieren. Der OM Simocode pro

	ermöglicht die Verwendung von Simocode ES Professional (sofern installiert) zur Parametrierung innerhalb von STEP7.
PCM:	Power & Control Modul
PELV:	Protective Extra-Low Voltage = Schutzkleinspannung
PFD:	Probability of Failure on Demand = Versagenswahrscheinlichkeit bei Anforderung der Sicherheitsfunktion
PG:	Programmiergerät
Profibus DP:	Bussystem Profibus mit dem Protokoll DP. DP steht für dezentrale Peripherie. Die hauptsächliche Aufgabe von Profibus DP ist der schnelle zyklische Datenaustausch zwischen dem zentralen DP-Master und den Peripheriegeräten.
Profibus DPV1:	Profibus DPV1 ist eine Erweiterung des Protokolls DP. Damit ist zusätzlich der azyklische Datenaustausch von Parameter-, Diagnose-, Steuer- und Testdaten möglich.
PTC:	Positiver Temperatur Koeffizient
PTSK:	partiell typgeprüfte Schaltgerätekombination
RCD-Fehlerstromschutz bei Auslösern:	Residual Current Device
SEMP:	Switching Electromagnetic Pulse
SFF:	(engl.) safe failure fraction
SIL:	Sicherheitsintegritätslevel
Simatic PDM:	Software-Paket zur Projektierung, Parametrierung, Inbetriebnahme und Wartung von Geräten (z.B. Messwertumformer, Regler, Simocode) und zur Projektierung von Netzkonfigurationen und PC.
Simocode pro-S7-Slave:	Simocode pro-S7-Slave ist ein voll in STEP7 integrierter Slave. Er ist eingebunden über OM Simocode pro. Er unterstützt das S7-Modell (Diagnosealarme, Prozessalarme).
SK:	Schaltgerätekombination
S-Kurzschlussschutz bei Auslösern:	verzögert (short time delay)
SNMP:	Simple Network Management Protocol

SPD:	Surge Protective Device, Überspannungs-schutzgerät
SPS:	Speicherprogrammierbare Steuerung
STS:	Sicherheitsbezogene Teile einer Steuerung
SV:	Sicherheitsstromversorgung
TCP/IP:	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TCP:	Transmission Control Protocol
TGA:	Technische Gebäudeausrüstung
TNF:	Nennansprechtemperatur
Totally Integrated Automation (TIA):	Durchgängige Basis zur Realisierung kunden-spezifischer Automatisierungslösungen.
Tripping Unit:	Auslösegerät
TSK:	Typgeprüfte Schaltgerätekombination, Typgeprüfter Standardbaustein
UDP:	User Defined Protocol
ZEP:	Zentraler Erdungspunkt
ZSS:	Zeitverzögerte Selektivitätssteuerung

A

Abkürzungen	26
Ableitströme	5C
Ableitstrommessung	5C
Abnahme und Inspektion vor Ort (UL)	20
Absaugen der Oberschwingungen durch Filterkreise (Schutz von Kondensatoren)	15
Abschalten von Siemens Umrichtern (Vorgehensweise)	21E
Absicherung von Überspannungsschutzgeräten	5C
Abzweige (Kurzschlussschutz)	4
Abzweigschutzorgan	20
Abzweigstromkreis	20
Allgemeine Auswahlkriterien (Sicherungen)	5C
Allgemeine Funktionen (Kennzeichnung)	25
Allstromsensitive FI-Schutzeinrichtungen für Industrieanwendungen	5B
Allstromsensitive Schutzschaltgerätekombinationen	4
Aluminium- und Kupferleiter (Widerstand)	11
Aluminiumschienen	11
Änderung der Drehrichtung von Rechts- auf Linkslauf (Stern-Dreieck-Schalten von Drehstrommotoren)	21C
Anfangs-Kurzschlusswechselstrom	2
Anfertigen von Strom-Zeit-Diagrammen (Staffeldiagrammen)	4
Anforderungen an die Schutzgeräte in den drei Stromkreisarten	6
Angebot (Ecofast)	14A
Anlagen und Maschinen (Funktionale Sicherheit)	18
Anlagenkomponenten (Schutz)	9
Anlassen von Drehstrom-Asynchronmotoren mit Stern-Dreieck-Schaltungen	8
Anlauf von Käfigläufermotoren	9
Anschaltung AS-Interface für LOGO	23
Anschlussbezeichnungen / Schaltzeichen	25
Anschlussmöglichkeiten für AS-Interface	23
ANSI (Schaltzeichen)	25
Ansprechstrom (Strahlennetze)	15
Anwendungen und Umgebungsbedingungen	5C
Arbeitshilfen zur Anfertigung von Staffeldiagrammen	4
AS-i F-Adapter für Not-Halt-Befehlsgeräte 3SB3	23
AS-Interface / AS-i	16, 23
AS-Interface / Extender	23
AS-Interface / Analyser	23

AS-Interface / Befehls- und Meldegeräte	23
AS-Interface / Extension Plug	23
AS-Interface / Repeater	23
AS-Interface / Analogmodule	23
AS-Interface / Master / Slave	23
ASIsafe DP/AS-iF-Link V1.0	23
ASIsafe Sicherheitsmonitor	23
ATEX-Produkte der Niederspannungs-Schalttechnik auf einen Blick	19
ATEX-Zertifizierung	19
ATEX-Zertifizierung, Literaturverzeichnis	19
Aufbau (Ecofast)	14A
Aufbau der Sicherheitsfunktion und Bestimmung der Sicherheitsintegrität	18
Aufbau und Wirkungsweise von Überspannungsschutzgeräten	5C
Aufbaurichtlinien am Profibus DP	14A
Aufbauvarianten des Energiebus	14A
Aufgaben des Netzschutzes	4
Ausführungen (Brandschottungen)	7
Ausführungen (Leitungsschutzschalter)	4
Ausgleichsvorgang	2
Auslösecharakteristik (Leitungsschutzschalter)	4
Auslösekennlinien (Toleranzen)	4
Auslösekennlinien zwischen Sicherungen und bemessungsstromgleichen Leistungsschaltern (Vergleich)	4
Auslöser (Niederspannungs-Schutz- und -Schaltgeräte)	6
Auslöser / Schutzfunktionen	4
Auslösestromregel (Grundregeln zur Gewährleistung des Überlastschutzes)	1
Auslösezeiten	4
Ausschaltverzögerung für Schütze und Unterspannungsauslöser	15
Auswahl der Leistungsschalter	15
Auswahl der Schutzgeräte	4
Auswahl der Sicherungen	4
Auswahl und Dimensionierung (Spannungsfall)	7
Auswahl von Leistungsschaltern für Stromkreise mit und ohne Sicherungen	4
Auswahlkriterien für Leistungsschalter	4
Auswahlkriterien für Niederspannungs-Schaltgeräte in Hauptstromkreisen	8
Auswahlkriterien für Niederspannungs-Schaltgeräte in Hilfsstromkreisen	10
Automatische Drehrichtungskorrektur durch intelligente Netzüberwachung	21G

B

Backup-Schutz	4, 15
Backup-Schutz (Leitungsschutzschalter)	4
Backup-Schutz und Selektivität in Niederspannungsnetzen	15
Batterieschutz in USV-Anlagen	5C
Bausteine	4
Befehls- und Meldegeräte	23
Begriffe und Abkürzungen	26
Begriffe zur funktionalen Sicherheit	18
Beleuchtungsanlagen (Schalten von Lampen)	9
Bemessungsbetriebsspannung	4
Bemessungsbetriebsstrom	4
Bemessungsisolationsspannung	4
Bemessungs-Kurzschlussausschaltvermögen	4
Bemessungs-Kurzschlussfestigkeit und Bemessungsschaltvermögen (Niederspannungs-Schaltgeräte)	9
Bemessungsschaltvermögen	4
Bemessungsschaltvermögen (Leitungsschutzschalter)	4
Bemessungsspannung und Netzfrequenz (Niederspannungs-Schaltgeräte)	9
Bemessungsstrom (Niederspannungs-Schutz- und -Schaltgeräte)	6
Bemessungsstrom und Bemessungsdauerstrom (thermisch)	4
Bemessungsströme (Niederspannungs-Schaltgeräte)	9
Bemessungsströme von Drehstrom-Asynchronmotoren	11
Bemessungsströme von Leistungsschaltern	4
Bemessungsstromregel (Grundregeln zur Gewährleistung des Überlastschutzes)	1
Berechnung der maximalen Leitungslänge (Einfluss langer Steuerleitungen auf Schütze)	21F
Berufsgenossenschaften/SUVA	21A
Berührungsschutz nach DIN EN 50274	7
Beschalten mit Dioden (Überspannungsbedämpfung von Schützen)	21H
Beschaltung mit einer Diodenkombination Diode/Zenerdiode (Überspannungsbedämpfung von Schützen)	21H
Beschaltung mit einer Freilaufdiode (Überspannungsbedämpfung von Schützen)	21H
Beschaltung mit Varistoren (Überspannungsbedämpfung von Schützen)	21H

Beschaltung von RC-Gliedern (Überspannungsbedämpfung von Schützen)	21H
Besondere Anwendungen und Umgebungsbedingungen	5C
Besonderheiten des UL-Markts	20
Bestimmung des erforderlichen PL (durch Risikograf)	18
Bestimmungen für Schütze und Motorstarter	4
Bestimmungen und Normen (Niederspannungs-Schaltanlagen)	6
Betrieb bei ungleichmäßiger Belastung	2
Betrieb mit nichtperiodischer Last-/Drehzahländerung (Betriebsart S9)	2
Betriebsart S1 (Dauerbetrieb)	2
Betriebsart S2 (Kurzzeitbetrieb)	2
Betriebsart S3 (Periodischer Aussetzbetrieb)	2
Betriebsart S4 mit Einfluss des Anlaufvorgangs	2
Betriebsart S5 mit elektrischer Bremsung	2
Betriebsart S6 (unterbrochener periodischer Betrieb)	2
Betriebsart S7 (ununterbrochener periodischer Betrieb mit elektrischer Bremsung)	2
Betriebsart S8 (ununterbrochener periodischer Betrieb mit Last-/Drehzahländerung)	2
Betriebsart S9 (Betrieb mit nichtperiodischer Last-/Drehzahländerung)	2
Betriebsarten	2
Betriebsführung (Kommunikation in Industrie und Zweckbau)	16
Betriebsmittel (Kennzeichnung)	25
Betriebsspannungen	2
Betriebsstätten, feuergefährdete (Schienenverteiler)	7
Bewährte Staffelzeiten	4
Blitzschutz/Erdungsanlagen	4
Blitzstrom-/Überspannungsableiter-Kombination Typ 1+2	5C
Blitzstromableiter Typ 1	5C
Branch Circuit (Abzweigstromkreis)	20
Branch Circuit Protection (Abzweigschutzorgan)	20
Branchenapplikationen / Praxisbeispiele	22
Brandschottung	7
Brandschutz	5C
Brandschutz (Präventivmaßnahmen)	5B
Bremsung (elektromotorisch)	10
Brennbare Stäube (Sicherheitstechnische Kennzahlen)	19
BS (Schaltzeichen)	25
Busanbindungen (Systeme zur Energieverteilung)	14A
Bussysteme	16

C

Cage Clamp-Anschluss 23
Class 1 Common Control Circuit (Steuerstromkreis Klasse 1) 20
Class 2 Control Circuit (Stromkreis und Geräteklasse 2) 20
Control Circuit (Steuerstromkreis) 20
CP 343 2/CP 343 2 P AS-Interface Master 23
CSMA/CD Protokoll 16

D

Datenerfassung und -auswertung (Energiemanagement) 14
Datenkoppler Kompaktmodul K60 23
Dauerbetrieb (Betriebsart S1) 2
Definition der ersten und der zweiten Umgebung 5A
Dezentrale Peripherie ET200pro 23
Dezentrale Peripherie ET200S - Motorstarter 23
Diagramme zur Widerstands- und Kurzschlussstrombestimmung 2
Differenzstrom-/Fehlerstromschutz 4
Digital einstellbare Auswertegeräte 12
Digitale Ein-/Ausgabemodule F90 23
Digitale Ein-/Ausgabemodule Flachmodul 23
Digitale Ein-/Ausgabemodule K20 23
Digitale Ein-/Ausgabemodule K45 23
Digitale Ein-/Ausgabemodule K60 23
Digitale Ein-/Ausgabemodule SlimLine 23
Dimensionierung (Prinzipielle Vorgehensweise) 1
Dimensionierung (stromkreisübergreifend) 1
Dimensionierung per Software 1
Dimensionierung und Auswahl (Spannungsfall) 7
Dimensionierung von Energieverteilungen 1
DIN (Schaltzeichen) 25
DIN EN 50005 8
Direktes Schalten von Drehstrom-Asynchronmotoren 8
DP/AS-Interface Link 20E 23
DP/AS-Interface Link Advanced 23
Drehstrom- Asynchronmotor als Antrieb eines Universal-Querstromzerspaners 22

Drehstrom-Asynchronmotoren (Anlassen)	8
Drehstrom-Asynchronmotoren (Direktes Schalten)	8
Drehstrom-Asynchronmotoren (Stromlaufpläne)	8
Drehstrom-Asynchronmotoren mit 160 kW Nennleistung für Siebschnecken- Zentrifugen	22
Drehstrommotoren (Stern-Dreieck-Schalten)	21B
Drehstrom-Verteilungstransformatoren	11
Drehstrom-Verteilungstransformatoren (Schaltzeichen und Schaltgruppen)	11
Drei 140 kW Elektromotoren als Antrieb für Hydraulikpumpen auf Scot-Tankschiffen	22
Drei gleiche Einspeisungen	15
Drei Phasen zur Implementierung eines umfassenden Energiemanagements	14
Dreiphasen-Transformatoren 4AP, 4AU	23
Dreistufiger Schutz für die Stromversorgung - Schutzstufen 1 und 2 getrennt installiert	5C
Dreistufiger Schutz für die Stromversorgung - Schutzstufen 1 und 2 kombiniert	5C
Drucktaster und Leuchtmelder 3SB3, 3SB2, 3SF5	23
Durchschnittlicher Spannungsfall im Steuertransformator	10
Dynamische Kurzschlussfestigkeit	4
Dynamische Wirkung	2

E

Ecofast	14A
Ecofast ES	17
Ecofast ES (Software)	14A
Ecofast- Motorstarter	23
Eigensicherheit eines Stromkreises (Explosionsschutz)	19
Ein-/Ausgabemodule	23
Einbindung der Gewerke - Planung, Begleitung, Kontrolle (Blitzschutz/Erdungsanlagen)	4
Einfaches Strahlennetz (Stichleitungsnetz)	1
Einfluss der Transformatoren und Leitungen auf den Kurzschlussstrom	2
Einfluss langer Steuerleitungen auf das Schaltverhalten von Schützen	21F

Einflüsse hochfrequenter Ströme auf den thermischen Überlastauslöser von Leistungsschaltern (3RV, 3VU) und Überlastrelais (3RU, 3UA)	21E
Einheiten (elektrisch)	24
Einleitung (Funktionale Sicherheit von Maschinen und Anlagen)	18
Einphasen-Transformatoren 4AM, 4AT, 4BT, 4AX22, 4AX23	23
Einsatz (Leitungsschutzschalter)	4
Einsatz auf der Primärseite des FU (Schütze)	21E
Einsatz auf der Sekundärseite des FU (Schütze)	21E
Einsatz in feuergefährdeten Betriebsstätten (Schutzarten für Schienenverteiler)	7
Einspeiseschalter (Leistungstransformatoren im Maschennetz)	15
Einspeisestromkreis (Geräteeinsatz)	6
Einspeisestromkreise	1
Einspeisesystem Sirius 3RV19 (Verbraucherabzweige)	23
Einspeisungen, drei gleiche	15
Einstellung der Überstromauslöser in Kuppelschaltern	15
Einstellwerte des Überlastrelais (Schutz von Kondensatoren)	15
Einteilung von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen	5C
Elektrische Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen (Errichtung und Betreibung)	19
Elektrische Einheiten	24
Elektrische Grundformeln	24
Elektrische Kenngrößen	24
Elektromagnetische Verträglichkeit	5A
Elektromotore (Schalten)	13
Elektromotore (Schutz)	13
Elektromotore (Starten)	13
Elektromotorische Bremsung	10
Elektronische S-Auslöser (Stahlennetze)	15
Elektronische Überlastrelais (Niederspannungs-Schaltgeräte)	9
Elektrowärmegeräte (Schalten)	9
EMV im Endstromkreis	5A
Endstromkreis (Geräteeinsatz)	6
Endstromkreise	1
Energiebegrenzungsklassen (Leitungsschutzschalter)	4
Energiebus (Aufbauvarianten)	14A
Energiemanagement	14
Energiemanagement (Datenerfassung und -auswertung)	14
Energiemanagement SIMATIC PCS7 powerrate	14
Energieverbindungen (Systeme zur Energieverteilung)	14A
Energieverteilung	14A
Energieverteilung (Software)	17

Energieverteilungen (Dimensionierung)	1
Entstehung von Überspannungen (Überspannungsbedämpfung von Schützen)	21H
Entwurf von Steuerungsfunktionen (Normen)	18
Erd- und kurzschlusssichere Leiter - kurzschlussfeste Leiter	11
Erdschlusserkennungsmodul	23
Erdungsanlagen/Blitzschutz	4
Erfassungsgeräte	23
Ermittlung des Spannungsfalls	7
Errichtung von Blitz-und Überspannungsschutzeinrichtungen	4
Ersatzstromversorgungsanlagen	8
Erste und zweite Umgebung (Definition)	5A
ET 200pro für sicherheitsgerichtete Anwendungen	23
ET200S - High Feature	23
ET200S - Motorstarter Failsafe	23
ET200X - Motorstarter	23
Ethernet	16
Exlosionsschutz in Nordamerika: Vergleich Zonen/Divisions	19
Explosionsschutz	19
Explosionsschutz - auf den Punkt gebracht !	19
Explosionsschutz (Literaturverzeichnis)	19
Explosionsschutz (Literaturverzeichnis)	19
Explosionsschutz (Produkte)	19

F

Fachbegriffe, kurz erläutert	26
Factory Wiring (Verdrahtung nur in der Fabrik)	20
Farbkennzeichnung (Sicherungen)	5C
Feeder Circuit (Verteilerstromkreis)	20
Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren)	5C
Fehlerstrom Schutzeinrichtungen	5B
Fehlerstrom-/Differenzstromschutz	4
Fehlerstromschutzeinrichtungen	5C
Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen	5C
Felder (magnetisch)	7
Fernmeldung	5C
Fertigungsindustrie (Sicherheitsanforderungen)	18
Festeinbautechnik mit Frontblenden	6

Feuchtigkeit und Verschmutzung	5C
Feuergefährdete Betriebsstätten (Schienenverteiler)	7
Field Wiring (Verdrahtung im Feld)	20
FI-Schutzeinrichtungen für Wechsel- und pulsierende Gleichfehlerströme nach DIN VDE 0664	5B
Formelzeichen (elektrisch)	24
Freilaufdiode (Beschaltung)	21H
Frequenzen in Niederspannungsnetzen (international)	3
Frequenzumrichter (in Kombination mit Niederspannungs-Schaltgeräten)	21E
Funktion, Technische Daten und Kennlinien (Sicherungssysteme)	5C
Funktionale Sicherheit (Begriffe)	18
Funktionale Sicherheit von Maschinen und Anlagen	18
Funktionalität für Rechtslauf (Stern-Dreick-Schalten für Rechtslauf)	21C
Funktionen allgemein (Kennzeichnung)	25
Funktionsbeispiele	21
Fußschalter 3SE2, 3SE3	23

G

Gasentladungslampen (Lampenschalten mit Schützen)	21I
Gebrauchskategorie	13
Gebrauchskategorie (Niederspannungs-Schutz- und -Schaltgeräte)	6, 9
Gefahrenmanagement (Kommunikation in Industrie und Zweckbau)	16
Gehäuse (NH-Sicherungen)	5C
Gehäuse und Module für Drucktaster und Leuchtmelder 3SB3	23
Geräteanschlussklemmen und Stromschienen (Thermische Belastbarkeit)	11
Geräteauswahl / Kriterien (Niederspannungs-Schutz- und -Schaltgeräte)	6
Geräteeinsatz im Einspeisestromkreis	6
Geräteeinsatz im Endstromkreis	6
Geräteeinsatz im Verteilerstromkreis	6
Geräteeinsatz in Einspeisestromkreisen (Kupplung)	6
Gerätezuordnung und Stromkreise (Niederspannungs-Schutz- und -Schaltgeräte)	6

Geregelte Stromversorgungen 3RX9, 4FD, 6EP	23
Getriebemotoren (Produktspektrum)	19
Gewerke (Blitzschutz/Erdungsanlagen)	4
Gleichstromkreise (Schutz)	5C
Grenzstrombereich	4
Größtmöglicher (prospektiver) Kurzschlussstrom	2
Group Installation (Magnetic oder Motor Controller)	20
Grundformeln (elektrisch)	24
Grundlagen	4
Grundlagen (Motorstart für die Praxis)	13
Grundlagen der Schaltplanerstellung	8
Grundlagen von Sicherungssystemen	5C
Grundregeln zur Gewährleistung des Kurzschlussschutzes	1
Grundregeln zur Gewährleistung des Überlastschutzes	1

H

Halbleiterkoppler 3TX70 als Koppelrelais in schmaler Bauform	12
Halbleiterrelais	21K
Halbleiterschaltgeräte	23
Halbleiterschutz	5C
Halbleiterschütze	21K
Hauptstromkreis	20
Hauptstromkreise	2
Hauptstromkreise (Auswahlkriterien für Niederspannungs-Schaltgeräte)	8
Heizkreise, Lastüberwachungvon ohmschen Verbrauchern in Drehstromschaltung	21K
Hilfsstromkreise	2
Hilfsstromkreise (Schutzschalterklemmen)	8
Hohe Lastströme	5C
Hybridfeldbusanbindungen	14A
Hydraulikpumpenantrieb	22
I-Auslöser zusätzlich (Strahlennetze)	15
IEC (Schaltzeichen)	25
Inbetriebnahme (Ecofast)	14A
Induktive Näherungsschalter Simatic PXI600	19
Industrial Ethernet Switches	19

I

Industrie- und Zweckbau (Kommunikation) 16
Industrielle Schalttechnik 23
Initiator-Aktor-Klemmen 8
Inneres Zubehör (Niederspannungs-Schutz- und -Schaltgeräte) 6
Inspektion und Abnahme vor Ort (UL) 20
Installations- und Anwendungstipps 5C
Installationshinweise für Überspannungsableiter Typ 2 5C
Installationshinweise für Überspannungsableiter Typ 3 (Geräteschutz) 5
Intelligente Netzüberwachung (Automatische Drehrichtungskorrektur) 21G
Internationale Frequenzen in Niederspannungsnetzen 3
Internationale Netzspannungen in Niederspannungsnetzen 3
Internationales Einheitensystem (SI) 24
ISO/OSI Modell (Die sieben Schichten) 16
ISO/OSI Schichtenmodell 16
IWLAN-Komponenten 19

K

Kabel- und Leitungsschutz 5C
Kabelinstallationen und Schienenverteiler (Vergleich) 7
Käfigläufermotoren 9
Kenngrößen (elektrisch) 24
Kenngrößen (Explosionsschutz) 19
Kennlinien (Sicherungen) 5C
Kennlinien, Funktion und Technische Daten (Sicherungssysteme) 5C
Kennlinienvergleich (Niederspannungsnetze) 15
Kennzeichnung von Betriebsmitteln, Leitern und allgemeinen Funktionen 25
Kennzeichnung von Sicherungen 5C
Klassifikation der NH-Sicherungen mit Kennlinienvergleich zwischen den Betriebsklassen gL und aM 4
Kleinschütze/Powerrelais 23
Kleinster Kurzschlussstrom 2

Klimabeständigkeit (Leitungsschutzschalter)	4
Knotenpunktsicherungen (Maschennetze)	15
KNX (Konnex)	16
Kommunikation (Niederspannungs-Schutz- und -Schaltgeräte)	6
Kommunikation in Industrie und Zweckbau	16
Kommunikationsfähige Motorstarter Sirius Net	23
Kommunikationsprodukte (Explosionsschutz)	19
Kommunikationspyramide	16
Kompaktabzweig Sirius 3RA6 (Verbraucherabzweige)	23
Kompaktleistungsschalter 3VL	23
Kompakt-Leistungsschalter und Sicherung	4
Kompaktmodule K45F für den Einsatz im Feld	23
Kompaktmodule K60, K45 und K20	23
Kompensationanlagen (Kondensatorschutz)	5C
Komplette Verbraucherabzweige (Motor-, Sanftstarter und Verbraucherabzweige)	23
Kondensatoren (Schalten)	9
Kondensatoren (Schutz)	15
Kondensatoren (verdrosselt)	15
Kondensatoren in oberschwingungsbehafteten Netzen	15
Kondensatorschutz in Kompensationsanlagen	5C
Konventioneller thermischer Bemessungsstrom und Bemessungsdauerstrom	4
Koordinierter Schutz bei Überlast und Kurzschluss	11
Koppelglieder	8
Koppelrelais - schmale Bauform Relaiskoppler 3TX70	12
Koppelrelais 3TX7 / 3RS18	23
Koppelrelais im Industriegehäuse Relaiskoppler 3RS18	12
Korrosive Atmosphären	5C
Kriterien zur Geräteauswahl (Niederspannungs-Schutz- und -Schaltgeräte)	6
Kühlungsart und ihre Anordnung (Kurzzeichen)	11
Kupfer- und Aluminiumleiter (Widerstand)	11
Kuppelschalter (Einstellung der Überstromauslöser)	15
Kurzschluss (Schutz)	11
Kurzschluss und Überlast (Koordinierter Schutz)	11
Kurzschluss- und Überlastschutz	7
Kurzschlussarten	2
Kurzschlussenergie	1
Kurzschlussfestigkeit (dynamisch)	4
Kurzschlussfestigkeit (Niederspannungs-Schutz- und -Schaltgeräte)	6
Kurzschlussfestigkeit (thermisch)	4
Kurzschlussschutz (Grundregeln zur Gewährleistung)	1

Kurzschlussschutz (Schutz von Kondensatoren)	15
Kurzschlussschutz der Abzweige	4
Kurzschlussschutz mit S-Auslösern	4
Kurzschlussstrom	2, 4
Kurzschlussstrom (Beitrag von angeschlossenen Motoren)	2
Kurzschlussstrom (Einfluss der Transformatoren und Leitungen)	2
Kurzschlussstrom (prospektiver)	2
Kurzschlussstrom (Wirkung)	2
Kurzschlussstrombereich	4
Kurzschlussstromfestigkeit des Schaltschrank-Hauptstromkreises	20
Kurzschlussstromkreis (Leistungsfaktor cos phi)	2
Kurzschlusszeit	1
Kurzzeichen der Kühlungsart und ihre Anordnung	11
Kurzzeitbetrieb (Betriebsart S2)	2

L

Lampen schalten	9, 21I
Lampenschalten mit Schützen	21I
Lange Steuerleitungen	21F
Laserscanner Simatic FS600	23
Lastströme	5C
Lasttrennschalter mit Sicherung	23
Lastüberwachung mit Simocode	21K
Lastüberwachung von ohmschen Verbrauchern (Heizkreisen) in Drehstromschaltung	21K
Läuferkritische Motoren	4
Lebensdauer und Schalthäufigkeit (Niederspannungs-Schaltgeräte)	9
Leistentechnik 3NJ4 fest eingebaut	6
Leistungsabgabe (Verlustleistung)	5C
Leistungsfaktor cos phi im Kurzschlussstromkreis	2
Leistungsschalter (Auswahlkriterien)	4
Leistungsschalter (Bemessungsströme)	4
Leistungsschalter (Niederspannungs-Schaltgeräte)	9
Leistungsschalter (Schutzgeräte)	23
Leistungsschalter (z. B. 3RV)	21E
Leistungsschalter für Stromkreise mit und ohne Sicherungen (Auswahl)	4

Leistungsschalter mit L- und I-Auslösern sowie Schütz 4
Leistungsschalter mit nachgeordneter Sicherung 15
Leistungsschalter mit Schutzfunktionen 4
Leistungsschaltertechnik 6
Leistungsspektrum Sirius - Sentron - Sivacon 23
Leistungstransformatoren im Maschennetz 15
Leiter (Erd- und kurzschlusssicher) 11
Leiter (Kennzeichnung) 25
Leitungen und Schirmung (Verlegung) 5A
Leitungs- und Kabelschutz 5C
Leitungslänge (Berechnung) 21F
Leitungslängen und Zusatzspannung 5C
Leitungsschalter mit Fehlerstrom-/ Differenzstromauslösung 4
Leitungsschutz (LS)-Schalter mit Fehlerstromauslösung 4
Leitungsschutzschalter 4
Leitungsschutzschalter (Niederspannungs-Schaltgeräte) 9
Leuchtmelder und Drucktaster 3SB3, 3SB2, 3SF5 23
Lichtvorhänge und Lichtgitter Simatic FS400 23

M

Magnetic Motor Controller 20
Magnetic/Manual Self-Protected Combination Motor Controller Type F 20
Magnetische Felder 7
Magnetschalter 3SE6 23
Manual Motor Controller 20
Manual Motor Controller in Group Installation suitable for tap conductor protection 20
Manual Self-Protected Combination Motor Controller Type E 20
Maschennetz (Leistungstransformatoren) 15
Maschinen und Anlagen (Funktionale Sicherheit) 18
Maßgebende Auslösezeiten 4
Master-Slave-Zugriffsverfahren 16
Mastertree für Systeme und Lösungen im Internet 23
Merkmale der technischen Kommunikation (Kommunikation in Industrie und Zweckbau) 16
Methodik nach EN 62061 18
Methodik nach EN ISO 13849-1 18
Modulares Sicherheitssystem MSS / 3RK3 23

Module und Gehäuse für Drucktaster und Leuchtmelder 3SB3	23
Montage (Leitungsschutzschalter)	4
Motor-, Sanftstarter und Verbraucherabzweige	23
Motorabzweigstromkreis (Aufbaumöglichkeit)	20
Motoren (Produktspektrum)	19
Motorisches Zeitrelais (Funktionsmöglichkeiten)	8
Motormanagement Simocode	12
Motorstart für die Praxis	13
Motorstarter (Staffeldiagramm)	4
Motorstarter AS-Interface (400 V / 600 V, IP65)	23
Motorstarter AS-Interface (DC 24 V, IP65 / IP67)	23
Motorstarter ET 200S	14A
Motorstarter MCU	23
Motorstarter und Schütze (Bestimmungen)	4
Motorstarterkombinationen (Beispiele)	20
Motorstromkreise (Schutz)	5C
Multi Panels (Simatic)	19
Multifunktionsmessgerät PAC3200	23
Multifunktionsmessgerät Sentron PAC3200	14

N

Netzdaten	2
Netzdaten und Betriebsarten	2
Netzformen	1, 4
Netzformen (Verteilungssysteme) nach IEC 60364-1	7
Netzfrequenz und Bemessungsspannung (Niederspannungs-Schaltgeräte)	9
Netzschutz	4
Netzschutz (Aufgaben)	4
Netz-Schutz- und Sicherungssysteme	5C
Netzspannungen in Niederspannungsnetzen (international)	3
Netzsysteme	5C
Netzsysteme nach Art der Erdverbindung (TN-C, TN-C/S, TN-S, IT-, TT-Netze)	1
Netzübergänge (Explosionsschutz)	19
NH-Schaltgeräteschutzsicherungen	4
NH-Sicherungen (IEC 60269-2/VDE 0636-2x)	4
NH-Sicherungen in Gehäusen	5C
Niederspannungs-Energieverteilung	23

Niederspannungs-Leistungsschalter (IEC 60947-2 /VDE660-101)	4
Niederspannungs-Leitungsschutzschalter (MCB - Miniature Circuit Breaker) IEC 60898-1/VDE 0641-11	4
Niederspannungsnetze	1
Niederspannungsnetze (Netzspannungen und Frequenzen international)	3
Niederspannungsnetze (Selektivität und Backup-Schutz)	15
Niederspannungsnetze in den USA	20
Niederspannungs-Schaltanlagen	6, 23
Niederspannungs-Schaltanlagen (Bestimmungen und Normen)	6
Niederspannungs-Schaltanlagen (Übersicht)	6
Niederspannungs-Schaltgeräte in Hilfsstromkreisen (Auswahlkriterien)	10
Niederspannungs-Schaltgeräte in Kombination mit Frequenzumrichtern	21E
Niederspannungs-Schalttechnik (ATEX-Produkte)	19
Niederspannungs-Schalttechnik (Produktspektrum)	19
Niederspannungs-Schutz- und -Schaltgeräte	6
Niederspannungs-Schutzgerätekombination	4
Niederspannungsseitige Zeitstaffelung	4
Niederspannungstransformatoren (Schalten)	9
Norm BGI 608	5C
Norm DIN 1304	25
Norm DIN 18014	4
Norm DIN 19 234	26
Norm DIN 19 245	26
Norm DIN 30600	25
Norm DIN 40005	2
Norm DIN 40705	25
Norm DIN 40719 Teil 2	25
Norm DIN 40900 Teil 1 bis Teil 13	25
Norm DIN 40900 Teil 7	8, 25
Norm DIN 4102	7
Norm DIN 4102-12	7
Norm DIN 4102-9	7
Norm DIN 41788	25
Norm DIN 42 402	11
Norm DIN 42 973	11
Norm DIN 43 670	11
Norm DIN 43 671	11
Norm DIN 43 673, 02.82	11
Norm DIN 43880	4
Norm DIN 4890	24

Norm DIN 4892	24
Norm DIN 4893	24
Norm DIN 54191	21J
Norm DIN 54191	21J
Norm DIN 57298-4, KAP. 5.3.3.1	7
Norm DIN EN 473	21J
Norm DIN EN 50 014	26
Norm DIN EN 50 022	26
Norm DIN EN 50005	25
Norm DIN EN 50011	25
Norm DIN EN 50012	25
Norm DIN EN 50013	25
Norm DIN EN 50014	26
Norm DIN EN 50019	19
Norm DIN EN 50022	4, 23
Norm DIN EN 50110-1	7
Norm DIN EN 50164-2	4
Norm DIN EN 50164-3	4
Norm DIN EN 50164-4	4
Norm DIN EN 50178	5C
Norm DIN EN 50274	7
Norm DIN EN 50281-1-1	19
Norm DIN EN 60 204 Teil 1	10, 26
Norm DIN EN 60 439 Teil 1	26
Norm DIN EN 60 439 Teil 507	11
Norm DIN EN 60 439-1	11
Norm DIN EN 60 439-1/A1	11
Norm DIN EN 60 947-1	11
Norm DIN EN 60034-1	2
Norm DIN EN 60073	26
Norm DIN EN 60079-1	19
Norm DIN EN 60079-14	19
Norm DIN EN 60079-7	19
Norm DIN EN 60204 Teil 1	26
Norm DIN EN 60204-1	2, 23
Norm DIN EN 60204-1 (VDE 0113 Teil 1)	23
Norm DIN EN 60439	6, 7, 26
Norm DIN EN 60439 Teil 1	26
Norm DIN EN 60439-1	7
Norm DIN EN 60439-2	7
Norm DIN EN 60445	25
Norm DIN EN 60529	7
Norm DIN EN 60664-1	5C
Norm DIN EN 60721-3-3	23

Norm DIN EN 60865-1	2
Norm DIN EN 60947	2, 5C, 9, 15, 21I, 21J, 23
Norm DIN EN 60947-1	2
Norm DIN EN 60947-1	21J
Norm DIN EN 60947-1, -2, -3	21J
Norm DIN EN 60947-2	2, 21J
Norm DIN EN 60947-2 (VDE 0660-101) Anhang B	5C
Norm DIN EN 60947-2 (VDE 0660-101) Anhang M	5C
Norm DIN EN 60947-2 A1	15
Norm DIN EN 60947-3	21J
Norm DIN EN 60947-4-1	9
Norm DIN EN 60947-5-1	23
Norm DIN EN 61008	5C
Norm DIN EN 61140	23
Norm DIN EN 62061 (Anhang D, Ausfallarten elektrischer/elektronischer Bauteile)	18
Norm DIN EN 62305-1	4, 5C
Norm DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1): 2006-11 Blitzschutz Teil 1: Allgemeine Grundsätze	4
Norm DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2): 2006-11 Blitzschutz Teil 2: Risikomanagement: Abschätzung des Schadensrisikos für bauliche Anlagen	4
Norm DIN EN 62305-3	4
Norm DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3): 2006-11 Blitzschutz Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen	4
Norm DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4): 2006-11 Blitzschutz Teil 4: Elektrische und elektronische Systeme in baulichen Anlagen	4
Norm DIN EN 954-1	12
Norm DIN EN ISO 7200	12, 17
Norm DIN EN/IEC 61241-0	19
Norm DIN EN/IEC 61241-1	19
Norm DIN IEC 757	25
Norm DIN VDE 0103	11
Norm DIN VDE 0100	5C, 11
Norm DIN VDE 0100 Teil 200	26
Norm DIN VDE 0100 Teil 410	1, 9
Norm DIN VDE 0100 Teil 430	1
Norm DIN VDE 0100 Teil 430 / Teil 540	1
Norm DIN VDE 0100 Teil 460	26
Norm DIN VDE 0100 Teil 470	2
Norm DIN VDE 0100 Teil 520	1

Norm DIN VDE 0100 Teil 710 und 718	1
Norm DIN VDE 0100 Teil 725	2
Norm DIN VDE 0100 Teil 728	8
Norm DIN VDE 0100-300	5C
Norm DIN VDE 0100-410	4, 5C, 15
Norm DIN VDE 0100-410	4
Norm DIN VDE 0100-410: 06-2007	5C
Norm DIN VDE 0100-430	4, 11
Norm DIN VDE 0100-473	11
Norm DIN VDE 0100-482	5C
Norm DIN VDE 0100-530	5C
Norm DIN VDE 0100-534	4
Norm DIN VDE 0100-610	7
Norm DIN VDE 0100-7	4
Norm DIN VDE 0100-710	7
Norm DIN VDE 0100-723: 2005-06	5C
Norm DIN VDE 0102	2, 9, 11
Norm DIN VDE 0102, 01.90	9, 11
Norm DIN VDE 0106	12
Norm DIN VDE 0110	4, 9, 26
Norm DIN VDE 0110 Teil 1	26
Norm DIN VDE 0175	1
Norm DIN VDE 0250-1	11
Norm DIN VDE 0250-106	11
Norm DIN VDE 0250-602	11
Norm DIN VDE 0255,11.72.	11
Norm DIN VDE 0271	11
Norm DIN VDE 0273 Teil 1000	11
Norm DIN VDE 0273 Teil 603	11
Norm DIN VDE 0276 Teil 100	11
Norm DIN VDE 0276 Teil 2	11
Norm DIN VDE 0276-1000	11
Norm DIN VDE 0276-603	11
Norm DIN VDE 0281-3	11
Norm DIN VDE 0298-1	11
Norm DIN VDE 0298-2	11
Norm DIN VDE 0298-3	11
Norm DIN VDE 0298-300	11
Norm DIN VDE 0298-4	4, 11
Norm DIN VDE 0298-4/2.88	7
Norm DIN VDE 0298-4:79-11	11
Norm DIN VDE 0301 Teil 1	11
Norm DIN VDE 0470-1	4, 26
Norm DIN VDE 0532	11

Norm DIN VDE 0532 Teil 2, 01.891	11
Norm DIN VDE 0532 Teil 5, 05.84	11
Norm DIN VDE 0600-100	4
Norm DIN VDE 0600-102	4
Norm DIN VDE 0600-107	4
Norm DIN VDE 0611 Teil 3	8
Norm DIN VDE 0636	4, 26
Norm DIN VDE 0636-10	4
Norm DIN VDE 0641	9
Norm DIN VDE 0641-11	4
Norm DIN VDE 0660	26
Norm DIN VDE 0660 Teil 100	9
Norm DIN VDE 0660 Teil 101	9
Norm DIN VDE 0660 Teil 101	15
Norm DIN VDE 0660 Teil 102	9, 10, 26
Norm DIN VDE 0660 Teil 104	9
Norm DIN VDE 0660 Teil 107	9
Norm DIN VDE 0660 Teil 107	26
Norm DIN VDE 0660 Teil 303	9
Norm DIN VDE 0660 Teil 507	11
Norm DIN VDE 0660 Teil101	8
Norm DIN VDE 0660-101	4
Norm DIN VDE 0660-102	4
Norm DIN VDE 0660-500	6
Norm DIN VDE 0662	5C
Norm DIN VDE 0664	5B, 26
Norm DIN VDE 0664 (FI-Schutzeinrichtungen)	5B
Norm DIN VDE 0674 Teil 1	11
Norm DIN VDE 100-710	4, 15
Norm DIN VDE 100-718	4, 15
Norm E VDE 0636-129	5C
Norm EN ISO 13849-1:2006	18
Norm EN 1050	18, 18A
Norm EN 13849-1	23
Norm EN 418	23
Norm EN 50 170	23, 26
Norm EN 50020	19
Norm EN 50047	23
Norm EN 50170	26
Norm EN 50281-1-1	19
Norm EN 50295	23
Norm EN 60079	19
Norm EN 60079-0	19
Norm EN 60079-10	19

Norm EN 60079-14	19
Norm EN 60079-7	23
Norm EN 60204	23
Norm EN 60204-1	5A, 18
Norm EN 60439-1	5A
Norm EN 60947-4-1	21A
Norm EN 60947-4-1, Anhang F	21A
Norm EN 60947-4-1:2001 + A1:2002 + A2:2005	21A
Norm EN 60947-4-3	23
Norm EN 60947-5-1	21A
Norm EN 60947-5-1, Anhang L	21A
Norm EN 60947-5-1:1997 + A12:1999 + A1:1999 + A2:2000	21A
Norm EN 60947-5-2	19
Norm EN 61131-2	23
Norm EN 61241	19
Norm EN 61241-1	19
Norm EN 61241-10	19
Norm EN 61241-14	19
Norm EN 61558	23
Norm EN 61558-2-1	23
Norm EN 61558-2-13	23
Norm EN 61558-2-2	23
Norm EN 61558-2-4	23
Norm EN 61800-3	5A
Norm EN 62061	18, 18A
Norm EN 62061:2005	18
Norm EN 954-1	18, 18A, 23
Norm EN 954-1:1996	18, 21A
Norm EN ISO 12100	18
Norm EN ISO 12100-1	18
Norm EN ISO 121001, Abschnitt 1	18
Norm EN ISO 13849- 2006	18
Norm EN ISO 13849-1	18
Norm EN ISO 7200	21D
Norm HD 348.4.482 S1	7
Norm HD 625	4
Norm IEC / EN 60947-6-2	23
Norm IEC / EN 61496	23
Norm IEC 157-1	4
Norm IEC 227-3	11
Norm IEC 227-4	11
Norm IEC 245-3	11
Norm IEC 245-4	11

Norm IEC 364-4-41	4
Norm IEC 38	2
Norm IEC 417	25
Norm IEC 445446	25
Norm IEC 479	5B
Norm IEC 502	11
Norm IEC 60 947	13
Norm IEC 60038	1
Norm IEC 60079-11	19
Norm IEC 60079-14	19
Norm IEC 60079-7	19
Norm IEC 60204	4
Norm IEC 60204-1	20, 23
Norm IEC 60269	4, 5C
Norm IEC 60269-1	4
Norm IEC 60269-2	4, 23
Norm IEC 60269-4	23
Norm IEC 60362-5-53: 2001-08 Electrical installations of buildings; Part 5-53	4
Norm IEC 60364-1	7, 20
Norm IEC 60364-4-41	1, 4, 15
Norm IEC 60364-4-43	1, 4, 15
Norm IEC 60364-4-44	5C
Norm IEC 60364-4-44: 2001-08 Electrical installations of buildings; Part 4-44	4
Norm IEC 60364-5-52	4
Norm IEC 60364-5-520	1
Norm IEC 60364-5-54	1
Norm IEC 60364-7-710	1, 4, 15
Norm IEC 60364-7-712	20
Norm IEC 60439-1	6
Norm IEC 60529	4, 19
Norm IEC 60664	4
Norm IEC 60898	4
Norm IEC 60898-1	1, 4
Norm IEC 60934	20
Norm IEC 60947	4, 21J
Norm IEC 60947-1	4, 19, 23
Norm IEC 60947-2	1, 4, 15, 20
Norm IEC 60947-3	4, 20, 23
Norm IEC 60947-4-1	4, 13, 19, 20, 21C

Norm IEC 60947-4-2	4, 19
Norm IEC 60947-5-1	19, 23
Norm IEC 60947-8	19
Norm IEC 61000-2-4	5A
Norm IEC 61158	16, 23
Norm IEC 61241-0	19
Norm IEC 61241-1-1	19
Norm IEC 6150358/VDE 00560-4	15
Norm IEC 61508	18, 19, 23
Norm IEC 61641	6, 23
Norm IEC 61641, VDE 0660-500, Beiblatt 2	6
Norm IEC 617	25
Norm IEC 61784	16
Norm IEC 61800-5-1	20
Norm IEC 61818	5C
Norm IEC 62026-2	23
Norm IEC 62053-22	23
Norm IEC 62061	18A
Norm IEC 62305	5C
Norm IEC 62305-2	4, 5C
Norm IEC 62305-3	5C
Norm IEC 62305-4	5C
Norm IEC 68-2-30	4
Norm IEC 73	26
Norm IEC 947	2, 9, 26
Norm IEC 947-2	2, 15
Norm IEC 947-4-1	9, 26
Norm IEC EN 61496	18
Norm IEC EN 61508 NRTL	18
Norm ISO 12100	18A
Norm ISO 13849-1	18, 18A, 21A
Norm ISO 13849-2	18, 18A
Norm ISO 13850	23
Norm ISO 14121	18A
Norm ISO 23540	14A
Norm ISO 23570	14A
Norm ISO 4225	19
Norm ISO/FDIS 13849-1:2005 (Anhang C)	18
Norm prEN ISO 14121-1	18
Norm SN 31920	18
Norm UL 508 A	20
Norm VDE 0100-430	5C

Norm VDE 0103	2
Norm VDE 0105-1	7
Norm VDE 0106-100	4
Norm VDE 0110 Teil 1	5C
Norm VDE 0113	4, 26
Norm VDE 0113 Teil 1	2, 10, 26
Norm VDE 0160	5C
Norm VDE 0170/0171	26
Norm VDE 0199	26
Norm VDE 0271	11
Norm VDE 0530	2
Norm VDE 0530 Teil1	2
Norm VDE 0635	5C
Norm VDE 0636	5C
Norm VDE 0636 Teil 201	5C
Norm VDE 0636 Teil 2011	5C
Norm VDE 0636-2x	4
Norm VDE 0636-301	5C
Norm VDE 0641 Teil 11	1
Norm VDE 0641-11	4
Norm VDE 0660	2, 4, 5C, 13
Norm VDE 0660 Teil 100	2, 11
Norm VDE 0660 Teil 101	2
Norm VDE 0660 Teil 500	11, 26
Norm VDE 0660-101	1
Norm VDE 0660-102	5C
Norm VDE 0664	5C
Norm VDE 0664-10	5C
Norm VDE 0670-402	5C
Norm VDE 660-101	4, 15
Norm DIN VDE 0100-430	15
Normen (Grundformeln/Kenngrößen/Einheiten)	24
Normen (Leitungsschutzschalter)	4
Normen beim Entwurf von Steuerungsfunktionen	18
Normen und Bestimmungen (Niederspannungs-Schaltanlagen)	6
Normen und rechtliche Grundlagen (Explosionsschutz)	19
Normen zur Stromkreisdimensionierung	1
Normen, DIN, IEC, ANSI und BS (Schaltzeichen)	25
Normen, Vorschriften, Richtlinien, Planung (Blitzschutz/Erdungsanlagen)	4
Normen-Übersicht bezüglich Errichtungsbestimmungen für Installationsanlagen mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen	5C
Nullpunktlöscher/Strombegrenzer	4

O

Oberflächenbelüfter in der Biokläranlage Minden 22
Offene Leistungsschalter 3WL 23
Ohmsche Verbraucher, Lastüberwachung (Drehstromschaltung) 21K
Optical Link Module für Profibus 19
Optische Näherungsschalter Simatic PXO600 19
Overcurrent protection 20

P

Parallel geschaltete Leiter (Schutz bei Überlast) 11
Parallelschalten von Sicherungen 5C
Parametrierung mit der Parametriersoftware Simocode ES 21K
PCS 7-Bibliothek Simocode pro 12
Periodischer Aussetzbetrieb (Betriebsart S3) 2
Photovoltaikanlagen (Schutz) 5C
Physikalische Grundlagen und Kenngrößen (Explosionsschutz) 19
Planung (Ecofast) 14A
Positionsschalter 3SE5, 3SF1, 3SE2, 3SE3, 3SF3 23
Positionsschalter 3SF1 mit ASIsafe-Anbindung 23
Potenzialausgleich 5C
Power Circuit (Hauptstromkreis) 20
Powerrelais 3TG10 und Stromversorgung Sitop Power 12
Powerrelais/Kleinschütze 23
Präventivmaßnahmen für Brandschutz 5B
Praxisbeispiele 21, 22
Primärseite eines Frequenzumrichters (Leistungsschalter) 21E
Primärseite eines Frequenzumrichters (Thermische Überlastrelais) 21E
Prinzipielle Vorgehensweise bei der Dimensionierung 1
Produkte (Sirius, Sentron, Sivacon) 23
Produkte und Systeme für den Einsatz in explosionsgsfährdeten Bereichen 19
Produktspektrum für den explosionsgefährdeten Bereich 19
Produktspektrum Industrie-Automatisierungssysteme 19
Produktspektrum Motoren und Getriebemotoren 19

Produktspektrum Niederspannungs-Niederspannungs-Schalttechnik 19
Produktspektrum Sensorik 19
Profibus 16
Profibus DP (Aufbaurichtlinien) 14A
Profinet 16
Profinet IO-Device und AS- Interface-Master 23
Projektierung (Ecofast) 14A
Prospektiver Kurzschlussstrom 2
Prüfstellen (Explosionsschutz) 19
Pulsierende Gleichfehlerströme 5B
Pumpe (75 kW Motor) für eine Kunstschnee-Anlage 22
Pumpenantrieb 22
Pumpenantriebe für eine hydraulische Stufenpresse 22

R

RC-Glieder (Beschaltung) 21H
Rechnergestützte Selektivitätsuntersuchung 15
Rechtliche Grundlagen und Normen (Explosionsschutz) 19
Rechtslauf - Beschreibung der Funktionalität (Stern-Dreieck-Schalten für Rechtslauf) 21C
Reihenschaltung von Sicherungen 5C
Relais und ihre unterschiedlichen Überwachungsfunktionen 12
Relais zum Überwachen, Steuern und Schalten (Sirius) 12
Reserveschutz 4
Richtig staffeln 4

S

Sanftanlauf mit Sanftstartern 21C
Sanftstarter 23
Sanftstarter (Praxisbeispiele) 22
Sanftstarter (Verbraucherabzweige) 21D
Sanftstarter 3RW 44 steuert 18,5 kW Bugstrahlruder im Ausflugsdampfer optimal mit Drehmomentregelung 22

Sanftstarter 3RW44 startet und bremst eine 45 kW Kontaktband-Schleifmaschine 22
Sanftstarter 3RW44 steuert 168 kW Pulvermühle und ersetzt die Turbokupplung 22
Sanftstarter 3RW44 steuert 90 kW Lüfter im Düsseldorfer Flughafen 22
Sanftstarter SIRIUS 3RW 44 und Pumpe im Klärwerk (110 kW Motor, Sanftstart plus Pumpenauslauf) 22
Sanftstarter SIRIUS 3RW44 und 15 kW Rohrmantelpumpe im Klärwerk Adelsdorf (Sanftstart, Pumpenauslauf und Profibusanbindung) 22
Sanftstarter SIRIUS 3RW44 und Kompressor für eine biologische Kläranlage in einer Papierfabrik in China (250 kW Motor, Sanftstart, Wurzel-3-Schaltung) 22
Sanftstarter-, Motor- und Verbraucherabzweige 23
Schalt- und Steuerschränke (umfassendes Angebot) 20
Schalt- und Steuerschränke (wirtschaftlicher Bau) 20
Schalt- und Steuerschränke (wirtschaftlicher und sicherer Betrieb) 20
Schaltanlage (Stromkreis und Schaltelemente) 20
Schaltaufgaben und -bedingungen (Niederspannungs-Schaltgeräte) 9
Schaltelemente und Stromkreis einer Schaltanlage 20
Schalten mit Schützen 8
Schalten von Elektromotoren 13
Schalten von Elektrowärmegeräten 9
Schalten von Gasentladungslampen (Lampenschaltung mit Schützen) 21I
Schalten von Kondensatoren 9
Schalten von Lampen in Beleuchtungsanlagen 9
Schalten von Niederspannungstransformatoren 9
Schalten von Temperaturstrahlern (Lampenschalten mit Schützen) 21I
Schalten, Steuern, Überwachen 12
Schaltgeräte 23
Schaltgeräte mit integrierter AS-i Anschaltung 23
Schalthäufigkeit und Lebensdauer (Niederspannungs-Schaltgeräte) 9
Schaltkombinationen 4
Schaltkombinationen (Niederspannungs-Schaltgeräte) 9
Schaltkombinationen mit Sicherungen 4
Schaltkombinationen mit Thermistor-Motorschutzgeräten 4
Schaltkombinationen ohne Sicherungen (sicherungslose Bauweise) 4

Schaltleistungskategorie	4
Schaltplanarten	8
Schaltplanerstellung (Grundlagen)	8
Schaltschrank-Hauptstromkreis (Kurzschlussstromfestigkeit)	20
Schalttechnik (industriell)	23
Schaltungen	8
Schaltungen zum Motorschutz (Drehstrom-Asynchronmotor)	8
Schaltverhalten von Schützen (Einfluss von langen Steuerleitungen)	21F
Schaltzeichen / Anschlussbezeichnungen	25
Schaltzeichen nach DIN, IEC, ANSI und BS	25
Schaltzeichen und Schaltgruppen von Drehstrom-Verteilungstransformatoren	11
Schienenverteiler (Schutzarten)	7
Schienenverteiler und Kabelinstallationen (Vergleich)	7
Schienenverteiler-Systeme	7
Schienenverteiler-Systeme Sivacon 8PS	23
Schleifenimpedanz	7
Schnittstelle zu Bussystemen	4
Schnittstellenwandler 3RS17 als Normsignal- und Universalwandler	12
Schutz bei Kurzschluss	11
Schutz bei Überlast	11
Schutz bei Überlast parallel geschalteter Leiter	11
Schutz bei Überstrom (Überlast,Kurzschluss) und Übertemperatur	9
Schutz durch Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen	5C
Schutz für die Stromversorgung	5C
Schutz gegen elektrischen Schlag	1
Schutz und Wirkungsbereich	4
Schutz von Anlagenkomponenten	9
Schutz von Gleichstromkreisen	5C
Schutz von Kondensatoren	15
Schutz von Motorstromkreisen	5C
Schutz von Photovoltaikanlagen	5C
Schutzart (Leitungsschutzschalter)	4
Schutzarten elektrischer Betriebsmittel (DIN EN 60529)	7
Schutzarten für Schienenverteiler	7
Schutzaufgaben der Niederspannungsleistungsschalter	4
Schütze (Schaltung)	8
Schütze (verlängerte Hilfsschaltglieder)	8
Schütze (z. B. SIRIUS 3RT)	21E
Schütze mit Ausschaltverzögerer bei flatterhafter Kommandogabe	8

Schütze mit Restlebensdaueranzeige und Anbindung an AS-Interface	23
Schütze und Motorstarter (Bestimmungen)	4
Schutzeigenschaften von Sicherungen und strombegrenzenden Leistungsschaltern (Vergleich)	4
Schutzeinrichtungen	4
Schutzeinrichtungen (Zuordnung)	11
Schützen von Elektromotoren	13
Schutzfunktionen / Auslöser	4
Schutzgeräte	23
Schutzgeräte (Anforderungen in den drei Stromkreisarten)	6
Schutzgeräte (Niederspannungs-Schaltgeräte)	9
Schutzgeräte (Voraussetzungen für selektives Verhalten)	4
Schutzgeräte für Niederspannungsnetze	4
Schutzkennlinien	4
Schutzschalterklemmen für Hilfsstromkreise	8
Schutzstufenkonzept	5C
Schwingungen und Stoßbeanspruchung	5C
Security Moduls (Explosionsschutz)	19
Seilzugschalter 3SE7, 3SF2	23
Sekundärseite eines Frequenzumrichters (Leistungsschalter)	21E
Sekundärseite eines Frequenzumrichters (Thermische Überlastrelais)	21E
Selektives Verhalten der Schutzgeräte (Voraussetzungen)	4
Selektivität	4
Selektivität (Leitungsschutzschalter)	4
Selektivität bei parallelen Einspeisungen	15
Selektivität durch kurzverzögerte Überstromauslöser (Strahlennetze)	15
Selektivität durch Leistungsschalterkoordination (Strahlennetze)	15
Selektivität in Maschennetzen	15
Selektivität in Reihe liegender Leistungsschalter (Strahlennetze)	15
Selektivität in Reihe liegender Sicherungen (Strahlennetze)	15
Selektivität in Reihe liegender Sicherungen gleicher Betriebsklasse (Strahlennetze)	15
Selektivität in Strahlennetzen	15
Selektivität und Backup-Schutz in Niederspannungsnetzen	15
Selektivität und Unterspannungsschutz	15
Selektivität zwischen Leitungsschalter und Sicherung (Strahlennetze)	15
Selektivität zwischen Sicherung und nachgeordnetem Leistungsschalter	15
Selektivitätsarten (Niederspannungsnetze)	15
Selektivitätsbestimmung (Niederspannungsnetze)	15

Selektivitätsgrenzen von zwei in Reihe liegenden Leistungschaltern (Strahlennetze)	15
Selektivitätsgrenzwertbestimmung (Niederspannungsnetze)	15
Selektivitätskriterien	4
Selektivitätsverhältnisse bei LI-Auslösern und Sicherungen mit sehr niedrigem Bemessungsstrom	15
Selektivitätsverhältnisse bei LS-Auslösern und Sicherungen größerer Bemessungsströme	15
Selektivitätsverhältnisse im Kurzschlussbereich	15
Sensorik (Produktspektrum)	19
Sentron	23
Sentron / Sivacon Programm	23
Sentron Lasttrenner	23
Sentron PAC3200	14
Sentron Sicherungs-Lasttrennschalter	23
Sichere Kompaktmodule K20F für den Einsatz im Feld	23
Sichere SlimLine-Module S22.5F für den Einsatz in Schaltschränken und Vor-Ort-Schaltkästen	23
Sicherheit (Produkte)	18
Sicherheit aus einer Hand	18
Sicherheitsanforderungen in der Fertigungsindustrie	18
Sicherheitsbezogene Steuerungen (Entwurf und Realisierung)	18
Sicherheitsplan nach EN 62061 - Leitfaden bei der Realisierung einer sicheren Maschine	18
Sicherheitsschaltgeräte 3TK28	23
Sicherheitstechnik in der Praxis	18A
Sicherheitstechnik integrieren, Kosten sparen	18
Sicherheitstechnische Kennzahlen - brennbare Stäube	19
Sicherung und Kompakt-Leistungsschalter	4
Sicherung, Schütz und thermisch stromabhängig verzögertes Überlastrelais	4
Sicherungen (Allgemeine Auswahlkriterien)	5C
Sicherungen (Auswahl)	4
Sicherungen (Farbkennzeichnung)	5C
Sicherungen (Kennlinien)	5C
Sicherungen (Kennzeichnung)	5C
Sicherungen (Niederspannungs-Schaltgeräte)	9
Sicherungen (Parallelschalten)	5C
Sicherungen (Reihenschaltung)	5C
Sicherungsanwendungen	5C
Sicherungslose Bauweise (Schaltkombinationen ohne Sicherungen)	4
Sicherungssysteme (Grundlagen)	5C
SI-Einheiten (elektrisch)	24

Signalsäulen 8WD4	23
Signalsäulen mit AS-Interface Anbindung	23
SIL-Zuordnungstabelle	18A
Simaris design	17
Simatic ET 200iSP	19
Simatic ET 200M	19
Simatic ET 200S	19
Simatic NET Systemanschlüsse für Simatc S7	19
Simatic Panels	19
Simatic PCS 7 powerrate	14, 17
Simatic PCS Library PAC3200	17
Simatic PDM (Integration)	12
Simatic PXI600	19
Simatic PXO600	19
Simatic PXS810	19
Simatic WinCC powerrate	17
Simocode	12
Simocode ES (Parametrierung und Inbetriebnahme der Schaltanlage)	12
Simocode ES (Diagnose und Wartung)	12
Simocode ES (Parametrierung per Drag & Drop mit dem Grafikeditor)	12
Simocode ES, Parametrierung	21K
Simocode pro (Einbindung in SIMATIC S7 mit Objectmanager)	12
Simocode pro (Sirius Motormanagement)	23
Simocode pro C	12
Simocode pro mit Safety	12
Simocode pro mit Sivacon	12
Simocode pro V	12
Simocode, Überwachung der Last	21K
Sirius	23
Sirius / Simatic Systembaukasten	23
Sirius ES (Software für die Automatisierung)	17
Sirius Modular Safety System ES	17
Sirius Motor Starter ES	17
Sirius Motormanagement Simocode pro	23
Sirius Relais zum Überwachen, Steuern und Schalten	12
Sirius Schütz-Zulassungen	21A
Sirius Simocode ES	17
Sirius Soft Starter ES	17
Sirius Überwachungs- und Zeitrelais	23
Sitop Weitspannungsnetzteil 6EP1	12
Sitor Halbleiterschutzsicherungen (Schutzgeräte)	23
Sivacon	23

Sivacon / Sentron Programm	23
Slash-Spannungen	20
SlimLine-Module S22.5F für den Einsatz in Schaltschränken und Vor-Ort-Schaltkästen	23
Software Ecofast ES	14A
Software für die Automatisierung: Sirius ES	17
Software für die Energieverteilung	17
Software Simocode ES, Parametrierung	21K
Software Switch ES Motorstarter	23
Software zur einfachen Parametrierung, Überwachung und Diagnose	21D
Softwaretools	17
Softwareunterstützung (Simocode)	12
Sonderfunktion - Zählermodul	23
Spannungsebenen (Vorgehen bei zwei oder mehreren)	4
Spannungsfall (Ermittlung)	7
Spannungsfall auf der Leitung im Hauptstromkreis (oberspannungsseitig)	10
Spannungsfall auf der Leitung im Hauptstromkreis (unterspannungsseitig)	10
Spannungsfall auf der Steuerleitung im Einschaltaugenblick	10
Spannungsfall auf Sammelschienen	10
Spannungsfall bei einer beliebigen Strombelastung	10
Spannungsfall im Netztransformator	10
Spannungsfall im Steuertransformator (durchschnittlich)	10
Spannungsfalldiagramme	7
Spiegelkontakte	21A
Spiegelkontakte nach EN 60947-4-1, Anhang F	21A
Staffel- und Verzögerungszeiten	4
Staffeldiagramm für einen Motorstarter	4
Staffeldiagramme (Anfertigen von Strom-Zeit-Diagrammen)	4
Staffeldiagramme (Arbeitshilfen zur Anfertigung)	4
Staffeln	4
Staffeln der Ansprechströme bei Anwendung der Zeitstaffelung	4
Staffelzeiten	4
Ständerkritische Motoren	4
Starten von Elektromotoren	13
Starterschutzschalter mit I-Auslöser, Schütz und Überlastrelais	4
Steckrelais LZS, LZX	23
Steckrelaiskoppler LZS als Koppelrelais mit Steckrelais	12
Stern-Dreieck-Anlauf	21C
Stern-Dreieck-Schalten von Drehstrommotoren	21B
Stern-Dreieck-Schalten von Drehstrommotoren	21C
Steuer- und Schaltschränke (umfassendes Angebot)	20

Steuer- und Schaltschränke (wirtschaftlicher Bau)	20
Steuer- und Schaltschränke (wirtschaftlicher und sicherer Betrieb)	20
Steuerleitungen, lange	21F
Steuern, Schalten, Überwachen	12
Steuerstromkreis	20
Steuerstromkreis Klasse 1 (nach UL 508 A)	20
Steuertransformator (Spannungsfall)	10
Stichleitung und V-förmiger Anschluss, T- / V- Verdrahtung	5C
Stichleitungsnetz	1
Stoßbeanspruchung und Schwingungen	5C
Stoßkurzschlussstrom	2
Stoßstrombelastung und Überspannungen	5C
Strahlennetz	1
Strahlennetz im Netzverband	1
Strahlennetz mit Stromschienenverteilungen	1
Strahlennetz mit Umschaltreserve (Volllast / Teillast)	1
Strahlennetze (Selektivität)	15
Straight-Spannungen	20
Strategie zur Risikominderung nach EN ISO 12100-1, Abschnitt1 und Risikobewertung	18
Strombegrenzung von NH-Sicherungen und Leistungsschaltern (Vergleich)	4
Strombelastbarkeit	11
Strombelastbarkeit und Schutz von Kabeln, Leitungen und Stromschienen bei Überstrom	10
Stromkreis und Geräte Klasse 2	20
Stromkreis und Schaltelemente einer Schaltanlage	20
Stromkreisarten	1
Stromkreisdimensionierung (Normen)	1
Stromkreise mit "Straight"-Spannungen und mit "Slash"-Spannungen	20
Stromkreise und Gerätezuordnung (Niederspannungs-Schutz- und -Schaltgeräte)	6
Stromkreisübergreifende Dimensionierung	1
Stromlaufpläne (Drehstrom-Asynchronmotoren)	8
Stromschienen und Geräteanschlussklemmen (Thermische Belastbarkeit)	11
Stromschienenverteilungen (Strahlennetz)	1
Switch ES Power	17
Systembaukasten (Sirius / Simatic)	23
Systeme (Industrielle Schalttechnik)	23
Systeme zur Energieverteilung	14A

T

Technische Daten, Funktion und Kennlinien (Sicherungssysteme)	5C
Technische Kommunikation (Merkmale)	16
Teillast (Strahlennetz mit Umschaltreserve)	1
Teilselektivität	4
Temperatureinfluss (Leitungsschutzschalter)	4
Temperaturmessungen im Schaltschrank	21J
Temperaturüberwachungsrelais 3RS10/3RS11 als analog einstellbare Relais	12
Temperaturüberwachungsrelais 3RS10/3RS11 und 3RS20/3RS1 als digital einstellbare Relais	12
Temperaturverhalten von Niederspannungs-Schaltgeräten im Schaltschrank	21J
Temperaturstrahler (Lampenschalten mit Schützen)	21I
Thermisch verzögerte Überlastauslöser (a-Auslöser) (Leistungsschalter)	21E
Thermische Belastbarkeit von Stromschienen und Geräteanschlussklemmen	11
Thermische Kurzschlussfestigkeit	4
Thermische Überlastrelais (z. B. 3RU)	21E
Thermische Wirkung	2
Thermischer Bemessungsstrom und Bemessungsdauerstrom	4
Thermistor-Motorschutzgeräte	9
Thermistor-Motorschutzrelais 3RN1 für Schutz vor Überhitzung	12
Tipps zur Installation	5C
Tipps zur Installation für Blitzstromableiter Typ 1	5C
TN-C-System	5C
TN-S-System	5C
Toleranzen der Auslösekennlinien	4
Topologie (Kommunikation in Industrie und Zweckbau)	16
Topologie (Systeme zur Energieverteilung)	14A
Touch Panels (Simatic)	19
Transformatoren	2
Transformatoren (Ausführungsarten)	10
Transformatoren (Verhalten)	10
Transformatoren und Stromversorgungen	23
Transformatorschutz mit NH-Sicherungen	5C
TT-System	5C

U

Über Kuppelschalter parallel geschaltete Einspeisungen	15
Überlast und Kurzschluss (Koordinierter Schutz)	11
Überlast- und Kurzschlussschutz (Schienenverteiler)	7
Überlast- und Überstromschutz	4
Überlastauslöser	4
Überlastbereich	4
Überlastrelais (elektronisch)	9
Überlastrelais (Niederspannungs-Schaltgeräte)	9
Überlastrelais (Schutz von Kondensatoren)	15
Überlastrelais (Schutzgeräte)	23
Überlastschutz (Grundregeln zur Gewährleistung)	1
Übersicht (Niederspannungs-Schaltanlagen)	6
Überspannungen und Stoßstrombelastung	5C
Überspannungsableiter Typ 2	5C
Überspannungsableiter Typ 3 (Geräteschutz)	5C
Überspannungsbedämpfung von Schützen	21H
Überspannungsschutzgeräte (Absicherung)	5C
Überspannungsschutzgeräte (Aufbau und Wirkungsweise)	5C
Überspannungsschutzmodul	23
Überstrom (Strombelastbarkeit und Schutz von Kabeln, Leitungen und Stromschienen bei Überstrom)	11
Überstrom- und Überlastschutz	4
Überstrom, Übertemperatur (Schutz)	9
Übertemperaturen	11
Übertemperaturen an Geräten, Maßnahmen dagegen (Temperaturverhalten im Schaltschrank)	21J
Überwachen, Steuern, Schalten	12
Überwachungs- und Steuergeräte	23
Überwachungsfunktionen (Relais)	12
Überwachungsrelais 3UG für Netz-, einphasige Spannungs- und Isolationsüberwachung	12
Überwachungsrelais 3UG4 für einphasige Stromüberwachung, cos phi und Wirkstromüberwachung	12
Überwachungsrelais 3UG4 für Fehlerstromüberwachung	12
Überwachungsrelais 3UG4 für Füllstand und Drehzahl	12
UL-Know-how (Vorteile)	20
UL-Markt (Besonderheiten)	20
Ultraschall-Näherungsschalter Simatic PXS810	19
UL-Zertifizierung	20
Umgebungsbedingungen und Anwendungen	5C

Umgebungstemperaturen	5C
Umrechnung internationaler, britischer und amerikanischer Einheiten	24
Umrichter mit Vorladewiderständen (Schütze)	21E
Umrichter ohne Vorladewiderstände (Schütze)	21E
Umrüstung der Groß-Presse mit jeweils 2x90 kW Antrieben im Presswerk eines Automobilherstellers	22
Ungeregelte Stromversorgungen 4AV	23
Ungewöhnliche Schwingungen und Stoßbeanspruchung	5C
Ungewolltes Auslösen von Leistungsschaltern und Überlastrelais (Thermische Überlastrelais)	21E
Ungleichmäßige Belastung (bei Betrieb)	2
Universaleinbautechnik	6
Unterbrochener periodischer Betrieb (Betriebsart S6)	2
Unterspannungsschutz und Selektivität	15
Ununterbrochener periodischer Betrieb mit elektrischer Bremsung (Betriebsart S7)	2
Ununterbrochener periodischer Betrieb mit Last-/Drehzahländerung (Betriebsart S8)	2
Unverzögerte Kurzschlussauslöser (n-Auslöser) (Leistungsschalter)	21E
Unverzögerte Kurzschlussauslöser (n-Auslöser) (Leistungsschalter)	21E
USV-Anlagen (Batterieschutz)	5C

V

Varistor (Beschaltung)	21H
Verbraucherabzweige	23
Verbraucherabzweige als Sanftstarter	21D
Verbraucherabzweige in sicherungsloser Bauweise	21C
Verbraucherabzweige-, Motor- und Sanftstarter	23
Verdrahtung im Feld (Field Wiring)	20
Verdrahtung nur in der Fabrik (Factory Wiring)	20
Verdrosselte Kondensatoren	15
Verfügbarkeit (Ecofast)	14A
Vergleich der Auslösekennlinien zwischen Sicherungen und bemessungsstromgleichen Leistungsschaltern	4
Vergleich der Schutzeigenschaften von Sicherungen und strombegrenzenden Leistungsschaltern	4

Vergleich der Strombegrenzung von NH-Sicherungen und Leistungsschaltern 4
Verlängerte Hilfsschaltglieder bei Schützen (vornehmlich bei Gleichstrombetätigung) 8
Verlegung von Leitungen und Schirmung 5A
Verlustleistung (Leistungabgabe) 5C
Verschmutzung und Feuchtigkeit 5C
Verteilerstromkreis 1, 20
Verteilerstromkreis (Geräteeinsatz) 6
Verteilungssysteme (Netzformen) nach IEC 60364-1 7
Verzögerungs- und Staffelzeiten 4
Volllast (Strahlennetz mit Umschaltreserve) 1
Vollselektivität 4
Voraussetzungen für selektives Verhalten der Schutzgeräte 4
Vorgehen bei zwei oder mehreren Spannungsebenen 4
Vorgehensweise beim Abschalten von Siemens Umrichtern (Schütze) 21E
Vorteile (Ecofast) 14A

W

Wandlung von Netzsystemen innerhalb einer Anlage 5C
Wärmequelle in Schaltanlagen und Verteilern 5C
Wechsel- und pulsierende Gleichfehlerströme nach DIN VDE 0664 (FI-Schutzeinrichtungen) 5B
Wechselfehlerströme 5B
Widerstand von Kupfer- und Aluminiumleitern 11
Widerstands- und Kurzschlussstrombestimmung (Diagramme) 2
Wiedereinschaltsperre nach einer Kurzschlussauslösung 4
Wirkung des Kurzschlussstroms 2
Wirkungs- und Schutzbereiche der Geräte 4
Wirkungsweise (Leitungsschutzschalter) 4
WLAN 19

Z

Zählermodul - Sonderfunktion 23
Zeitrelais 3RP 15/3 RP 20 12
Zeitstaffelung (niederspannungsseitig) 4
Zeitstaffelung (Staffeln der Ansprechströme) 4
Zeitstaffelung bei annähernd gleich hohen Kurzschlußströmen (Strahlennetze) 15
Zeitverkürzte Selektivitäts-Steuerung (Strahlennetze) 15
Zenerdiode (Überspannungsbedämpfung von Schützen) 21H
Zugriffsverfahren 16
Zulässige Oberflächentemperatur von Niederspannungs-Schaltgeräten im Schaltschrank 21J
Zulässige Stromverhältnisse (Maschennetze) 15
Zulässige Temperaturen an den Anschlüssen (Temperaturverhalten im Schaltschrank) 21J
Zulässige Temperaturen nach DIN EN 60947-1 (Temperaturverhalten im Schaltschrank) 21J
Zulässige Temperaturen nach DIN EN 60947-2 und DIN EN 60947-3 (Leistungsschalter, Lasttrennschalter) (Temperaturverhalten im Schaltschrank) 21J
Zulässige Übertemperaturen 11
Zulassungs- und Prüfstellen (Explosionsschutz) 19
Zuordnung von Schutzeinrichtungen 11
Zusätzliche Stromselektivität bei Transformator-Parallelbetrieb 15
Zusätzlicher Schutz (Schutz bei direktem Berühren) 5C
Zusatzspannung und Leitungslängen 5C
Zwangsführung von Hilfsschützen 21A
Zwangsgeführte Kontaktelemente von Hilfsschützen und Spiegelkontakte von Leistungsschützen 21A
Zweckbau und Industrie (Kommunikation) 16
Zwei gleiche Einspeisungen 15
Zweistufiger Schutz für die Stromversorgung bei geringem Gefährdungspotential 5C