

# TECHNISCHER ANHANG

## Schalt- und Trenngeräte

Normen EN 60947-3, -2 und VDE 0660	489
Installationsnormen IEC 60364 und IEC 60204	491
Auswahl eines Schaltgerätes	492
Anwendungsbeispiele	493
Korrekturfaktoren	495

## Die Niederspannungsverteilung

Erdungsarten	458
Spannungen, Überspannungen	460
Stromqualität	461
Verbesserung der Stromqualität	466
Externe Einwirkungen	467

## Überlastströme

Ermittlung des Stroms $I_2$	468
Ermittlung der zulässigen Strombelastbarkeit $I_z$	469
Schutz der Leitungen gegen Überlast durch Sicherungen gG	475

## Kurzschlussströme

Berechnung des $I_{cc}$ einer Quelle	474
Berechnung des $I_{cc}$ einer Niederspannungsanlage	475
Schutz der Leitungen	480
Schutz der Leitungen durch Sicherungen	481

## Direktes und indirektes Berühren

Schutz gegen direktes Berühren	482
Schutz gegen indirektes Berühren	483
Schutz gegen indirektes Berühren durch Sicherungen	486
Schutz gegen indirektes Berühren durch Fehlerstromrelais	487

## Spannungsabfälle

Berechnung des Spannungsabfalls in einem Kabel mit der Länge L	488
Ansatz so genannter wirtschaftlicher Leiterquerschnitte	488

## Sicherungsschutz

Allgemeine Eigenschaften	496
Kurzschlussbegrenzung	496
Auswahl der Sicherung «gG» oder «aM»	497
Schutz der Leitungen gegen Überlast durch Sicherungen gG	500
Schutz der Leitungen durch Sicherungen	501
Schutz gegen indirektes Berühren durch Sicherungen	502
Kurven von gG-Sicherungen	503
Kurven von aM-Sicherungen	505
Auswahl von UR-Sicherung	507
Selektivität	508

## Energiesteuerung und -management

Einleitung	512
Tarifgestaltung	512
Messung der Stromwerte	513
Stromzählung	513
Überwachung	514
Steuerung / Kontrolle	514
Stromqualität	514

## Anlagenkommunikation

Analoge Kommunikation	515
Digitale Kommunikation	516
JBUS-/MODBUS-Protokoll	517
PROFIBUS-Protokoll	520

## Elektrische Messgeräte

Dreheisenmessgerät	522
Drehschulmessgerät	522
Drehschulmessgerät mit Gleichrichter	522
Gebrauchsstellung	522
Gebrauch von Spannungswandlern	522
Leistungsformer	523
Genauigkeitsklasse	523
Leistungsaufnahme von Kupferkabeln	523
Summenstromwandler	524
Sättigungsstromwandler	524
Anpassung der Übersetzungsverhältnisse	524

## Digitaler Netzschutz

Allgemeines	525
Schutzfunktionen	525
Zeitabhängige Schutzkennlinien	525
Schutzrelais	525
Darstellung der Kennlinien	525
Kennliniengleichungen	525
Schutz des Neutralleiters	526
Schutz gegen Erdschluss	526
Zeitunabhängige Schutzkennlinie	526
Leistungsrückkehrschutz	526
Auswahl des Stromwandlers	526

## Differentialschutz

Allgemeines	527
Definitionen	528
Anwendungsbeispiele	529
Anwendung	532

## Isolations-Überwachungsgeräte (ISOM)

Allgemeines	536
Definitionen	537
Anwendungsbeispiele	538
Anschluss der Isolations-Überwachungsgeräte	541

## Überspannungsbegrenzer

Allgemeines	542
Strombegrenzungsdrössel	542
Anschluss des Überspannungsschutzes	542
Durchschlagsnennspannungen bei Industriefrequenz	542
Anschluss von Überspannungsbegrenzer und Strombegrenzungsdrössel	542

## Überspannungsableiter

Überspannungsschutz gegen Spannungssprünge	543
Überspannungen wegen Blitzschlag	545
Wichtigste Vorschriften und Normen	546
Technologie	548
Innere Zusammensetzung	550
Wichtigste Merkmale von Überspannungsableitern	550
Auswahl und Einbau von Eingangs-Überspannungsableitern	551
Schutz von Geräten und Verteiler-Überspannungsableitern	553
Regeln zu und Auswahl der Überspannungsableiter	555
Anwendung und Wartung	556

## Blindleistungskompensation

Kompensationsprinzip	557
Berechnung der Kondensatorleistung	561
Auswahl einer Kompensation für eine feste Last	562

## Gehäuse

Thermoeffekte	564
Thermische Berechnung	565
Auswahl des Klimagerätes	566

## Sammelschienen

Wahl des Schienenmaterials	567
Bestimmung des Kurzschlussstrom-Scheitelwerts in Abhängigkeit vom Effektivwert	567
Thermoeffekt des Kurzschlusses	567
Elektrochemische Elemente	567

## Statische unterbrechungsfreie Stromversorgung (Wechselrichter)

Funktionsprinzip	568
Kommunikation	572

## Erdungsarten

Die Art der Erdung oder die Sternpunktbehandlung in einem Niederspannungsnetz wird durch zwei Buchstaben definiert:

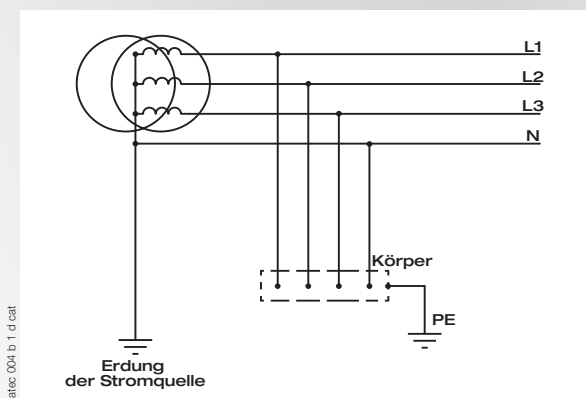
Der <b>erste</b> definiert die Erdungsart der Niederspannungsseite des Transformators (normalerweise der Sternpunkt).	geerdet	T	T	geerdet	Der <b>zweite</b> definiert die Erdungsart der Körper
	isoliert	I	T	geerdet	
	geerdet	T	N	verbunden mit dem Sternpunkt	

### TT: Netz mit direkter Erdung eines Netzpunktes

Der Einsatz dieser Erdungsart ist von einigen EVU für öffentliche Niederspannungsverteilungen vorgeschrieben. Im Falle eines Isolationsfehlers kommt es zum automatischen Abschalten eines Teils oder der Gesamtheit der Verbraucher.

Das Abschalten muss beim ersten Fehler erfolgen. Alle Anwendungsbereiche müssen mit einem sofort ansprechenden Fehlerstromschutz ausgestattet sein. Der Fehlerstromschutz kann in Abhängigkeit vom Typ und der Bedeutung der Anlage generell oder auch unterteilt sein.

Dieses Netz findet man in den folgenden Fällen: im Haushalt, kleinen Dienstleistungsbetrieben, kleinen Werkstätten, Schulen mit einem Handwerksraum usw.



### TN: Netz mit geerdetem Netzpunkt

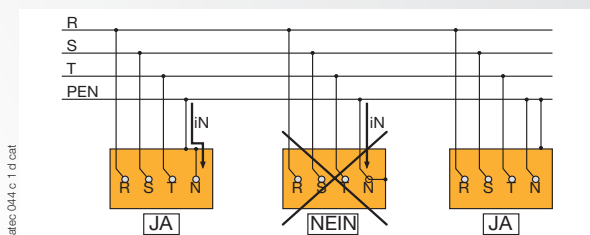
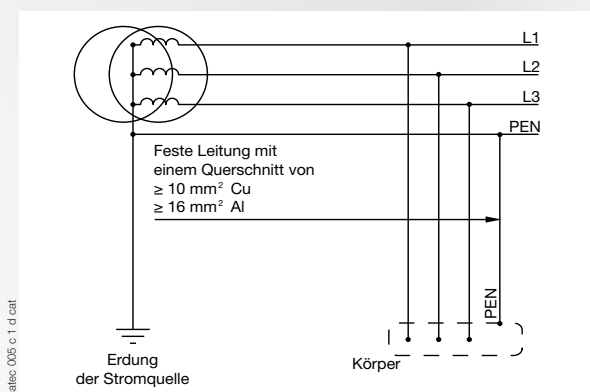
Dieses Netzsystem ist für Anlagen geeignet, die ein Abschalten beim ersten Isolationsfehler zulassen.

Die Anwendung und der Betrieb dieses Netztyps ist wirtschaftlich, erfordert jedoch eine konsequente Installation von Schutzstromkreisen.

Neutralleiter (N) und Schutzleiter (PE) können zusammengefasst (TN-C) oder getrennt (TN-S) verlegt werden.

#### • TN-C-System

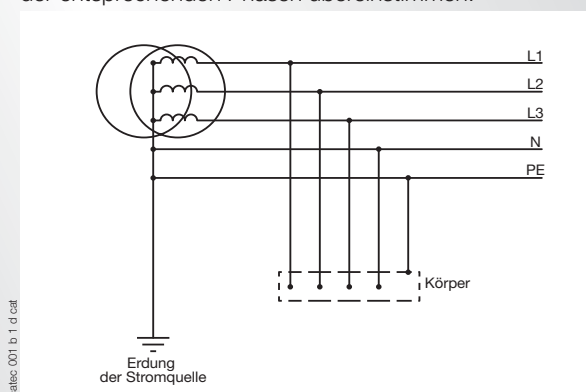
Der PEN-Leiter (Schutz- und Neutralleiter) darf niemals aufgetrennt werden. Der Querschnitt der PEN-Leiter muss bei Kupfer mindestens 10 mm<sup>2</sup> betragen und bei Aluminium mindestens 16 mm<sup>2</sup> und darf keine beweglichen Installationen (flexible Kabel) umfassen.



Die Schutzfunktion des PEN-Leiters ist stärker als die des Neutralleiters.

#### • TN-S-System

Ein TN-S-Netz kann unter einem TN-C-Netz eingerichtet werden, das Gegenteil ist nicht erlaubt. Im TN-S-System werden Neutralleiter (N) und Schutzleiter (PE) im gesamten Netz getrennt geführt. Sie werden nicht geschützt und ihre Querschnitte müssen unbedingt mindestens mit denen der entsprechenden Phasen übereinstimmen.



#### • TN-C-S-System

Die Bezeichnung TN-C-S weist auf eine Verteilung hin, wo Neutral- und Schutzleiter in einem Teil des Systems zusammengefasst und im übrigen Teil getrennt ausgeführt sind.

## Erdungsarten (Fortsetzung)

### ➤ IT: Netz mit isoliertem Sternpunkt

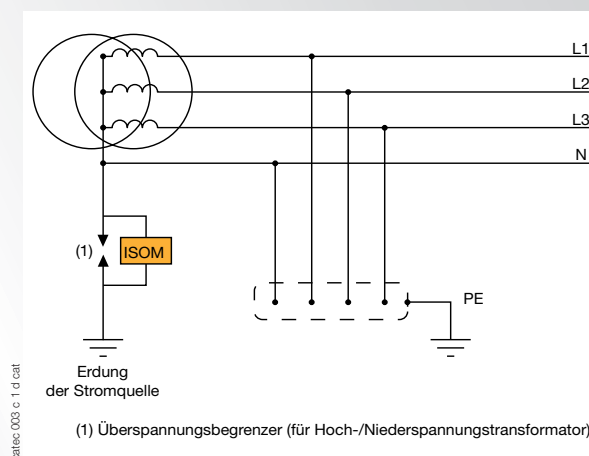
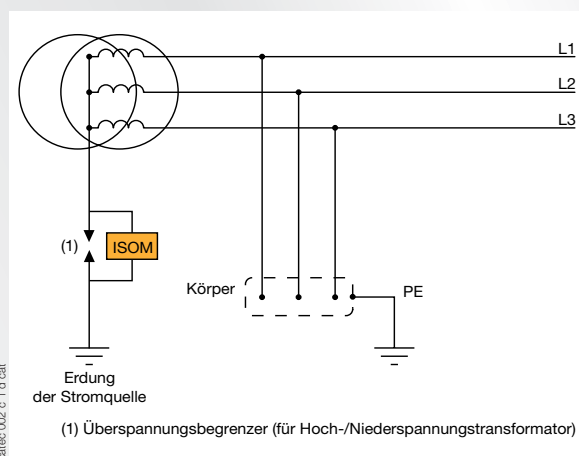
Diese Art des Sternpunkts wird benutzt, wenn das Abschalten beim ersten Isolationsfehler nachteilig für den reibungslosen Lauf eines Betriebs oder die Sicherheit von Personen ist.

Sein Betrieb erfordert kompetentes Personal vor Ort, damit beim Auftreten des ersten Isolationsfehlers schnell eingegriffen werden kann, um den Fortgang des Betriebes zu gewährleisten, bevor ein eventueller zweiter Fehler entsteht, der dann ein Abschalten auslösen würde.

Ein Überspannungsbegrenzer ist zwingend notwendig, um zu ermöglichen, dass Überspannungen, die aus der Hochspannungsanlage herrühren (Durchschlag des Transformators Hochspannung/Niederspannung, Schaltstörungen, Blitz...) zur Erde abfließen können.

Der Personenschutz wird gewährleistet durch:

- die Zusammenschaltung und die Erdung der Körper;
  - die Überwachung des ersten Fehlers durch Isolations-Überwachungsgeräte;
  - das Abschalten beim zweiten Fehler durch Überstrom-Schutzeinrichtungen oder durch Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen.
- Dieses Netz wird z. B. verwendet in Krankenhäusern (Operationssälen) oder in Sicherheitsstromkreisen (Beleuchtung) und in Industriebetrieben, in denen die Kontinuität des Betriebes von wesentlicher Bedeutung ist, oder wenn der schwache Fehlerstrom erheblich das Brand- oder Explosionsrisiko verringert.



## Spannungen, Überspannungen

### ↪ Spannungsbereiche

Bei der Niederspannung unterscheidet man gemäß der IEC-Norm 60364 (NF C 15100) zwischen zwei Bereichen und gemäß der französischen Verordnung vom 14.11.1988 zwischen drei Bereichen.

Bereich		Nennspannung $U_n$	
Fr. Verordnung	IEC	Wechselstrom	Gleichstrom
Kleinspannung	I	$\leq 50 \text{ V}$	$\leq 120 \text{ V}$
Niederspannung A	II	$50 \text{ V} < U_n \leq 500 \text{ V}$	$120 \text{ V} < U_n \leq 750 \text{ V}$
Niederspannung B	II	$500 \text{ V} < U_n \leq 1000 \text{ V}$	$750 \text{ V} < U_n \leq 1500 \text{ V}$

### ↪ Normspannung bei Wechselstrom

- Bei Einphasenstrom: 230 V.
- Bei Drehstrom: 230 V/400 V und 400 V/690 V.

Entwicklung der Spannungen und Abweichungen (IEC 60038).

Zeiträume	Spannungen	Abweichungen
Vor 1983	220 V/380 V/660 V	$\pm 10 \%$
Von 1983 bis 2003	230 V/400 V/690 V	$+ 6 \%$ / $- 10 \%$
Nach 2003	230 V/400 V/690 V	$\pm 10 \%$

### ↪ Überspannungsschutz gegen Spannungssprünge

Er wird gewährleistet durch:

- **die Wahl der Geräte in Abhängigkeit von  $U_{imp}$ .**

Die Norm IEC 60364 definiert 4 Gebrauchskategorien:

Kategorie I	Elektronisches Material oder Komponenten mit geringer Bemessungsstoßspannungsfestigkeit. Z. B. <i>elektronische Schaltkreise</i>
Kategorie II	Betriebsmaterial, das zum Anschluss an die Stromanlage des Gebäudes bestimmt ist Z. B. - <i>tragbare Werkzeuge...</i> - <i>Computergeräte, TV, HiFi-Anlagen, Alarmanlagen, Haushaltsgeräte mit elektronischer Programmierung</i>
Kategorie III	Material, das zur fest installierten Anlage gehört und anderes Material, bei dem ein höherer Zuverlässigkeitsgrad erforderlich ist Z. B. - <i>Schaltschränke...</i> - <i>fest installierte Anlagen, Motoren...</i>
Kategorie IV	Material, das am oder in der Nähe des Eingangs der Anlage oberhalb der Verteilungsschalttafel zum Einsatz kommt Z. B. - <i>Sensoren, Transformatoren...</i> - <i>wichtige Schutzeinrichtungen gegen Überströme</i>

Überspannung in kV nach Gebrauchsklassen

Drehstromnetz	Einphasennetz	IV	III	II	I
230 V/400 V	230 V	6	4	2,5	1,5
400 V/690 V		8	6	4	2,5
690 V/1000 V		Xx			

(Xx) Vom Hersteller der Komponente angegebene Werte. Sind keine Werte angegeben, können die o. g. Leitungswerte gewählt werden.

- **Überspannungsableiter (siehe Seite 543)**

Anmerkung: Überspannungen atmosphärischer Herkunft erfahren in den meisten Anlagen stromabwärts keine signifikante Abschwächung. Folglich ist die Auswahl der Überspannungskategorien der Komponenten nicht für den Überspannungsschutz ausreichend. Eine geeignete Risikostudie ist durchzuführen, um die für die verschiedenen Bereiche der Anlage erforderlichen Überspannungsableiter zu ermitteln.

### ↪ Bei 50 Hz zulässige Spannungsbelastungen

Die Materialien der Niederspannungsanlage müssen für die folgende transitorische Überspannungsbelastung geeignet sein:

Dauer (s)	Zulässige Spannungsbelastung (V)
$> 5$	$U_o + 250$
$\leq 5$	$U_o + 1200$



## Stromqualität

Die allgemein zulässigen Abweichungen (EN 50160) für den reibungslosen Betrieb eines Netzes mit störepfindlichen Lasten (elektronische Geräte, Datenverarbeitungsgeräte...) sind in den folgenden Tabellen angegeben.

### ⤿ Spannungstief und Abschaltung

#### • Definition

Ein Spannungstief ist ein Nachlassen der Spannungsamplitude in einem Zeitraum von 10 ms bis 1 s.

Die Spannungsänderung wird in % der Nennspannung (zwischen 10 % und 100 %) ausgedrückt. Ein Spannungstief von 100 % wird Abschaltung genannt.

Je nach Ausschaltzeit  $t$  unterscheidet man wie folgt:

- $10 \text{ ms} < t < 1 \text{ s}$ : extrem kurzes Abschalten z. B. aufgrund von schnellem Wiedereinschalten nach flüchtigen Fehlern...;
- $1 \text{ s} < t < 1 \text{ min}$ : kurzes Abschalten aufgrund der Tätigkeit von Schutzmechanismen, bei der Inbetriebnahme von Geräten mit starkem Strom beim Anlaufen...;
- $1 \text{ min} < t$  lange Ausschaltzeit, die normalerweise vom Hochspannungsnetz herrührt.

Spannungstief gemäß EN 50160 (Bedingungen)

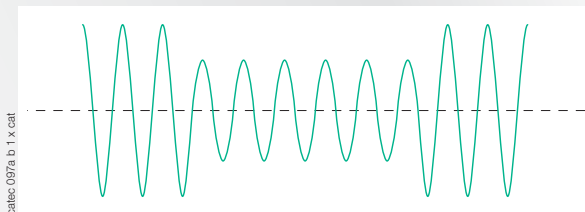
	Abweichungen		
	normal	außergewöhnlich	nach Nutzungslasten
Anzahl	Von 10 bis 1000	1000	Hoch
Dauer	$< 1 \text{ s}$	$> 1 \text{ s}$	
Stärke	$< 60 \%$	$> 60 \%$	zwischen 10 und 15 %

Kurze Abschaltungen gemäß EN 50160 (in einem Jahr)

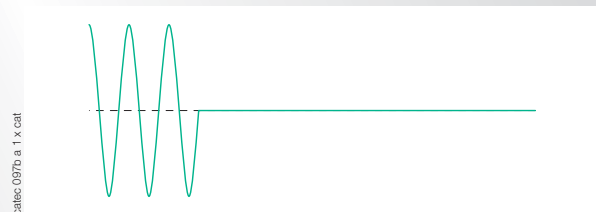
	Abweichungen	
Anzahl	n von 10 x bis 1000 x	
Dauer	$< 1 \text{ s}$ für 70 % von n	

Lange Abschaltungen gemäß EN 50160 (in einem Jahr)

	Toleranzen	
Anzahl	n von 10 bis 1000	
Dauer	$> 3 \text{ min}$	



Spannungstief.



Abschaltung.

#### • Folgen von Spannungstiefs und Abschaltungen

- Öffnung der Schütze (Abfall  $> 30 \%$ ).
- Verlust des Synchronismus der Synchronmotoren, Instabilität der Asynchronmotoren.
- EDV-Anwendungen: Verlust von Daten...
- Störung der Beleuchtung durch Entladungslampen (Verlöschen bei Abfällen von 50 % während 50 ms, ein erneutes Aufleuchten erfolgt erst nach einigen Minuten).

#### • Lösungen

- Bei allen Lasttypen:
  - Verwendung einer statischen unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV) (siehe Seite 568);
  - Änderung der Netzstruktur (siehe Seite 466).
- Je nach Lasttyp:
  - Versorgung der Schützspulen zwischen den Phasen;
  - Erhöhung der Trägheit der Motoren;
  - Verwendung von Lampen, die sofort wieder aufleuchten.

## Stromqualität (Fortsetzung)

### ↪ Frequenzabweichungen

Sie entstehen normalerweise aufgrund von Defekten der Generatormaschinensätze. Die Lösung besteht darin, statische Stromrichter oder unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV) einzusetzen.

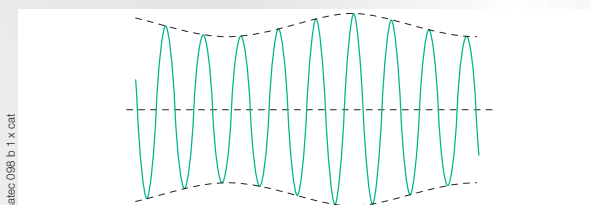
Frequenz des Niederspannungsnetzes ( $U_n = 230 \text{ V}$ ) und des Hochspannungsnetzes ( $1 < U_n \leq 35 \text{ kV}$ ) gemäß EN 50160 (Zeitraum von 10 Sekunden)

	Abweichungen	
	Verbundenes Netz	Nicht verbundenes Netz (stand-alone)
99,5 % des Jahres	50 Hz $\pm$ 1 %	50 Hz $\pm$ 2 %
100 % der Zeit	50 Hz $\pm$ 4 % bis -6 %	50 Hz $\pm$ 15 %

### ↪ Spannungsschwankungen und Flicker

#### • Definition

Unter Flicker versteht man ein störendes unangenehmes Flimmern des Lichts, ausgelöst durch plötzliche Spannungsschwankungen. Es ist für den Menschen unangenehm. Die plötzlichen Spannungsschwankungen rühren von Geräten her, deren Anschlussleistung sehr schnell schwankt: Lichtbogenöfen, Schweißmaschinen, Walzwerke...



#### • Lösungen

- Statische unterbrechungsfreie Stromversorgung (bei geringer Last).
- Strombegrenzungsdrössel oder Kondensatorbatterie im Lastkreis.
- Anschluss an einen speziellen HS-/ NS-Transformator (Lichtbogenöfen).

### ↪ Spannungssprünge

#### • Definition

Spannungssprünge kommen vor allen Dingen wegen sehr hoher und schneller Überspannungen vor, welche ausgelöst werden von:

- Blitz;
- Schalthandlungen oder Fehlern im Hoch- oder Niederspannungsnetz;
- Lichtbögen in Geräten;
- Umschaltungen induktiver Lasten;
- unter Spannung setzen sehr kapazitiver Kreise:
  - ausgedehnte Kabelnetze;
  - Maschinen, die mit einem Störschutz ausgestattet sind.

#### Spannungsschwankungen gemäß EN 50160 (für eine Woche)

x % der Anzahl der mittleren $U_n$ eff 10 Min.	Abweichungen
95 %	$U_n \pm 10 \%$
100 %	$U_n + 10 \%$ bis $U_n - 15 \%$

#### Rasche Spannungsschwankungen gemäß EN 50160

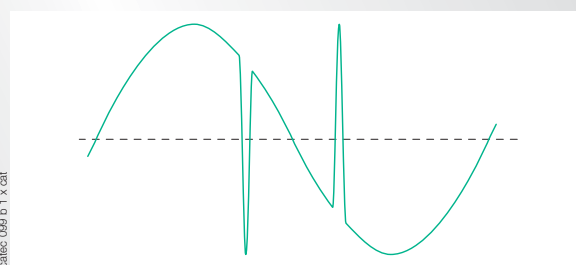
	Abweichungen
Allgemein	5 % von $U_n$
Gelegentlich	10 % von $U_n$

#### Flicker-Effekt gemäß EN 50160 (für eine Woche)

	Abweichungen
95 % der Zeit	$P_{LT} \leq 1$

#### Transitorische Überspannungen (aufgrund der Verschiebung des Punktes der verketteten Spannung)

	Abweichungen
Fehler Eingang Trafo	< 1,5 kV



	Abweichungen
Wert	allgemein < 6 kV
Anstiegszeit	von $\mu\text{s}$ bis x ms

#### • Auswirkungen

- Ungewolltes Auslösen der Schutzgeräte;
- Beschädigung elektronischer Geräte (Automatenkarten, Drehzahlregler...);
- Durchschlag der Kabelisolierung;
- Erhitzen und vorzeitige Alterung der Komponenten von EDV-Systemen.

#### • Lösungen

- Verwendung von Überspannungsableitern und Überspannungsbegrenzern;
- Erhöhung der Kurzschlussleistung der Quelle;
- Korrekte Durchführung der Erdung in den HS-/ NS-Trafostationen.

## Stromqualität (Fortsetzung)

### ➔ Harmonische Oberschwingungen

#### • Definition

Oberschwingungsströme oder -spannungen sind Störströme oder -spannungen des elektrischen Netzes. Sie verformen die Strom- oder Spannungswellen und können Folgendes auslösen:

- einen Anstieg des Effektivwertes des Stroms;
- der Stromfluss in einem Neutraleiter kann höher sein als der Phasenstrom;
- die Sättigung der Transformatoren;
- Störungen in den Schwachstromnetzen;
- ein ungewolltes Auslösen von Schutzgeräten...;
- verfälschte Messungen (Strom, Spannung, Energie...).

Oberschwingungsströme werden von Stromwandlern, Lichtbögen (Lichtbogenöfen, Schweißmaschinen, Leuchtstoffröhren oder Entladungslampen) und vor allen Dingen von statischen Gleich- und Stromrichtern (Leistungselektronik) verursacht. Lasten dieser Art werden verformende Last genannt (siehe unten). Oberschwingungsspannungen entstehen aufgrund des Flusses von Oberschwingungsströmen in den Impedanzen der Netze und der Transformatoren.

#### • Oberschwingungsspannungen

Für den Zeitraum einer Woche und 95 % der mittleren Oberschwingungsspannungen müssen 10 min unter den Werten der folgenden Tabelle liegen. Danach muss der Gesamtoberschwingungsgehalt unter 8 % liegen (einschließlich bis zur konventionellen Ordnung von 40).

Höchstwert der harmonischen Oberschwingungen am Einspeisungspunkt in % von  $U_n$ .

Ungerade Harmonische				Gerade Harmonische	
Nicht Vielfache von 3		Vielfache von 3			
Ordnung h	% UC	Ordnung h	% UC	Ordnung h	% UC
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,5	6 bis 24	0,5
13	3	21	0,5		
17	2				
19 bis 25	1,5				

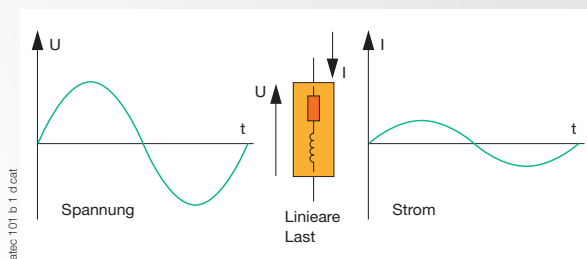


#### • Lösungen

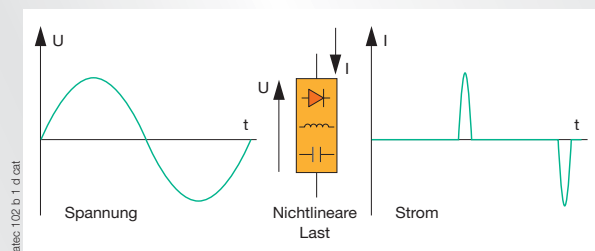
- Strombegrenzungsdrössel in Leitung.
- Verwendung von Gleichrichtern.
- Zurückstufung der Geräte.
- Erhöhung der Kurzschlussleistung.
- Versorgung der Störlasten durch eine statische unterbrechungsfreie Stromversorgung (siehe Seite 568).
- Verwendung von Filtern gegen harmonische Oberschwingungen.
- Erhöhung der Leiterquerschnitte.
- Überdimensionierung der Anlage.

#### • Lineare Last – verformende Last

Eine Last wird lineare Last genannt, wenn der sie durchfließende Strom die gleiche Form hat wie die Spannung:



Eine Last wird verformende Last genannt, wenn die Form des Stroms nicht mehr mit der Form der Spannung übereinstimmt:



Verformende Lasten führen zu Werten des Stroms im Neutraleiter, die viel höher sein können als die Werte des Phasenstroms.



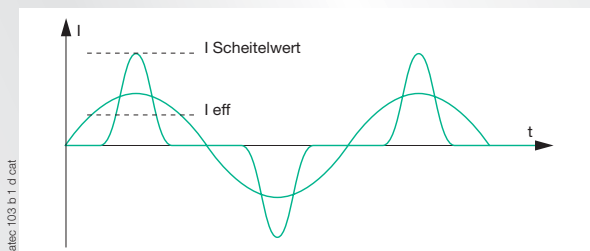
## Stromqualität (Fortsetzung)

### ➔ Harmonische Oberschwingungen (Fortsetzung)

#### • Scheitelfaktor (fc)

Im Falle von verformender Last wird die Verformung des Stroms durch den Scheitelfaktor gekennzeichnet.

$$f_c = \frac{I_{\text{Scheitelwert}}}{I_{\text{eff}}}$$



Durch harmonische Oberschwingungen verformte Spannung.

#### Beispiele für Werte des Scheitelfaktors:

- resistive Last (reine Sinuswelle):  $f_c = 1,414$ ;
- zentrale Datenverarbeitungseinheit: 2 bis 2,5;
- PC: 2,5 bis 3;
- Drucker: 2 bis 3.

Diese Werte des Scheitelfaktors zeigen, dass die Stromwelle sehr stark von der reinen Sinuswelle abweichen kann.

#### • Ordnung der harmonischen Oberschwingung

Die Frequenzen der harmonischen Oberschwingungen betragen ein Vielfaches der Netzfrequenz (50 Hz). Das Vielfache wird Ordnung der harmonischen Oberschwingung genannt.

**Beispiel:** Der harmonische Strom mit der Ordnung 5 (die 5. Netzharmonische) hat eine Frequenz von  $5 \times 50 \text{ Hz} = 250 \text{ Hz}$ . Der harmonische Strom mit der Ordnung 1 wird Grundschwingungsstrom genannt.

#### • Im Netz vorhandene harmonische Ströme

Der im Netz fließende Strom ist die Summe des rein sinusförmigen Stroms (genannt Grundschwingungsstrom) und einer gewissen Anzahl von harmonischen Strömen abhängig vom Lasttyp.

Tabelle A: Im Netz vorhandene harmonische Ströme

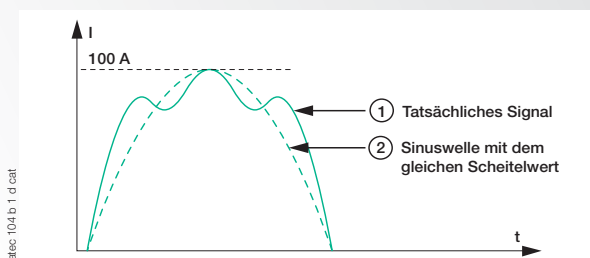
Quellen		Oberschwingungsordnung																			
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Gleichrichter	einpulsig	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
	zweipulsig		•		•		•		•		•		•		•		•		•		
	dreipulsig	•		•	•		•	•		•	•		•	•		•	•		•	•	
	sechspulsig				•		•				•		•				•		•		
	zwölfpulsig										•		•								
Entladungslampen			•		•		•		•		•		•		•		•		•		
Lichtbogenöfen			•		•		•		•		•		•		•		•		•		

**Beispiel:** Eine Entladungslampe erzeugt nur harmonische Ströme mit den Ordnungen 3, 5, 7, 9, 11 und 13. Die harmonischen Ströme mit geraden Ordnungen (2, 4, 6...) gibt es nicht.

#### • Störung der Messgeräte

Ferromagnetische Zeigermessgeräte (Amperemeter, Voltmeter...) sind dazu konstruiert, die sinusförmigen Größen einer gegebenen Frequenz (normalerweise 50 Hz) zu messen. Gleiches gilt für digitale Geräte mit Ausnahme von Geräten mit RMS-Messung. Die Anzeigen dieser Geräte werden im Falle eines von den harmonischen Oberschwingungen verzerrten Signals (siehe unten angegebenes Beispiel) verfälscht.

Nur die Geräte, die einen unverfälschten RMS-Wert (oder unverfälschten Effektivwert) angeben, integrieren die Verzerrungen des Signals und geben den tatsächlichen Effektivwert an (Beispiel: DIRIS).



Störung der Messung.

#### Beispiel:

Das Signal 1 wird gestört durch die Präsenz einer harmonischen Oberschwingung 3. Der Effektivwert einer Sinuswelle mit dem gleichen Scheitelwert wäre:

$$\frac{100 \text{ A}}{\sqrt{2}} = 70 \text{ A}$$

## Stromqualität (Fortsetzung)

### ➔ Harmonische Oberschwingungen (Fortsetzung)

#### • Berechnung des Effektivstroms

Normalerweise erfolgt die Berechnung des Effektivstroms nur für die 10 bis 20 ersten bedeutsamen Oberschwingungsströme.

##### Pro Phase

$$I_{\text{eff}} = \sqrt{I_n^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_k^2}$$

$I_n$ : Grundsicherungsstrom der Störquelle  
 $I_2, I_3, \dots$ : Oberschwingungsströme mit der Ordnung 2, 3...

##### Beim Neutraleiter

$$I_{\text{eff N-Leiter}} = \sqrt{I_{N3}^2 + I_{N9}^2 + \dots}$$

Die harmonischen Ströme mit ungeraden Ordnungen, einem Vielfachen von 3, summieren sich.

Die Effektivwerte der harmonischen Ströme  $I_2, I_3$  usw. sind schwer zu ermitteln. (Bitte wenden Sie sich an uns unter der genauen Angabe des Lasttyps, des Scheitelfaktors, der Leistung der Last und der Netzspannung.)

#### Beispiel

Berechnung des Phasenstroms und des Neutraleiter-Stroms in einem Netz, das durch einen zweipulsigen Gleichrichter mit doppeltem Stromwechsel gespeist wird.

- Scheitelfaktor: 2,5.
- Last 180 kVA: Effektivstrom 50 Hz entspricht:

$$\frac{180 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 400 \text{ V}} = 260 \text{ A}$$

- Berechnete harmonische Oberschwingungen:

$I_2 = 182 \text{ A} \quad 50 \text{ Hz};$

$I_3 = 146 \text{ A} \quad 150 \text{ Hz};$

$I_5 = 96 \text{ A} \quad 250 \text{ Hz};$

$I_7 = 47 \text{ A} \quad 350 \text{ Hz};$

$I_9 = 13 \text{ A} \quad 450 \text{ Hz}.$

- Harmonische Ströme mit höherer Ordnung sind belanglos.
- Strom in einer Phase:

$$I_p = \sqrt{(182)^2 + (146)^2 + \dots} = 260 \text{ A}$$

Strom im Neutraleiter:

$$I_{\text{N-Leiter}} = \sqrt{(3 \times 146)^2 + (3 \times 13)^2} = 440 \text{ A}$$

Der Strom im Neutraleiter ist höher als der Strom pro Phase, was bei der Wahl der Anschlussquerschnitte sowie der Anlage zu berücksichtigen ist.

#### • Klirrfaktor und Gesamtoberschwingungsgehalt

$$T = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_k^2}}{I_{\text{eff}}}$$

## Verbesserung der Stromqualität

### ➔ Ersatzstromversorgungsanlagen

Die verschiedenen Arten von Ersatzstromversorgungsanlagen werden in der folgenden Tabelle beschrieben:

Art der Anlage	Beseitigte Störungen
Rotierende Anlagen, die durch das Netz gespeist werden	<ul style="list-style-type: none"> <li>Abschalten &lt; 500 ms (je nach Trägheitsgrad).</li> <li>Spannungsabfall.</li> <li>Frequenzschwankungen.</li> </ul>
Statische USV-Anlagen	Wirksam gegen alle Störungen außer gegen langes Abschalten > 15 Min. bis zu 1 Stunde (je nach installierter Leistung und der Leistung des Wechselrichters).
Netzunabhängige Generatormaschinensätze	In allen Fällen wirksam, aber mit einer Unterbrechung der Versorgung während des Umschaltens Normal/Ersatz.
Wechselrichter + netzunabhängige Aggregate	Diese Lösung deckt alle erwähnten Störungsarten ab (siehe Seite 568).

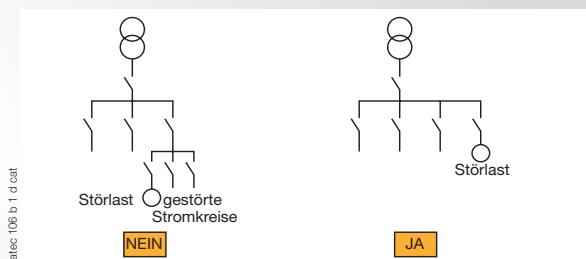
Die Ersatzstromversorgungsanlagen mit Generatormaschinensätzen können in verschiedene Kategorien oder gemäß der vor Wiederaufnahme der Last erforderlichen Verzögerung in Kategorien eingeordnet werden:

Kategorie	Reaktionszeit	Generatoranlauf	Bemerkungen
D	nicht spezifiziert	manuell	Anstiegszeit für Drehzahl und Leistung ist von Umgebungs- und Motortemperatur abhängig
C	Lange Abschaltung $\leq 15$ s	Bei Netzverlust	Erhaltung des vorgeheizten Zustands des Aggregats, um ein sofortiges Anlaufen zu gewährleisten
B	Kurze Abschaltung $\leq 1$ s	Ständige Rotation	Rasches Anlaufen des Motors dank der Motorträgheit. Motor vorgeheizt
A	Ohne Abschaltung	An Quelle gekoppelt	Unverzögliche Lastaufnahme bei Unterbrechung der Netzversorgung

### ➔ Vorsichtsmaßnahmen bei der Installation

#### • Isolieren der Störlasten

- Durch ein getrenntes Netz, auf Basis eines spezifischen Hochspannungseingangs (für große Lasten);
- Durch die Unterteilung der Stromkreise: Der Fehler in einem Stromkreis darf einen anderen Stromkreis so wenig wie möglich beeinträchtigen;
- Durch die Abtrennung von Stromkreisen mit störender Last. Diese Stromkreise werden von den anderen Stromkreisen auf dem höchstmöglichen Niveau der Niederspannungsanlage getrennt, um von der Abschwächung der Störungen durch die Impedanz der Kabel zu profitieren.



#### • Auswahl einer passenden Erdungsart

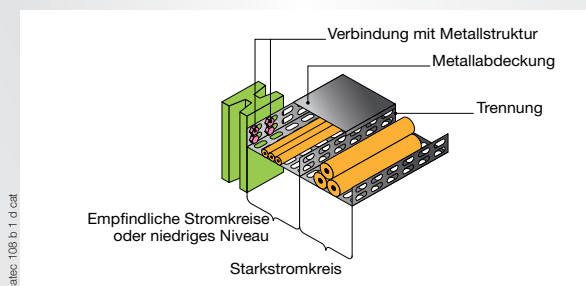
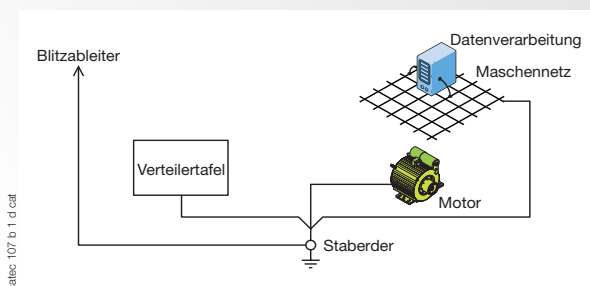
Das IT-Netz garantiert eine Kontinuität des Betriebs, indem es z. B. die Öffnung des Stromkreises aufgrund der ungewollten Auslösung einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung in Folge einer vorübergehenden Störung vermeiden wird.

#### • Garantie der Selektivität der Schutzarten

Die Selektivität der Schutzarten erlaubt es, das Abschalten auf den Fehlerkreis zu beschränken (siehe Seiten 508 bis 511 und 529).

#### • Sorgfältige Ausführung des Körper-Netzes (Verbindung der Körper)

- Durch die Errichtung von eigenen Körper-Netzen für bestimmte Anwendungen (Datenverarbeitung...); jedes Netz ist vermascht, um die bestmögliche Äquipotenzialität zu erreichen (der kleinste Widerstand zwischen den verschiedenen Punkten des Körper-Netzes);
- Durch die sternförmige Verbindung dieser Körper miteinander, so nah wie möglich am Blitzableiter;
- Durch Verwendung von Kabelpritschen, Kanälen, Rohren und metallischen Kabelschächten, die regelmäßig mit der Masse verbunden und untereinander vermascht sind;
- Durch Trennen der störenden Stromkreise von den empfindlichen Stromkreisen, die auf denselben Kabelpritschen verlegt sind;
- Durch Verwendung einer größtmöglichen Anzahl von mechanischen Körper (Schränke, Strukturen...) zur Realisierung von äquipotenzialen Körpern.
















## Externe Einwirkungen

### ➤ IP-Schutzart

Definiert wird die Schutzart durch zwei Ziffern und eventuell durch einen zusätzlichen Buchstaben. So schreibt man zum Beispiel: IP55 oder IP xxB (dabei steht x für: indifferenter Wert).

Die Ziffern und die zusätzlichen Buchstaben werden wie folgt definiert:

1. Ziffer Schutz gegen das Eindringen von Fremdkörpern			2. Ziffer Schutz gegen das Eindringen von Flüssigkeiten			Zusätzlicher Buchstabe (2)	IP-Schutzart  Verkürzte Beschreibung
IP	Tests		IP	Tests			
0		Kein Schutz	0		Kein Schutz		
1		Schutz gegen feste Fremdkörper mit einem Durchmesser 50 mm oder größer	1		Schutz gegen senkrecht fallendes Tropfwasser (Kondensation)	A	Schutz gegen den Zugang mit dem Handrücken
2 <sup>(1)</sup>		Schutz gegen feste Fremdkörper mit einem Durchmesser 12 mm oder größer	2		Schutz gegen Tropfwasser bei einer Neigung bis zu 15°	B	Schutz gegen den Zugang mit einem Finger
3		Schutz gegen feste Fremdkörper mit einem Durchmesser 2,5 mm oder größer	3		Schutz gegen Regenwasser bei einer Neigung von bis zu 60°	C	Schutz gegen den Zugang mit einem Werkzeug
4		Schutz gegen feste Fremdkörper mit einem Durchmesser 1 mm oder größer	4		Schutz gegen Spritzwasser aus allen Richtungen	D	Schutz gegen den Zugang mit einem Draht
5		Schutz gegen Staubablagerung (keine schädlichen Ablagerungen)	5		Schutz gegen Strahlwasser aus einer Düse und aus allen Richtungen		
6		Vollkommen geschützt gegen Staubeintritt	6		Schutz gegen starkes Strahlwasser (vergleichbar mit Sturzsee)		
Die ersten beiden Kennziffern werden in den Normen NF EN 60529, IEC 60529 und DIN 40050 gleichlautend definiert.			7		Schutz gegen zeitweiliges Eintauchen		

#### Anmerkung:

- (1) Die Ziffer 2 wird durch zwei Versuche bestimmt:
- kein Eindringen einer Kugel mit einem Durchmesser von 12,5 mm;
  - kein Eindringen eines Versuchsstiftes mit einem Durchmesser von 12 mm.
- (2) Der zusätzliche Buchstabe definiert ausschließlich den Zugang zu den gefährlichen Teilen.

#### Beispiel

Ein Gerät besitzt eine Öffnung, die den Zugang mit einem Finger ermöglicht. Es wird dann nicht in die Gruppe IP2x eingestuft. Wenn die mit dem Finger zugänglichen Teile jedoch keine Gefahren mit sich bringen (wie z. B. elektrischer Schlag, Verbrennung...) kann das Gerät unter xxB eingestuft werden.

### ➤ Stufen des Schutzes gegen mechanische Stöße

In Frankreich ersetzte die IK-Stufe die dritte Ziffer des IP-Codes, die es in einigen französischen Normen NF EN62262/C20015 (April 2004) gab.

#### Zuordnung IK / AG

Stoßenergie (J)	0	0,15	0,2	0,35	0,5	0,7	1	2	5	6	10	20
IK-Stufe	0	1	2	3	4	5	6	7	8		9	10
AG-Klassifizierung (NF C 15100)			AG1					AG2	AG3			AG4
Ehemalige 3. IP-Ziffer	0		1		3			5		7		9

# Überlastströme

„Es sind Schutzvorrichtungen vorzusehen, die alle Überlastströme in den Leitungen eines Stromkreises unterbrechen, ehe diese eine für die Isolation, die Verbindungen, die Endverschlüsse sowie die Umgebung der Leitungen schädliche Erwärmung hervorrufen können.“ (NF C 15100 § 433, IEC 60364).

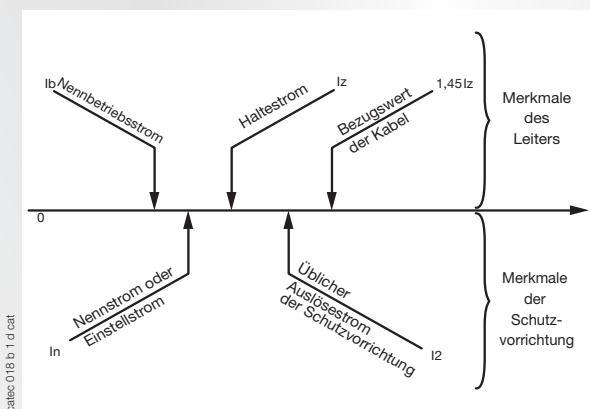
Hierfür werden die folgenden Ströme definiert:

- $I_b$ : Nennbetriebsstrom des Stromkreises;
- $I_z$ : zulässige Strombelastbarkeit des Leiters;
- $I_n$ : zugeordneter Strom der Schutzvorrichtung (Bemessungsstrom);
- $I_2$ : Strom, der das effektive Funktionieren der Schutzvorrichtung gewährleistet; in der Praxis wird  $I_2$  gleichgesetzt:
  - mit dem konventionellen Auslösestrom für Leistungsschalter;
  - mit dem konventionellen Schmelzstrom für Sicherungen des Typs gG.

Die Leiter sind geschützt, wenn folgende beide Bedingungen erfüllt sind:

$$1: I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$2: I_2 \leq 1,45 I_z$$



## Beispiel

Versorgung einer Last von 150 kW bei 400 V Drehstrom.

$I_b = 216 \text{ A}$  Strom entsprechend der Last.

$I_n = 250 \text{ A}$  Nenngröße der Sicherung gG, die den Stromkreis schützt.

$I_z = 298 \text{ A}$  Maximal zulässiger Strom für ein Kabel 3 x 95 mm<sup>2</sup> je nach Verlegeart und den äußeren Bedingungen, die auf den folgenden Seiten beschrieben werden.

$I_2 = 400 \text{ A}$  Schmelzstrom der Sicherung 250 A (1,6 x 250 A = 400 A)

$$1,45 I_z = 1,45 \times 298 = 432 \text{ A.}$$

Die Bedingungen 1 und 2 sind erfüllt:

$$I_b = 216 \text{ A} \leq I_n = 250 \text{ A} \leq I_z = 298 \text{ A}$$

$$I_2 = 400 \text{ A} \leq 1,45 I_z = 432 \text{ A.}$$

## Ermittlung des Stroms $I_2$

Strom, der das effektive Funktionieren der Schutzvorrichtungen gewährleistet:

Sicherungen gG (IEC 60269-2-1)	Strom $I_2$
Nenngröße $\leq 4 \text{ A}$	2,1 $I_n$
4 A < Nenngröße < 16 A	1,9 $I_n$
<b>Nenngröße <math>\geq 16 \text{ A}</math></b>	<b>1,6 <math>I_n</math></b>
Industrieller Leistungsschalter	1,45 $I_n$



## Ermittlung der zulässigen Strombelastbarkeit $I_z$ (gemäß IEC 60364)

### ☞ Zulässige Ströme in den Kabeln

Die untenstehende Tabelle gibt den zulässigen Wert der maximal zulässigen Strombelastbarkeit  $I_z$  für jeden Leiterquerschnitt von Kupfer- und Aluminiumkabeln an. Er muss in Abhängigkeit der folgenden Faktoren geändert werden:

- $K_m$ : Faktor der Verlegeart (siehe Seite 470)
- $K_n$ : Faktor, der die Anzahl der zusammen verlegten Kabel berücksichtigt (siehe Seite 470)
- $K_t$ : Faktor, der die Umgebungstemperatur und die Kabelart berücksichtigt (siehe Seite 472).

Die Faktoren  $K_m$ ,  $K_n$  und  $K_t$  werden in Abhängigkeit der Installationskategorie der Kabel ermittelt: B, C, E oder F (siehe Seite 472).

Der erforderliche Leiterquerschnitt ergibt sich wie folgt:

$$I_z \geq I'_z = \frac{I_b}{K_m \times K_n \times K_t}$$

Die Kabel werden in zwei Gruppen eingeteilt: PVC und PR (siehe Tabelle Seite 472). Die folgende Zahl gibt die Anzahl der Kabel unter Last an. Die mit Elastomer isolierten Kabel (Kautschuk, Butylkautschuk...) gehören zur Gruppe PR.

### Beispiel

PVC 3 bezeichnet ein Kabel der Gruppe PVC mit 3 Leitern unter Last (3 Phasen oder 3 Phasen + Neutralleiter).

Tabelle A

Kategorie		$I_z$ Maximal zulässiger Strom in den Leitern (A)							
B	PVC3	PVC2		PR3		PR2			
C		PVC3		PVC2	PR3		PR2		
E			PVC3		PVC2	PR3		PR2	
F				PVC3		PVC2	PR3		PR2
Querschnitt Kupferleiter (mm <sup>2</sup> )									
1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26	
<b>2,5</b>	<b>21</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>27</b>	<b>30</b>	<b>31</b>	<b>33</b>	<b>36</b>	
4	28	32	34	36	40	42	45	49	
<b>6</b>	<b>36</b>	<b>41</b>	<b>43</b>	<b>48</b>	<b>51</b>	<b>54</b>	<b>58</b>	<b>63</b>	
10	50	57	60	63	70	75	80	86	
<b>16</b>	<b>68</b>	<b>76</b>	<b>80</b>	<b>85</b>	<b>94</b>	<b>100</b>	<b>107</b>	<b>115</b>	
25	89	96	101	112	119	127	138	149	161
<b>35</b>	<b>110</b>	<b>119</b>	<b>126</b>	<b>138</b>	<b>147</b>	<b>158</b>	<b>169</b>	<b>185</b>	<b>200</b>
50	134	144	153	168	179	192	207	225	242
<b>70</b>	<b>171</b>	<b>184</b>	<b>196</b>	<b>213</b>	<b>229</b>	<b>246</b>	<b>268</b>	<b>289</b>	<b>310</b>
95	207	223	238	258	278	298	328	352	377
<b>120</b>	<b>239</b>	<b>259</b>	<b>276</b>	<b>299</b>	<b>322</b>	<b>346</b>	<b>382</b>	<b>410</b>	<b>437</b>
150		299	319	344	371	395	441	473	504
<b>185</b>		<b>341</b>	<b>364</b>	<b>392</b>	<b>424</b>	<b>450</b>	<b>506</b>	<b>542</b>	<b>575</b>
240		403	430	461	500	538	599	641	679
<b>300</b>		<b>464</b>	<b>497</b>	<b>530</b>	<b>576</b>	<b>621</b>	<b>693</b>	<b>741</b>	<b>783</b>
400					656	754	825		940
<b>500</b>					<b>749</b>	<b>868</b>	<b>946</b>		<b>1083</b>
630					855	1005	1088		1254
Querschnitt Aluminiumleiter (mm <sup>2</sup> )									
2,5	16,5	18,5	19,5	21	23	24	26	28	
<b>4</b>	<b>22</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>28</b>	<b>31</b>	<b>32</b>	<b>35</b>	<b>38</b>	
6	28	32	33	36	39	42	45	49	
<b>10</b>	<b>39</b>	<b>44</b>	<b>46</b>	<b>49</b>	<b>54</b>	<b>58</b>	<b>62</b>	<b>67</b>	
16	53	59	61	66	73	77	84	91	
<b>25</b>	<b>70</b>	<b>73</b>	<b>78</b>	<b>83</b>	<b>90</b>	<b>97</b>	<b>101</b>	<b>108</b>	<b>121</b>
35	86	90	96	103	112	120	126	135	150
<b>50</b>	<b>104</b>	<b>110</b>	<b>117</b>	<b>125</b>	<b>136</b>	<b>146</b>	<b>154</b>	<b>164</b>	<b>184</b>
70	133	140	150	160	174	187	198	211	237
<b>95</b>	<b>161</b>	<b>170</b>	<b>183</b>	<b>195</b>	<b>211</b>	<b>227</b>	<b>241</b>	<b>257</b>	<b>289</b>
120	188	197	212	226	245	263	280	300	337
<b>150</b>		<b>227</b>	<b>245</b>	<b>261</b>	<b>283</b>	<b>304</b>	<b>324</b>	<b>346</b>	<b>389</b>
185		259	280	298	323	347	371	397	447
<b>240</b>		<b>305</b>	<b>330</b>	<b>352</b>	<b>382</b>	<b>409</b>	<b>439</b>	<b>470</b>	<b>530</b>
300		351	381	406	440	471	508	543	613
<b>400</b>					<b>526</b>	<b>600</b>	<b>663</b>		<b>740</b>
500					610	694	770		856
<b>630</b>					<b>711</b>	<b>808</b>	<b>899</b>		<b>996</b>

## Ermittlung der zulässigen Strombelastbarkeit $I_z$ (gemäß IEC 60364) (Fortsetzung)

### ➔ Faktor $K_m$

Kategorie	Verlegeart	$K_m$			
		(a)	(b)	(c)	(d)
B	1. In wärmedämmenden Wänden	0,77	-	0,70	0,77
	2. Montage auf Putz, eingelassen in eine Wand oder in eine Profilschiene	1	-	0,9	-
	3. Im Hohlraum oder unter der eingezogenen Decke	0,95	-	0,865	0,95
	4. In Kanälen	0,95	0,95	-	0,95
	5. In Kabelkanälen, Simsen, Sockeln	-	1	-	0,9
C	1. Ein- oder mehradrige Kabel ohne mechanischen Schutz direkt in einer Wand verlegt	-	-	-	1
	2. Kabel befestigt	-	-	-	1
	• auf einer Mauer	-	-	-	1
	• an der Decke	-	-	-	0,95
	3. Blanke Leitungen oder isolierte Leitungen auf Isolator	-	1,21	-	-
	4. Kabel auf nicht perforierten Kabelpritschen	-	-	-	1
E oder F	Mehradrige Kabel oder einadrige Kabel auf	-	-	-	1
	1. Perforierten Kabelpritschen	-	-	-	1
	2. Konsolen, Leitern	-	-	-	1
	3. Schellen mit Abstand zur Wand	-	-	-	1
	4. An einem Tragkabel aufgehängte Kabel	-	-	-	1

(a) Isolierte Leitung, die in einem Kanal verlegt ist.

(b) Isolierte Leitung, die nicht in einem Kanal verlegt ist.

(c) Kabel, das in einem Kanal verlegt ist.

(d) Kabel, das nicht in einem Kanal verlegt ist.

### ➔ Faktor $K_n$

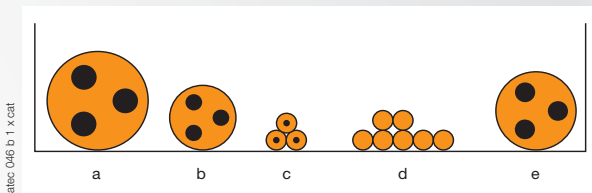
Tabelle A

Kategorie	Anordnung dicht nebeneinander liegender Kabel	Berichtigungsfaktor $K_n$											
		Anzahl der Stromkreise oder der mehradrigen Kabel											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
B, C	Eingelassen oder versenkt in den Wänden	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50	0,45	0,40	0,40
C	Einfache Schicht auf den Mauern oder den Dielen oder den nicht perforierten Platten	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	Kein weiterer Reduktionsfaktor für mehr als 9 Kabel		
	Einfache Schicht an der Decke	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61			
E, F	Einfache Schicht auf perforierten horizontalen Platten oder vertikalen Platten	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72			
	Einfache Schicht auf Kabelleitern, Konsolen usw.	1,00	0,88	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78			

Wenn die Kabel in mehreren Schichten verlegt sind, muss  $K_n$  multipliziert werden mit:

Tabelle B

Anzahl der Schichten	2	3	4 und 5	6 bis 8	9 und mehr
Faktor	0,80	0,73	0,70	0,68	0,66



### Beispiel

Auf einer perforierten Platte sind verteilt:

- 2 dreipolige Kabel (2 Stromkreise a und b);
- 1 Satz mit 3 einpoligen Kabeln (1 Stromkreis c);
- 1 Satz bestehend aus 2 Leitungen pro Phase (2 Stromkreise d);
- 1 dreipoliges Kabel, für das  $K_n$  gesucht wird (1 Stromkreis e).

Die Gesamtanzahl der Stromkreise liegt bei 6. Die Vergleichsmethode ist die Methode E (perforierte Platte).  $K_n = 0,55$ .

### • NF C 15100 § 523.6

Allgemein wird empfohlen, so wenige Kabel wie möglich parallel zu verlegen. In jedem Fall darf ihre Anzahl vier nicht übersteigen. Zudem sind vorgefertigte Leitungen vorzuziehen.

**Anmerkung:** Besonders interessante Methoden zum Schutz von parallelen Leitern gegen Überlastungen durch Sicherungen finden sich in der Norm IEC 60364-4-47.

Ermittlung der zulässigen Strombelastbarkeit  $I_z$  (gemäß IEC 60364) (Fortsetzung)

## Verlegearten

Kategorie B-1							
Isolierte Leitungen im Installationsrohr in wärmedämmende Wände eingelassen.	Mehradrige Kabel in Installationsrohr in wärmedämmende Wände eingelassen.	Isolierte Leitungen im Installationsrohr auf Putz verlegt.	Isolierte ein- oder mehradrige Leitungen im Installationsrohr auf Putz verlegt.	Isolierte Leitungen im Installationsrohr auf Putz verlegt.	Ein- oder mehradrige Kabel im Installationsrohr auf Putz verlegt.	Isolierte Leitungen im Installationsrohr in eine Wand eingelassen.	Ein- oder mehradrige Kabel im Installationsrohr in eine Wand eingelassen.
Kategorie B-2							
Isolierte Leitungen oder ein- oder mehradrige Kabel im an der Wand befestigten Elektroinstallationskanal: horizontaler Verlauf.	Isolierte Leitungen oder ein- oder mehradrige Kabel im an der Wand befestigten Elektroinstallationskanal: vertikaler Verlauf.	Isolierte Kabel in Kabelkanälen in Dielen eingelassen.	Ein- oder mehradrige Kabel in Kabelkanälen in Dielen eingelassen.	Isolierte Leitungen in aufgehängten Kabelkanälen.	Ein- oder mehradrige Kabel in aufgehängten Kabelkanälen.		
Kategorie B-3							
Ein- oder mehradrige Kabel in Hohlräumen.	Isolierte Leitungen in Hohlräumen.	Ein- oder mehradrige Kabel im Installationsrohr in Hohlräumen.	Isolierte Leitungen im Profil-Installationsrohr in Hohlräumen.	Ein- oder mehradrige Kabel im Profil-Installationsrohr in Hohlräumen.	Isolierte Leitungen im Profil-Installationsrohr in den Bau eingefügt.	Ein- oder mehradrige Kabel im Profil-Installationsrohr in den Bau eingefügt.	Ein- oder mehradrige Kabel: <ul style="list-style-type: none"><li>• in eingezogenen Decken</li><li>• in abgehängten Decken.</li></ul>
Kategorie B-4				Kategorie B-5			
Mehradrige Kabel direkt in wärmedämmende Wände eingelassen.	Isolierte Leitungen in Installationsrohr oder mehradrige Kabel in geschlossenen Kanälen mit horizontalem oder vertikalem Verlauf.	Isolierte Leitungen in Installationsrohr in belüfteten Kanälen.	Ein- oder mehradrige Kabel in offenen oder belüfteten Kanälen.	Isolierte Leitungen in Sims.	Isolierte Leitungen oder ein- oder mehradrige Kabel in gerillten Sockeln.	Isolierte Leitungen in Kanalzügen oder ein- oder mehradrige Kabel in den Türstockverkleidungen.	Isolierte Leitungen in Kanalzügen oder ein- oder mehradrige Kabel in den Fenstereinfassungen.
Kategorie C-1		Kategorie C-2		Kategorie C-3		Kategorie C-4	
Ein- oder mehradrige Kabel ohne zusätzlichen mechanischen Schutz in Wände eingelassen.	Ein- oder mehradrige Kabel mit zusätzlichem mechanischem Schutz in Wände eingelassen.	Ein- oder mehradrige Kabel mit oder ohne Bandagierung: auf einer Mauer befestigt.	Ein- oder mehradrige Kabel mit oder ohne Bandagierung: an einer Decke befestigt.	Blanke oder isolierte Leitungen auf Isolatoren.		Ein- oder mehradrige Kabel auf Kabelpritschen oder nicht perforierten Platten.	
Kategorien E - 1 <sup>(1)</sup> und F - 1 <sup>(2)</sup>		Kategorien E - 2 <sup>(1)</sup> und F - 2 <sup>(2)</sup>		Kategorien E - 3 <sup>(1)</sup> und F - 3 <sup>(2)</sup>		Kategorien E - 4 <sup>(1)</sup> und F - 4 <sup>(2)</sup>	
Auf Kabelpritschen oder perforierten Platten, mit horizontalem oder vertikalem Verlauf.	Auf Konsolen.	Auf Kabelleitern.	Mit Schellen befestigt und mit Abstand zur Wand.	Ein- oder mehradrige Kabel an einem Tragkabel aufgehängt oder selbsttragende Kabel.			

(1) Mehradrige Kabel.

(2) Einadrige Kabel.

## Ermittlung der zulässigen Strombelastbarkeit $I_z$ (gemäß IEC 60364) (Fortsetzung)

### ↪ Faktor $K_t$

Tabelle C

Umgebungstemperatur (°C)	Isoliermaterial		
	Elastomere (Kautschuk)	PVC	PR/EPR
10	1,29	1,22	1,15
<b>15</b>	<b>1,22</b>	<b>1,17</b>	<b>1,12</b>
20	1,15	1,12	1,08
<b>25</b>	<b>1,07</b>	<b>1,06</b>	<b>1,04</b>
35	0,93	0,94	0,96
<b>40</b>	<b>0,82</b>	<b>0,87</b>	<b>0,91</b>
45	0,71	0,79	0,87
<b>50</b>	<b>0,58</b>	<b>0,71</b>	<b>0,82</b>
55	-	0,61	0,76
<b>60</b>	-	<b>0,50</b>	<b>0,71</b>
65	-	-	0,65
<b>70</b>	-	-	<b>0,58</b>

### Beispiel

Für ein mit PVC isoliertes Kabel, das sich an einem Ort befindet, wo die Umgebungstemperatur 40 °C erreicht.  $K_t = 0,87$ .

### ↪ Kennzeichnung der Kabel

Tabelle A:

Gegenüberstellung der alten und der neuen Bezeichnung (Kabel)

Alte Bezeichnung (national Norm)	Neue Bezeichnung (harmonisierte Norm)
U 500 VGV	A 05VV - U (oder R)
<b>U 1000 SC 12 N</b>	<b>H 07 RN - F</b>
U 500 SV 0V	A 05 VV - F
<b>U 500 SV 1V</b>	

Tabelle B: Klassifikation der Kabel

PR-Kabel		PVC-Kabel	
U 1000	R 12 N	FR-N 05	W-U, R
<b>U 1000</b>	<b>R2V</b>	<b>FR-N 05</b>	<b>W-AR</b>
U 1000	RVFV	FR-N 05	VL2V-U, R
<b>U 1000</b>	<b>RGPFV</b>	<b>FR-N 05</b>	<b>VL2V-AR</b>
H 07	RN-F	H 07	VH2-F
<b>FR-N 07</b>	<b>RN-F</b>	<b>H 07</b>	<b>VVD3H2-F</b>
A 07	RN-F	H 05	VV-F
<b>FR-N 1</b>	<b>X1X2</b>	<b>H 05</b>	<b>VH2-F</b>
FR-N 1	X1G1	FR-N 05	VV5-F
<b>FR-N 1</b>	<b>X1X2Z4X2</b>	<b>FR-N 05</b>	<b>VVC4V5-F</b>
FR-N 1	X1G1Z4G1	A 05	VV-F
<b>FR-N 07</b>	<b>X4X5-F</b>	<b>A 05</b>	<b>VH2-F</b>
0,6/1	verdrillt		
<b>FR-N 1</b>	<b>XDV-AR, AS, AU</b>		
H 05	RN-F		
<b>A 05</b>	<b>RN-F</b>		
H 05	RR-F		
<b>A 05</b>	<b>RR-F</b>		

### Beispiele

Es soll eine Dreiphasenlast mit Neutralleiter mit einem Nennstrom von 80 A (also  $I_b = 80$  A) gespeist werden. Das verwendete Kabel des Typs U 1000 R2V ist auf einer perforierten Platte zusammen mit drei anderen Kreisen verlegt, die Umgebungstemperatur ist 40 °C.

$I_z$  muss wie folgt aussehen:

$$I_z \geq I'_z = \frac{I_b}{K_m \times K_n \times K_t}$$

### Ermittlung von $I'_z$

- Verlegeart: E, also  $K_m = 1$  (siehe Tabelle auf Seite 470)
- Gesamtzahl der Stromkreise: 4, also  $K_n = 0,77$  (siehe Tabelle A auf Seite 470)
- Umgebungstemperatur: 40 °C, also  $K_t = 0,91$  (siehe Tabelle C).

Somit:

$$I'_z = \frac{80 \text{ A}}{1 \times 0,77 \times 0,91} = 114 \text{ A}$$

### Ermittlung von $I_z$

Das Kabel U 1000 R2V ist ein PR-Kabel (siehe Tabelle B). Die Anzahl der Leiter unter Last beträgt 3. Man muss also in der Spalte PR3 der Tabelle A auf der Seite 469 nachsehen, die der Kategorie E entspricht.

Es muss der nach dem  $I'_z$  nächst höhere  $I_z$  ausgewählt werden. Also:  $I_z = 127$  A, was einem Kupferkabel von  $3 \times 25 \text{ mm}^2$ , geschützt durch eine Sicherung gG von 100 A, oder einem Aluminiumkabel von  $3 \times 35 \text{ mm}^2$ , geschützt durch eine Sicherung gG von 100 A, entspricht.

## Schutz der Leitungen gegen Überlast durch Sicherungen gG

Die Spalte  $I_z$  gibt den Wert der maximal zulässigen Strombelastbarkeit für jeden Leiterquerschnitt von Kupfer- und Aluminiumkabeln gemäß der Norm IEC 60364 an.

Die Spalte F gibt die Nennstromstärke der Sicherung gG in Verbindung mit dem Leiterquerschnitt und dem Kabeltyp an.

Die Kategorien B, C, E und F entsprechen den verschiedenen Kabelverlegearten (*siehe Seite 471*).

Die Kabel sind in zwei Gruppen eingeteilt: PVC und PR (*siehe Tabelle Seite 472*). Die darauffolgende Zahl gibt die Anzahl der Leitungen unter Last an (PVC 3 steht für ein Kabel der Gruppe PVC mit 3 Leitern unter Last: 3 Phasen oder 3 Phasen + Neutralleiter).

**Beispiel:** ein Kupferkabel PR3 mit 25 mm<sup>2</sup> installiert in der Kategorie E ist auf 127 A begrenzt und wird durch eine Sicherung von 100 A gG geschützt.

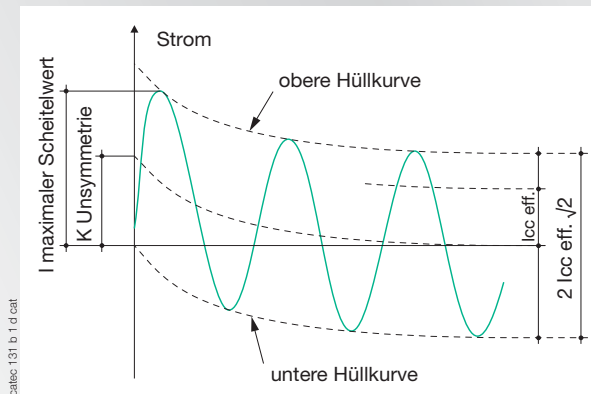
Kategorie		Zulässige Strombelastbarkeit ( $I_z$ ) in Verbindung mit Sicherungsschutz (F)																	
B	PVC3	PVC2						PR3				PR2							
C		<b>PVC3</b>						<b>PVC2</b>	<b>PR3</b>					<b>PR2</b>					
E				PVC3					PVC2		PR3				PR2				
F						<b>PVC3</b>					<b>PVC2</b>		<b>PR3</b>				<b>PR2</b>		
Leiterquerschnitt S (mm <sup>2</sup> )																			
Kupfer	$I_z$	F	$I_z$	F	$I_z$	F	$I_z$	F	$I_z$	F	$I_z$	F	$I_z$	F	$I_z$	F	$I_z$	F	
1,5	15,5	10	17,5	10	18,5	16	19,5	16	22	16	23	20	24	20	26	20			
<b>2,5</b>	<b>21</b>	<b>16</b>	<b>24</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>20</b>	<b>27</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>25</b>	<b>31</b>	<b>25</b>	<b>33</b>	<b>25</b>	<b>36</b>	<b>32</b>			
4	28	25	32	25	34	25	36	32	40	32	42	32	45	40	49	40			
<b>6</b>	<b>36</b>	<b>32</b>	<b>41</b>	<b>32</b>	<b>43</b>	<b>40</b>	<b>46</b>	<b>40</b>	<b>51</b>	<b>40</b>	<b>54</b>	<b>50</b>	<b>58</b>	<b>50</b>	<b>63</b>	<b>50</b>			
10	50	40	57	50	60	50	63	50	70	63	75	63	80	63	86	63			
<b>16</b>	<b>68</b>	<b>50</b>	<b>76</b>	<b>63</b>	<b>80</b>	<b>63</b>	<b>85</b>	<b>63</b>	<b>94</b>	<b>80</b>	<b>100</b>	<b>80</b>	<b>107</b>	<b>80</b>	<b>115</b>	<b>100</b>			
25	89	80	96	80	101	80	112	100	119	100	127	100	138	125	149	125	161	125	
<b>35</b>	<b>110</b>	<b>100</b>	<b>119</b>	<b>100</b>	<b>126</b>	<b>100</b>	<b>138</b>	<b>125</b>	<b>147</b>	<b>125</b>	<b>158</b>	<b>125</b>	<b>171</b>	<b>125</b>	<b>185</b>	<b>160</b>	<b>200</b>	<b>160</b>	
50	134	100	144	125	153	125	168	125	179	160	192	160	207	160	225	200	242	200	
<b>70</b>	<b>171</b>	<b>125</b>	<b>184</b>	<b>160</b>	<b>196</b>	<b>160</b>	<b>213</b>	<b>160</b>	<b>229</b>	<b>200</b>	<b>246</b>	<b>200</b>	<b>269</b>	<b>160</b>	<b>289</b>	<b>250</b>	<b>310</b>	<b>250</b>	
95	207	160	223	200	238	200	258	200	278	250	298	250	328	250	352	315	377	315	
<b>120</b>	<b>239</b>	<b>200</b>	<b>259</b>	<b>200</b>	<b>276</b>	<b>250</b>	<b>299</b>	<b>250</b>	<b>322</b>	<b>250</b>	<b>346</b>	<b>315</b>	<b>382</b>	<b>315</b>	<b>410</b>	<b>315</b>	<b>437</b>	<b>400</b>	
150			299	250	319	250	344	315	371	315	399	315	441	400	473	400	504	400	
<b>185</b>			<b>341</b>	<b>250</b>	<b>364</b>	<b>315</b>	<b>392</b>	<b>315</b>	<b>424</b>	<b>315</b>	<b>456</b>	<b>400</b>	<b>506</b>	<b>400</b>	<b>542</b>	<b>500</b>	<b>575</b>	<b>500</b>	
240			403	315	430	315	461	400	500	400	538	400	599	500	641	500	679	500	
<b>300</b>			<b>464</b>	<b>400</b>	<b>497</b>	<b>400</b>	<b>530</b>	<b>400</b>	<b>576</b>	<b>500</b>	<b>621</b>	<b>500</b>	<b>693</b>	<b>630</b>	<b>741</b>	<b>630</b>	<b>783</b>	<b>630</b>	
400									656	500	754	630	825	630			840	800	
<b>500</b>									<b>749</b>	<b>630</b>	<b>868</b>	<b>800</b>	<b>946</b>	<b>800</b>			<b>1083</b>	<b>1000</b>	
630									855	630	1005	800	1088	800			1254	1000	
Aluminium																			
2,5	16,5	10	18,5	10	19,5	16	21	16	23	20	24	20	26	20	28	25			
<b>4</b>	<b>22</b>	<b>16</b>	<b>25</b>	<b>20</b>	<b>26</b>	<b>20</b>	<b>28</b>	<b>25</b>	<b>31</b>	<b>25</b>	<b>32</b>	<b>25</b>	<b>35</b>	<b>32</b>	<b>38</b>	<b>32</b>			
6	28	20	32	25	33	25	36	32	39	32	42	32	45	40	49	40			
<b>10</b>	<b>39</b>	<b>32</b>	<b>44</b>	<b>40</b>	<b>46</b>	<b>40</b>	<b>49</b>	<b>40</b>	<b>54</b>	<b>50</b>	<b>58</b>	<b>50</b>	<b>62</b>	<b>50</b>	<b>67</b>	<b>50</b>			
16	53	40	59	50	61	50	66	50	73	63	77	63	84	63	91	80			
<b>25</b>	<b>70</b>	<b>63</b>	<b>73</b>	<b>63</b>	<b>78</b>	<b>63</b>	<b>83</b>	<b>63</b>	<b>90</b>	<b>80</b>	<b>97</b>	<b>80</b>	<b>101</b>	<b>80</b>	<b>108</b>	<b>100</b>	<b>121</b>	<b>100</b>	
35	86	80	90	80	96	80	103	80	112	100	120	100	126	100	135	125	150	125	
<b>50</b>	<b>104</b>	<b>80</b>	<b>110</b>	<b>100</b>	<b>117</b>	<b>100</b>	<b>125</b>	<b>100</b>	<b>136</b>	<b>125</b>	<b>146</b>	<b>125</b>	<b>154</b>	<b>125</b>	<b>164</b>	<b>125</b>	<b>184</b>	<b>160</b>	
70	133	100	140	125	150	125	160	125	174	160	187	160	198	160	211	160	237	200	
<b>95</b>	<b>161</b>	<b>125</b>	<b>170</b>	<b>125</b>	<b>183</b>	<b>160</b>	<b>195</b>	<b>160</b>	<b>211</b>	<b>160</b>	<b>227</b>	<b>200</b>	<b>241</b>	<b>200</b>	<b>257</b>	<b>200</b>	<b>289</b>	<b>250</b>	
120	188	160	197	160	212	160	226	200	245	200	263	250	280	250	300	250	337	250	
<b>150</b>			<b>227</b>	<b>200</b>	<b>245</b>	<b>200</b>	<b>261</b>	<b>200</b>	<b>283</b>	<b>250</b>	<b>304</b>	<b>250</b>	<b>324</b>	<b>250</b>	<b>346</b>	<b>315</b>	<b>389</b>	<b>315</b>	
185			259	200	280	250	298	250	323	250	347	315	371	315	397	315	447	400	
<b>240</b>			<b>305</b>	<b>250</b>	<b>330</b>	<b>250</b>	<b>352</b>	<b>315</b>	<b>382</b>	<b>315</b>	<b>409</b>	<b>315</b>	<b>439</b>	<b>400</b>	<b>470</b>	<b>400</b>	<b>530</b>	<b>400</b>	
300			351	315	381	315	406	315	440	400	471	400	508	400	543	500	613	500	
<b>400</b>									<b>526</b>	<b>400</b>	<b>600</b>	<b>500</b>	<b>663</b>	<b>500</b>			<b>740</b>	<b>630</b>	
500									610	500	694	630	770	630			856	630	
<b>630</b>									<b>711</b>	<b>630</b>	<b>808</b>	<b>630</b>	<b>899</b>	<b>800</b>			<b>996</b>	<b>800</b>	



# Kurzschlussströme

Ein Kurzschlussstrom ist ein Strom, der von einem vernachlässigbaren Impedanzfehler zwischen Installationspunkten, die normalerweise einen Spannungsunterschied aufweisen, ausgelöst wird. Man unterscheidet zwischen 3 Stufen von Kurzschlussströmen:

- der Kurzschlussstrom-**Scheitelwert** ( $I_{cc}$  Scheitelwert) entspricht dem Extremwert der Welle und erzeugt hohe elektrodynamische Kräfte auf Ebene der Sammelschienen und der Kontakte oder Anschlüsse der Anlage,
- der **effektive Kurzschlussstrom** ( $I_{cc\text{ eff}}$ ): Effektivwert des Fehlerstroms, der eine Erwärmung in den Geräten und den Leitern verursacht und die Körper der elektrischen Betriebsmittel auf ein gefährliches Potenzial bringen kann,
- der **minimale Kurzschlussstrom** ( $I_{cc\text{ min}}$ ): Effektivwert des Fehlerstroms, der sich in Stromkreisen mit hohen Impedanzen aufbaut (Leiter mit verringertem Leiterquerschnitt und sehr lange Leitungen...), in denen diese Impedanz noch durch die Erwärmung der fehlerhaften Leitungen erhöht wird. Diese Art von Fehler, genannt Impedanzfehler, muss schnell mit Hilfe geeigneter Mittel behoben werden.



## Berechnung des $I_{cc}$ einer Quelle

### ➤ Mit 1 Transformator

- Näherungsverfahren in Abhängigkeit von der Leistung des Transformators:

Netze	$I_n$	$I_{cc\text{ eff}}$
127/220 V	$S\text{ (kVA)} \times 2,5$	$I_n \times 20$
220/380 V	$S\text{ (kVA)} \times 1,5$	$I_n \times 20$

- Näherungsverfahren in Abhängigkeit von der Kurzschlussspannung des Transformators (u):

$$I_{cc}\text{ (A eff)} = \frac{S}{U \sqrt{3}} \times \frac{100}{u} \times k$$

S: Leistung (VA)

U: Verkettete Spannung (V)

u: Kurzschlussspannung (%)

k: Faktor zur Berücksichtigung der Eingangsimpedanzen (z. B. 0,8).

### ➤ Mit «n» parallelgeschalteten Transformatoren

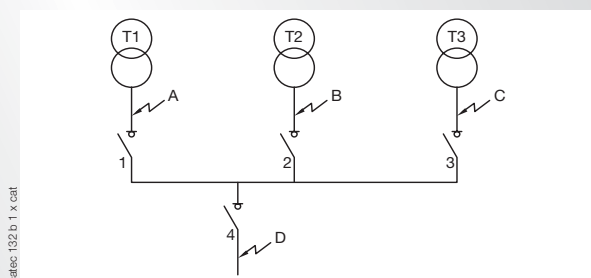
«n» ist die Anzahl der Transformatoren.

- T1; T2; T3 identisch.
- Kurzschluss in A, B oder C, die Geräte 1, 2 oder 3 müssen aushalten:

$$I_{ccA} = (n-1) \times I_{cc}\text{ eines Transformators (d. h. } 2 I_{cc}\text{)}.$$

- Kurzschluss in D, das Gerät 4 muss aushalten:

$$I_{ccD} = n \times I_{cc}\text{ eines Transformators (d. h. } 3 I_{cc}\text{)}.$$



Kurzschluss mit mehreren parallelgeschalteten Transformatoren.

### ➤ $I_{cc}$ von Batterien

Die  $I_{cc}$ -Werte am Ausgang einer Akkumulatorenbatterie liegen ungefähr bei:

$$I_{cc} = 15 \times Q\text{ (offene Bleibatterie)}$$

$$I_{cc} = 40 \times Q\text{ (verschlossene Bleibatterie)}$$

$$I_{cc} = 20 \times Q\text{ (Ni-Cd)}$$

Q (Ah): Kapazität in Amperestunden.

## Berechnung des $I_{cc}$ einer Quelle (Fortsetzung)

### ➔ $I_{cc}$ von Generatormaschinensätzen

Die innere Impedanz eines Wechselstromgenerators hängt von seiner Konstruktion ab. Diese kann durch zwei in % ausgedrückte Werte gekennzeichnet sein:

#### • Übergangsreaktanz $X'd$ :

- 15 bis 20 % eines Turbogenerators,
- 25 bis 35 % für einen Wechselstromgenerator mit Schenkelpolen (die Anfangsreaktanz ist vernachlässigbar).

#### • Nullreaktanz $X'0$ :

Bei Fehlen genauerer Angaben wird sie auf 6 % geschätzt. Berechnung:

$$I_{cc3} = \frac{k_3 \times P}{U_0 \times X'd}$$

$$I_{cc2} = 0,86 \times I_{cc3}$$

$$I_{cc1} = \frac{k_1 \times P}{U_0 (2X'd + X'0)}$$

$P$ : Leistung des Wechselstromgenerators in kVA

$U_0$ : Phasenspannung

$X'd$ : Übergangsreaktanz

$k_3 = 0,37$  für  $I_{cc3} \max$

$k_3 = 0,33$  für  $I_{cc3} \min$

$X'0$ : Nullreaktanz

$k_3 = 1,1$  für  $I_{cc1} \max$

$k_3 = 1,1$  für  $I_{cc1} \min$

**Beispiel:**  $P = 400 \text{ kVA}$   $X'd = 30 \%$   $X'0 = 6 \%$   $U_0 = 230 \text{ V}$

$$I_{cc3} \max = \frac{0,37 \times 400}{230 \times \frac{30}{100}} = 2,14 \text{ kA}$$

$$I_{cc1} \max = \frac{1,1 \times 400}{230 \times \left[ 2 \times \frac{30}{100} + \frac{6}{100} \right]} = 2,944 \text{ kA} \quad I_{cc2} \max = 1,844 \text{ kA}$$

## Berechnung des $I_{cc}$ einer Niederspannungsanlage

### ➔ Allgemeines

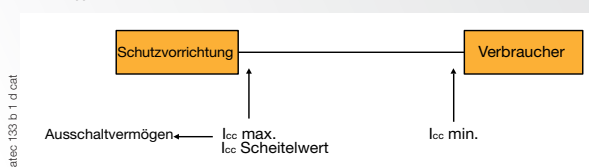
Das Ziel der Berechnung von Kurzschlussströmen ist die Ermittlung:

- des Ausschaltvermögens der Schutzvorrichtung;
- des Leiterquerschnitts, der folgendes ermöglicht:
  - der thermischen Beanspruchung des Kurzschlussstroms standzuhalten;
  - die Öffnung der Schutzvorrichtung zum Schutz gegen indirektes Berühren in der von der Norm IEC 60364 vorgeschriebenen Zeit zu gewährleisten;
- der mechanischen Festigkeit der Leiterträger (elektrodynamische Beanspruchung).

Das Ausschaltvermögen der Schutzvorrichtung wird anhand des  $I_{cc} \max.$ , berechnet an den Anschlussklemmen, ermittelt.

Der Leiterquerschnitt hängt ab vom  $I_{cc} \min.$ , der an den Anschlussklemmen des Verbrauchers berechnet wurde.

Die mechanische Festigkeit der Leiterträger wird ermittelt anhand der Berechnung des  $I_{cc}$ -Scheitelwerts abgeleitet vom  $I_{cc} \max.$



Die Berechnung der Kurzschlussströme kann nach einer der drei folgenden Methoden erfolgen:

#### • Konventionelle Methode

Sie erlaubt es, den  $I_{cc} \min.$  zu berechnen.

#### • Impedanzmethode

Mit der Impedanzmethode soll die Impedanz  $Z$  der Fehlerschleife unter Berücksichtigung der Impedanz der Spannungsquelle (Netz, Batterien, Aggregat...) berechnet werden. Diese Methode ist genau und erlaubt die Berechnung des  $I_{cc} \max.$  und  $I_{cc} \min.$  Es ist hierfür jedoch erforderlich, die Parameter des Fehlerstromkreises zu kennen (siehe Seite 477).

#### • Schnelle Methode

Die schnelle Methode findet Anwendung, wenn die Parameter des Fehlerstromkreises nicht alle bekannt sind. Der Kurzschlussstrom  $I_{cc}$  wird an einer Stelle des Netzes ermittelt, der  $I_{cc}$  Eingang sowie die Länge und der Anschlussquerschnitt am Eingangspunkt (siehe Seite 479) sind bekannt. Mit dieser Methode kann lediglich der Wert des  $I_{cc} \max.$  ermittelt werden.

## Berechnung des $I_{cc}$ einer Niederspannungsanlage (Fortsetzung)

### ➔ Konventionelle Methode

Sie ergibt den Wert des  $I_{cc}$  min. am Ende einer Installation, die nicht von einem Wechselstromgenerator gespeist wird.

$$I_{cc} = A \times \frac{0,8 U \times S}{2 \rho L}$$

$U$ : Spannung zwischen den Phasen in V.

$L$ : Länge der Leitungen in m.

$S$ : Leiterquerschnitt in  $mm^2$

$\rho = 0,028 \text{ m}\Omega \cdot \text{m}$  für Kupfer mit Sicherungsschutz

$0,044 \text{ m}\Omega \cdot \text{m}$  für Aluminium mit Sicherungsschutz

$0,023 \text{ m}\Omega \cdot \text{m}$  für Kupfer mit Schutz durch Leistungsschalter

$0,037 \text{ m}\Omega \cdot \text{m}$  für Aluminium mit Schutz durch Leistungsschalter

$A = 1$  für Stromkreise mit Neutralleiter (Querschnitt Neutralleiter = Querschnitt Phase)

$1,73$  für Stromkreise ohne Neutralleiter

$0,67$  für Stromkreise mit Neutralleiter (Querschnitt Neutralleiter =  $1/2$  Querschnitt Phase)

Für Kabelquerschnitte, die größer oder gleich  $150 \text{ mm}^2$  sind, muss der Blindwiderstand berücksichtigt werden, der den Wert des  $I_{cc}$  teilt durch: Kabel mit  $150 \text{ mm}^2$ : 1,15; Kabel mit  $185 \text{ mm}^2$ : 1,2; Kabel mit  $240 \text{ mm}^2$ : 1,25; Kabel mit  $300 \text{ mm}^2$ : 1,3.

### ➔ Impedanzmethode

Bei der Impedanzmethode zur Errechnung der Impedanz  $Z$  werden alle Widerstände  $R$  und alle Reaktanzen  $X$  des Stromkreises am Eingang des Kurzschlusses (siehe folgende Seite) zusammengezählt.

$$Z_{(m\Omega)} = \sqrt{R_{(m\Omega)}^2 + X_{(m\Omega)}^2}$$

### • Diese Methode ermöglicht die Berechnung von:

#### $I_{cc3}$ : dreiphasiger Kurzschlussstrom

$$I_{cc3} = 1,1 \times \frac{U_0}{Z_3}$$

$U_0$ : Phasenspannung (230 V in einem Netz 230 / 400)

$Z_3$ : Impedanz der dreiphasigen Schleife (siehe Seite 478).

#### $I_{cc2}$ : Kurzschlussstrom zwischen 2 Phasen

$$I_{cc2} = 0,86 \times I_{cc3}$$

#### $I_{cc1}$ : einphasiger Kurzschlussstrom

$$I_{cc1} = 1,1 \times \frac{U_0}{Z_1}$$

$U_0$ : Phasenspannung (230 V in einem Netz 230 / 400)

$Z_1$ : Impedanz der einphasigen Schleife (siehe Seite 478).

#### $I_{cc}$ Scheitelwert

In den Fällen, in denen es notwendig ist, die elektrodynamischen Beanspruchungen zu kennen, z. B. bei einem Sammelschienenhalter, muss der  $I_{cc}$ -Scheitelwert berechnet werden:  $I_{cc}$  Scheitelwert:

$$I_{cc \text{ Scheitelwert (kA)}} = I_{cc \text{ eff (kA)}} \times \sqrt{2} \times k$$

#### $k$ : Faktor der Asymmetrie (s.u. Diagramm)

$k = 1$  für einen symmetrischen Zustand ( $\cos \varphi = 1$ ).

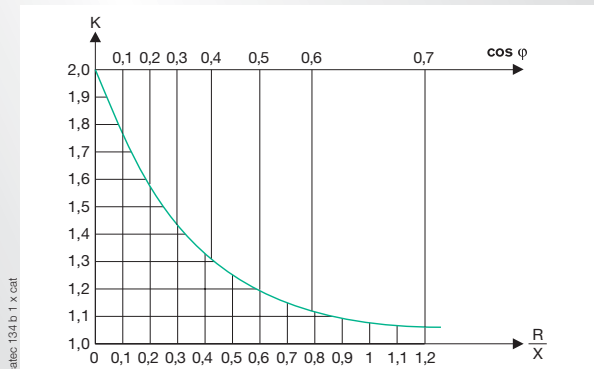


Bild 1

**Bemerkung:** Es wird natürlich mehr der  $R/X$ -Wert benutzt, dieser ist ebenfalls diesem Diagramm zu entnehmen.

## Berechnung des $I_{cc}$ einer Niederspannungsanlage (Fortsetzung)

### ⇒ Impedanzmethode (Fortsetzung)

#### • Ermittlung der Werte von «R» und von «X» (Netz)

**R = Widerstand    X = Reaktanz**




In der nachfolgenden Tabelle sind die Werte von R und X in den verschiedenen Teilen des Stromkreises bis zum Kurzschlusspunkt angegeben. Zur Berechnung der Impedanz der Fehlerschleife, müssen R und X separat zusammengerechnet werden (siehe Beispiel Seite 478).

Schaltplan	Werte von R und X																																																				
	<b>Netzeingang</b> Werte von «R» und «X» am Eingang der HS-/NS-Transformatoren (400 V) in Abhängigkeit von der Kurzschlussleistung (Pcc in MVA) dieses Netzes.																																																				
	<table><tr><td>MVA</td><td>Netz</td><td>R (mΩ)</td><td>X (mΩ)</td></tr><tr><td>500</td><td>&gt; 63 kV</td><td>0,04</td><td>0,35</td></tr><tr><td>250</td><td>&gt; 24 kV in der Nähe von den Kraftwerken</td><td>0,07</td><td>0,7</td></tr><tr><td>125</td><td>&gt; 24 kV weit entfernt von den Kraftwerken</td><td>0,14</td><td>1,4</td></tr></table>	MVA	Netz	R (mΩ)	X (mΩ)	500	> 63 kV	0,04	0,35	250	> 24 kV in der Nähe von den Kraftwerken	0,07	0,7	125	> 24 kV weit entfernt von den Kraftwerken	0,14	1,4																																				
	MVA	Netz	R (mΩ)	X (mΩ)																																																	
	500	> 63 kV	0,04	0,35																																																	
250	> 24 kV in der Nähe von den Kraftwerken	0,07	0,7																																																		
125	> 24 kV weit entfernt von den Kraftwerken	0,14	1,4																																																		
Wenn die Kurzschlussleistung (Pcc) bekannt ist: Uo Leerlaufspannung (400 V oder 230 V in AC 50 Hz).																																																					
	<div><math>R_{(m\Omega)} = 0,1 \times X_{(m\Omega)}</math></div> <div><math>X_{(m\Omega)} = \frac{3,3 \times U_o^2}{P_{cc} \text{ kVA}}</math></div>																																																				
	<b>Öl-Transformatoren mit Sekundärwicklungen 400 V.</b> Werte von «R» und «X» in Abhängigkeit von der Leistung des Transformators.																																																				
	<table><tr><td>P (kVA)</td><td>50</td><td>100</td><td>160</td><td>200</td><td>250</td><td>400</td><td>630</td><td>1000</td><td>1250</td><td>1600</td><td>2000</td><td>2500</td></tr><tr><td>Icc3 (kA)</td><td>1,80</td><td>3,60</td><td>5,76</td><td>7,20</td><td>9,00</td><td>14,43</td><td>22,68</td><td>24,01</td><td>30,03</td><td>38,44</td><td>48,04</td><td>60,07</td></tr><tr><td>R (mΩ)</td><td>43,7</td><td>21,9</td><td>13,7</td><td>10,9</td><td>8,7</td><td>5,5</td><td>3,5</td><td>3,3</td><td>2,6</td><td>2,0</td><td>1,6</td><td>1,31</td></tr><tr><td>X (mΩ)</td><td>134</td><td>67</td><td>41,9</td><td>33,5</td><td>26,8</td><td>16,8</td><td>10,6</td><td>10,0</td><td>8,0</td><td>6,3</td><td>5,0</td><td>4,01</td></tr></table>	P (kVA)	50	100	160	200	250	400	630	1000	1250	1600	2000	2500	Icc3 (kA)	1,80	3,60	5,76	7,20	9,00	14,43	22,68	24,01	30,03	38,44	48,04	60,07	R (mΩ)	43,7	21,9	13,7	10,9	8,7	5,5	3,5	3,3	2,6	2,0	1,6	1,31	X (mΩ)	134	67	41,9	33,5	26,8	16,8	10,6	10,0	8,0	6,3	5,0	4,01
	P (kVA)	50	100	160	200	250	400	630	1000	1250	1600	2000	2500																																								
	Icc3 (kA)	1,80	3,60	5,76	7,20	9,00	14,43	22,68	24,01	30,03	38,44	48,04	60,07																																								
R (mΩ)	43,7	21,9	13,7	10,9	8,7	5,5	3,5	3,3	2,6	2,0	1,6	1,31																																									
X (mΩ)	134	67	41,9	33,5	26,8	16,8	10,6	10,0	8,0	6,3	5,0	4,01																																									
	<b>Leiter</b>																																																				
	<div><math>R_{(m\Omega)} = \frac{\rho \times l_{(m)}}{S_{(mm^2)}}</math></div> mit <div><math>\rho = \frac{m\Omega \times mm^2}{m}</math></div>																																																				
	<table><tr><td colspan="4">Spezifischer Widerstand ρ in 10<sup>-6</sup> mΩ.m</td></tr><tr><td></td><td>Icc max</td><td colspan="2">Icc min</td></tr><tr><td></td><td></td><td>Sicherungsschutz</td><td>Schutz durch Leistungsschalter</td></tr><tr><td>Kupfer</td><td>18,51</td><td>28</td><td>23</td></tr><tr><td>Aluminium</td><td>29,4</td><td>44</td><td>35</td></tr></table>	Spezifischer Widerstand ρ in 10 <sup>-6</sup> mΩ.m					Icc max	Icc min				Sicherungsschutz	Schutz durch Leistungsschalter	Kupfer	18,51	28	23	Aluminium	29,4	44	35																																
	Spezifischer Widerstand ρ in 10 <sup>-6</sup> mΩ.m																																																				
	Icc max	Icc min																																																			
		Sicherungsschutz	Schutz durch Leistungsschalter																																																		
Kupfer	18,51	28	23																																																		
Aluminium	29,4	44	35																																																		
<div><math>X_{(m\Omega)} = 0,08 \times l_{(m)}</math> (mehradrige Kabel oder einadrige Kabel kleeblattförmig)<sup>(1)</sup></div> <div><math>X_{(m\Omega)} = 0,13 \times l_{(m)}</math> (aneinanderstoßende einadrige Kabel im Mantel)<sup>(1)</sup></div> <div><math>X_{(m\Omega)} = 0,09 \times l_{(m)}</math> (separate einadrige Kabel)</div> <div><math>X_{(m\Omega)} = 0,15 \times l_{(m)}</math> (Sammelschienen)<sup>(1)</sup></div>																																																					
	(1) Kupfer und Aluminium																																																				
	<b>Gerät in Einschaltstellung</b>																																																				
	<div><math>R = 0</math> und <math>X = 0,15 \text{ m}\Omega</math></div>																																																				

## Berechnung des $I_{cc}$ einer Niederspannungsanlage (Fortsetzung)

### ➔ Impedanzmethode (Fortsetzung)

#### • Beispiel für die Berechnung des $I_{cc}$ max.

$\rho_{\text{Kupfer}} = 18,51$ $\rho_{\text{Aluminium}} = 29,4$ $U_o = 230 \text{ V}$			Phasen		Neutralleiter		Schutz	
			R	X	R	X	R	X
Netz: 250 MVA	$R = 0,07 \text{ m}\Omega$	$X = 0,7 \text{ m}\Omega$	0,07	0,7				
Transformator 630 kVA	 $R = 3,5 \text{ m}\Omega$	$X = 10,6 \text{ m}\Omega$	3,5	10,6				
Kabel: Aluminium								
Ph: $l = 10 \text{ m}$ $4 \times 240 \text{ mm}^2$	$R = \frac{29,4 \times 10}{240 \times 4} = 0,306 \text{ m}\Omega$	$X = \frac{0,13 \times 10}{4} = 0,325 \text{ m}\Omega$	0,306	0,325				
N: $l = 10 \text{ m}$ $2 \times 240 \text{ mm}^2$	$R = \frac{29,4 \times 10}{240 \times 2} = 0,612 \text{ m}\Omega$	$X = \frac{0,13 \times 10}{2} = 0,65 \text{ m}\Omega$			0,612	0,65		
PE: $l = 12 \text{ m}$ $1 \times 240 \text{ mm}^2$	$R = \frac{29,4 \times 10}{240} = 1,47 \text{ m}\Omega$	$X = 0,13 \times 12 = 1,56 \text{ m}\Omega$					1,47	1,56
Gerät	(Schutz des Transformators)	$X = 0,15 \text{ m}\Omega$		0,15				
	<b>Zwischensumme: Ebene «Eingang» Hauptverteiler-Schrank (<math>\Sigma</math>)</b>		<b>3,87</b>	<b>11,77</b>	<b>0,612</b>	<b>0,65</b>	<b>1,47</b>	<b>1,56</b>
Sammelschienen Kupfer $l = 3 \text{ m}$								
Ph: $2 \times 100 \times 5$	$R = \frac{18,51 \times 3}{2 \times 100 \times 5} = 0,055 \text{ m}\Omega$	$X = 0,15 \times 3 = 0,45 \text{ m}\Omega$	0,055	0,45				
N: $1 \times 100 \times 5$	$R = \frac{18,51 \times 3}{1 \times 100 \times 5} = 0,11 \text{ m}\Omega$	$X = 0,15 \times 3 = 0,45 \text{ m}\Omega$			0,11	0,45		
PE: $1 \times 40 \times 5$	$R = \frac{18,51 \times 3}{40 \times 5} = 0,277 \text{ m}\Omega$	$X = 0,15 \times 3 = 0,45 \text{ m}\Omega$					0,277	0,45
<b>Summe auf Ebene der Sammelschienen (<math>\Sigma</math>):</b>			<b>3,925</b>	<b>12,22</b>	<b>0,722</b>	<b>1,1</b>	<b>1,75</b>	<b>2,01</b>

#### Im Eingang des Hauptverteiler-Schranks

##### • Impedanz der dreiphasigen Schleife:

$$Z_3 = \sqrt{R_{ph}^2 + X_{ph}^2}$$

$$Z_3 = \sqrt{(3,87)^2 + (11,77)^2} = 12,39 \text{ m}\Omega$$

$$I_{cc3} \text{ max.} = \frac{1,1 \times 230 \text{ V}}{12,39 \text{ m}\Omega} = 20,5 \text{ kA}$$

$$I_{cc2} \text{ max.} = 0,86 \times 20,5 \text{ kA} = 17,6 \text{ kA}$$

##### • Impedanz der einphasigen Schleife:

$$Z_1 = \sqrt{(R_{ph} + R_n)^2 + (X_{ph} + X_n)^2}$$

$$Z_1 = \sqrt{(3,87 + 0,612)^2 + (11,77 + 0,65)^2} = 13,2 \text{ m}\Omega$$

$$I_{cc1} = \frac{1,1 \times 230 \text{ V}}{13,2 \text{ m}\Omega} = 19,2 \text{ kA}$$

#### Beispiel für die Berechnung des $I_{cc}$ min.

Die Berechnung des  $I_{cc}$  min. ist identisch mit der vorhergehenden Berechnung, wenn die spezifischen Widerstände von Kupfer und Aluminium ersetzt werden durch:

$$\rho_{\text{Kupfer}} = 28 \quad \rho_{\text{Aluminium}} = 44$$

##### • Impedanz der einphasigen Schleife Phase / Neutralleiter:

$$Z_1 = \sqrt{(4,11 + 1,085)^2 + (12,22 + 1,1)^2} = 14,3 \text{ m}\Omega$$

$$I_{cc1} \text{ min.} = \frac{230 \text{ V}}{14,3 \text{ m}\Omega} = 16 \text{ kA}$$

#### Bei Ankunft auf der Sammelschiene

##### • Impedanz der dreiphasigen Schleife:

$$Z_3 = \sqrt{R_{ph}^2 + X_{ph}^2}$$

$$Z_3 = \sqrt{(3,925)^2 + (12,22)^2} = 12,8 \text{ m}\Omega$$

$$I'_{cc3} \text{ max.} = \frac{1,1 \times 230 \text{ V}}{12,8 \text{ m}\Omega} = 19,8 \text{ kA}$$

$$I'_{cc2} \text{ max.} = 0,86 \times 19,8 \text{ kA} = 17 \text{ kA}$$

$$\frac{R}{X} = \frac{3,925}{12,22} = 0,32 \text{ (gemäß Bild 1 Seite 476), } k = 1,4$$

$$I'_{cc} \text{ Scheitelwert} = 19,8 \times \sqrt{2} \times 1,4 = 39,2 \text{ kA}$$

Dieser Wert 39,2 kA (Scheitelwert) ist notwendig zur Ermittlung der dynamischen Festigkeit der Schienen und der Geräte:

##### • Impedanz der einphasigen Schleife:

$$Z_1 = \sqrt{(R_{ph} + R_n)^2 + (X_{ph} + X_n)^2}$$

$$Z_1 = \sqrt{(3,925 + 0,722)^2 + (12,22 + 1,1)^2} = 14,1 \text{ m}\Omega$$

$$I'_{cc1} = \frac{1,1 \times 230 \text{ V}}{14,1 \text{ m}\Omega} = 18 \text{ kA}$$

##### • Impedanz der einphasigen Schleife Phase / Schutz:

$$Z_1 = \sqrt{(4,11 + 2,62)^2 + (12,22 + 2,01)^2} = 15,74 \text{ m}\Omega$$

$$I_{cc1} \text{ min.} = \frac{230 \text{ V}}{15,74 \text{ m}\Omega} = 14,6 \text{ kA}$$



## Berechnung des $I_{cc}$ einer Niederspannungsanlage (Fortsetzung)

### ➤ Schnelle Methode

Diese Methode ist schnell, aber nur ungefähr, und ermöglicht es, den  $I_{cc}$  in einem Punkt des Netzes zu ermitteln, wenn man den  $I_{cc}$  Eingang sowie die Länge und den Anschlussquerschnitt am Eingangspunkt kennt.

Die nachfolgenden Tabellen sind gültig für Netze mit einer Spannung zwischen den Phasen 400 V (mit oder ohne Neutralleiter).

Wie geht man vor? Im Teil 1 der Tabelle (Kupferleiter) oder 3 (Aluminiumleiter) wählt man die Zeile aus, die dem Querschnitt der Phasenleiter entspricht. Danach rückt man in der Zeile bis zum nächst kleineren Wert der Länge der Leitungen vor. Nun geht man in dieser Spalte nach unten (Kupfer) oder nach oben (Aluminium) bis zum Teil 2 der Tabelle und hält auf der Zeile an, die dem  $I_{cc}$  Eingang entspricht. Der an diesem Schnittpunkt abzulesende Wert ist der gesuchte  $I_{cc}$ -Wert.

**Beispiel:**  $I_{cc}$  Eingang = 20 kA, Leitung: 3 x 35 mm<sup>2</sup> Kupfer, Länge 17 m. In der Zeile 35 mm<sup>2</sup> ist die nächst kleinere Länge von 17 m gleich 15 m. Der Schnittpunkt der Spalte 15 m und der Zeile 20 kA gibt den  $I_{cc}$  Ausgang = 12,3 kA.

Querschnitt der Phasenleiter (mm²)						Länge der Leitungen in m																				
Kupfer	1,5																	1,3	1,8	2,6	3,6	5,1	7,3	10,3	15	21
	2,5													1,1	1,5	2,1	3,0	4,3	6,1	8,6	12	17	24	34		
	4													1,7	1,9	2,6	3,7	5,3	7,4	10,5	15	21	30	42		
	6												1,4	2,0	2,8	4,0	5,6	7,9	11,2	16	22	32	45	63		
	10									2,1	3,0	4,3	6,1	8,6	12,1	17	24	34	48	68	97	137				
	16							1,7	2,4	3,4	4,8	6,8	9,7	14	19	27	39	55	77	110	155	219				
	25					1,3	1,9	2,7	3,8	5,4	7,6	10,7	15	21	30	43	61	86	121	171	242	342				
	35					1,9	2,6	3,7	5,3	7,5	10,6	15	21	30	42	60	85	120	170	240	339	479				
	50					1,8	2,5	3,6	5,1	7,2	10,2	14	20	29	41	58	81	115	163	230	325	460				
	70					2,6	3,7	5,3	7,5	10,6	15	21	30	42	60	85	120	170	240	339						
	95				2,5	3,6	5,1	7,2	10,2	14	20	29	41	58	81	115	163	230	325	460						
	120		1,6	2,3	3,2	4,5	6,4	9,1	13	18	26	36	51	73	103	145	205	291	411							
	150	1,2	1,7	2,5	3,5	4,9	7,0	9,9	14	20	28	39	56	79	112	158	223	316	447							
	185	1,5	2,1	2,9	4,1	5,8	8,2	11,7	16	23	33	47	66	93	132	187	264	373	528							
	240	1,8	2,6	3,6	5,1	7,3	10,3	15	21	29	41	58	82	116	164	232	329	465	658							
	300	2,2	3,1	4,4	6,2	8,7	12,3	17	25	35	49	70	99	140	198	279	395	559								
	2 x 120	2,3	3,2	4,5	6,4	9,1	12,8	18	26	36	51	73	103	145	205	291	411	581								
2 x 150	2,5	3,5	4,9	7,0	9,9	14,0	20	28	39	56	79	112	158	223	316	447	632									
2 x 185	2,9	4,1	5,8	8,2	11,7	16,5	23	33	47	66	93	132	187	264	373	528	747									
3 x 120	3,4	4,8	6,8	9,6	13,6	19	27	39	54	77	109	154	218	308	436	616										
3 x 150	3,7	5,2	7,4	10,5	14,8	21	30	42	59	84	118	168	237	335	474	670										
3 x 185	4,4	6,2	8,8	12,4	17,5	25	35	49	70	99	140	198	280	396	560											
I <sub>cc</sub> Eingang (kA)						I <sub>cc</sub> am betrachteten Punkt (kA)																				
I <sub>cc</sub>	100	93,5	91,1	87,9	83,7	78,4	71,9	64,4	56,1	47,5	39,01	31,2	24,2	18,5	13,8	10,2	7,4	5,4	3,8	2,8	2,0	1,4	1,0			
90	82,7	82,7	80,1	76,5	72,1	66,6	60,1	52,8	45,1	37,4	30,1	23,6	18,1	13,6	10,1	7,3	5,3	3,8	2,7	2,0	1,4	1,0				
80	74,2	74,2	72,0	69,2	65,5	61,0	55,5	49,2	42,5	35,6	28,9	22,9	17,6	13,3	9,9	7,3	5,3	3,8	2,7	2,0	1,4	1,0				
70	65,5	65,5	63,8	61,6	58,7	55,0	50,5	45,3	39,5	33,4	27,5	22,0	17,1	13,0	9,7	7,2	5,2	3,8	2,7	1,9	1,4	1,0				
60	56,7	56,7	55,4	53,7	51,5	48,6	45,1	40,9	36,1	31,0	25,8	20,9	16,4	12,6	9,5	7,1	5,2	3,8	2,7	1,9	1,4	1,0				
50	47,7	47,7	46,8	45,6	43,9	41,8	39,2	36,0	32,2	28,1	23,8	19,5	15,6	12,1	9,2	6,9	5,1	3,7	2,7	1,9	1,4	1,0				
40	38,5	38,5	37,9	37,1	36,0	34,6	32,8	30,5	27,7	24,6	21,2	17,8	14,5	11,4	8,8	6,7	5,0	3,6	2,6	1,9	1,4	1,0				
35	33,8	33,8	33,4	32,8	31,9	30,8	29,3	27,5	25,2	22,6	19,7	16,7	13,7	11,0	8,5	6,5	4,9	3,6	2,6	1,9	1,4	1,0				
30	29,1	29,1	28,8	28,3	27,7	26,9	25,7	24,3	22,5	20,4	18,0	15,5	12,9	10,4	8,2	6,3	4,8	3,5	2,6	1,9	1,4	1,0				
25	24,4	24,4	24,2	23,8	23,4	22,8	22,0	20,9	19,6	18,0	16,1	14,0	11,9	9,8	7,8	6,1	4,6	3,4	2,5	1,9	1,3	1,0				
20	19,6	19,6	19,5	19,2	19,0	18,6	18,0	17,3	16,4	15,2	13,9	12,3	10,6	8,9	7,2	5,7	4,4	3,3	2,5	1,8	1,3	1,0				
15	14,8	14,8	14,7	14,6	14,4	14,2	13,9	13,4	12,9	12,2	11,3	10,2	9,0	7,7	6,4	5,2	4,1	3,2	2,4	1,8	1,3	0,9				
10	9,9	9,9	9,9	9,8	9,7	9,6	9,5	9,3	9,0	8,6	8,2	7,6	6,9	6,2	5,3	4,4	3,6	2,9	2,2	1,7	1,2	0,9				
7	7,0	7,0	6,9	6,9	6,9	6,8	6,7	6,6	6,5	6,3	6,1	5,7	5,3	4,9	4,3	3,7	3,1	2,5	2,0	1,6	1,2	0,9				
5	5,0	5,0	5,0	5,0	4,9	4,9	4,9	4,8	4,7	4,6	4,5	4,3	4,1	3,8	3,5	3,1	2,7	2,2	1,8	1,4	1,1	0,8				
4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,9	3,9	3,9	3,8	3,8	3,7	3,6	3,4	3,2	3,0	2,7	2,3	2,0	1,7	1,3	1,0	0,8				
3	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,9	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	2,2	2,0	1,7	1,5	1,2	1,0	0,8				
2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3	1,2	1,0	0,8	0,7				
1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,38	0,7	0,7	0,6	0,5				
Querschnitt der Phasenleiter (mm²)						Länge der Leitungen in m																				
Aluminium	2,5																	1,3	1,9	2,7	3,8	5,4	7,6	10,8	15	22
	4													1,1	1,5	2,2	3,0	4,3	6,1	8,6	12	17	24	34		
	6													1,6	1,7	2,5	3,5	4,9	7,0	9,9	14	20	28	40		
	10												1,5	2,1	2,9	4,1	5,8	8,2	11,6	16	23	33	47	66		
	16										2,2	3,0	4,3	6,1	8,6	12	17	24	34	49	69	98	138			
	25								1,7	2,4	3,4	4,8	6,7	9,5	13	19	27	38	54	76	108	152	216			
	35									1,7	2,4	3,3	4,7	6,7	9,4	13	19	27	38	53	75	107	151	213	302	
	50							1,6	2,3	3,2	4,5	6,4	9,0	13	18	26	36	51	72	102	145	205	290	410		
	70							2,4	3,3	4,7	6,7	9,4	13	19	27	38	53	75	107	151	213	302	427			
	95						2,3	3,2	4,5	6,4	9,0	13	18	26	36	51	72	102	145	205	290	410				
	120						2,9	4,0	5,7	8,1	11,4	16	23	32	46	65	91	129	183	259	366					
	150						3,1	4,4	6,2	8,8	12	18	25	35	50	70	99	141	199	281	398					
	185						3,7	5,2	7,3	10,4	15	21	29	42	59	83	117	166	235	332	470					
	240						4,6	6,5	9,1	13	18	26	37	52	73	103	146	207	293	414						
	300	1,4	1,9	2,7	3,9	5,5	7,8	11,0	16	22	31	44	62	88	124	176	249	352	497							
	2 X 120	1,4	2,0	2,9	4,0	5,7	8,1	11,4	16	23	32	46	65	91	129	183	259	366	517							
	2 X 150	1,6	2,2	3,1	4,4	6,2	8,8	12	18	25	35	50	70	99	141	199	281	398								
2 X 185	1,8	2,6	3,7	5,2	7,3	10,4	15	21	29	42	59	83	117	166	235	332	470									
2 X 240	2,3	3,2	4,6	6,5	9,1	12,9	18	26	37	52	73	103	146	207	293	414	585									
3 X 120	2,1	3,0	4,3	6,1	8,6	12,1	17	24	34	48	69	97	137	194	274	388	549									
3 X 150	2,3	3,3	4,7	6,6	9,3	13,2	19	26	37	53	75	105	149	211	298	422	596									
3 X 185	2,8	3,9	5,5	7,8	11,0	15,6	22	31	44	62	88	125	176	249	352	498	705									
3 X 240	3,4	4,8	6,9	9,7	13,7	19	27	39	55	78	110	155	219	310	439	621										

## Schutz der Leitungen

Kurzschlussströme rufen eine thermische Beanspruchung in den Leitern hervor. Um eine Degradierung des Isoliermaterials der Kabel (die sonst zu Isolationsfehlern führen kann) oder eine Beschädigung der Sammelschienenhalter zu verhindern, müssen Leiter mit den nachfolgend aufgeführten Mindestquerschnitten verwendet werden.

### ➔ Sammelschienen

Die Wärmewirkung des Kurzschlussstroms auf Sammelschienenenebene drückt sich in der Erwärmung der Leiter aus. Diese Erwärmung muss mit den technischen Daten der Sammelschienenhalter vereinbar sein.

**Beispiel:** für einen SOCOMEC-Sammelschienenhalter (Temperatur der Schiene von 80 °C vor dem Kurzschluss).

$$S \text{ min. (mm}^2\text{)} = 1000 \times \frac{I_{cc} \text{ (kA)}}{70} \times \sqrt{t \text{ (s)}}$$

$S \text{ min.}$ : Mindestquerschnitt pro Phase.

$I_{cc}$ : effektiver Kurzschlussstrom.

$t$ : Ausschalzeit des Schutzorgans.

Siehe ebenfalls Berechnung der Sammelschienen Seite 567.

### ➔ Isolierte Leiter

Der Mindestquerschnitt wird mit der folgenden Formel ermittelt:

$$S \text{ min. (mm}^2\text{)} = 1000 \times \frac{I_{cc} \text{ (kA)}}{k} \times \sqrt{t \text{ (s)}}$$

$I_{cc} \text{ min.}$ : minimaler Kurzschlussstrom in kA eff. (siehe Seite 474)

$t$ : Auslösezeit der Schutzvorrichtung in s.

$k$ : Vom Isoliermaterial abhängige Konstante (siehe Tabelle B).

Tableau B: Konstante k (IEC 60364)

	Isoliermaterial	Leiter			
		Kupfer		Aluminium	
Spannungsführende Leiter oder Schutzleiter, die zur Zuleitung gehören	PVC	115		76	
	PR-EPR	143		94	
Schutzleiter, die zur Zuleitung gehören	PVC	143		95	
	PR-EPR	176		116	
	blank <sup>(1)</sup>	159 <sup>(1)</sup>	138 <sup>(2)</sup>	105 <sup>(1)</sup>	91 <sup>(2)</sup>

1) Räumlichkeiten, die keine Brandgefahr darstellen.

2) Räumlichkeiten, die eine Brandgefahr darstellen.

Um die Berechnung zu vermeiden, kann auf die Tabelle A zurückgegriffen werden, die den Faktor angibt, mit dem der Kurzschlussstrom multipliziert werden muss, um den Mindestquerschnitt zu erhalten.

$$\text{Mindest- querschnitt (mm}^2\text{)} = k_{cc} \times I_{cc} \text{ min. (kA)}$$

### ➔ Maximale Länge der Leiter

Wenn der Mindestquerschnitt bestimmt ist, muss man sich versichern, dass sich die Schutzvorrichtung, die sich am Eingang der Leiter befindet, in einer Zeit öffnet, die mit der thermischen Beanspruchung der Leiter vereinbar ist. Dazu ist es notwendig, dass der minimale Kurzschlussstrom ausreicht, um die Schutzvorrichtung auszulösen. Die Länge der Leiter muss auf die in den Tabellen A und B Seite 481 (Sicherung) angegebenen Werte begrenzt sein.

Tabelle A: Faktor Kcc

Ausschalzeit in m/s	Für einen Kurzschlussstrom von 1 kA eff						
	Mindestquerschnitt der spannungsführenden Kupferleiter		Mindestquerschnitt der Schutzleiter aus Kupfer				
	Isoliermaterial PVC	PR-EPR	Leiter, die zur Zuleitung gehören		Leiter, die nicht zur Zuleitung gehören		
			PVC	PR	PVC	PR	BLANK
5	0,62	0,50	0,62	0,50	0,50	0,40	0,45
10	0,87	0,70	0,87	0,70	0,70	0,57	0,63
15	1,06	0,86	1,06	0,86	0,86	0,70	0,77
20	1,37	1,10	1,37	1,10	1,10	0,89	0,99
35	1,63	1,31	1,63	1,31	1,31	1,06	1,18
50	1,94	1,58	1,94	1,56	1,56	1,27	1,40
60	2,13	1,72	2,13	1,72	1,72	1,40	1,54
75	2,38	1,89	2,38	1,89	1,89	1,54	1,72
100	2,75	2,21	2,75	2,21	2,21	1,79	1,99
125	3,07	2,47	3,07	2,47	2,47	2,00	2,22
150	3,37	2,71	3,37	2,71	2,71	2,20	2,44
175	3,64	2,93	3,64	2,93	2,93	2,38	2,63
200	3,89	3,13	3,89	3,13	3,13	2,54	2,81
250	4,35	3,50	4,35	3,50	3,50	2,84	3,15
300	4,76	3,83	4,76	3,83	3,83	3,11	3,44
400	5,50	4,42	5,50	4,42	4,42	3,59	3,98
500	6,15	4,95	6,15	4,95	4,95	4,02	4,45
1000	8,70	6,99	8,70	6,99	6,99	5,68	6,29

Aluminiumleiter: Die Werte der Tabelle müssen mit 1,5 multipliziert werden.

## Schutz der Leitungen durch Sicherungen

### ➔ Maximale Länge der durch Sicherungen geschützten Leiter

Die Tabellen A und B geben die maximalen Längen unter den folgenden Bedingungen an:

- Drehstromkreis 230 V / 400 V;
- Querschnitt des Neutralleiters = Querschnitt der Phase;
- minimaler Kurzschlussstrom;
- Kupferleitungen.

Die Tabellen sind für alle Arten von Kabelisolationen gültig (PVC, PR, EPR). Wenn zwei Werte angegeben sind, so entspricht der erste den PVC-Kabeln und der zweite den PR/ERP-Kabeln.

Die Längen sind zu multiplizieren mit den Faktoren der Tabelle C für andere Verwendungsfälle.

Aluminiumkabel: Multiplizieren Sie die Längen der Tabellen mit 0,41.

Tabelle A: maximale Länge in m der durch gG-Sicherungen geschützten Kabel.

<div>NH</div> <div>S (mm²)</div>	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	
1,5	82	59/61	38/47	18/22	13/16	6/7															
2,5		102	82	49/56	35/43	16/20	12/15	5/7													
4			131	89	76	42/52	31/39	14/17	8/10	4/5											
6				134	113	78	67/74	31/39	18/23	10/12	7/9										
10					189	129	112	74	51/57	27/34	19/24	9/12	7/9	3/4							
16							179	119	91	67	49/56	24/30	18/23	9/11	5/7	3/4					
25								186	143	104	88	59/61	45/53	22/27	13/16	7/9	4/5				
35									200	146	123	86	75	43/52	25/36	14/18	8/11	4/5			
50										198	167	117	101	71	45/74	26/33	16/22	8/11	5/7		
70											246	172	150	104	80	57/60	34/42	17/22	11/14		
95												233	203	141	109	82	62	32/40	20/25	9/11	
120														256	179	137	103	80	51/57	32/40	14/18
150														272	190	145	110	85	61	42/48	20/24
185															220	169	127	98	70	56	27/34
240																205	155	119	85	68	43/46

Tabelle B: maximale Länge in m der durch aM-Sicherungen geschützten Kabel.

NH	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	
S (mm²)																					
1,5	28/33	19/23	13/15	8/10	6/7																
2,5	67	47/54	32/38	20/24	14/16	9/11	6/7														
4	108	86	69	47/54	32/38	22/25	14/17	9/11	6/7												
6	161	129	104	81	65/66	45/52	29/34	19/23	13/15	9/10	6/7										
10				135	108	88	68	47/54	32/38	21/25	14/16	9/11	6/7								
16						140	109	86	69	49/55	32/38	21/25	14/17	9/11							
25								135	108	86	67	47/54	32/38	21/25	14/16	9/11					
35									151	121	94	75	58/60	38/45	25/30	17/20	11/13	7/9			
50										128	102	82	65	43/51	29/36	19/24	13/15	8/10			
70												151	121	96	75	58/60	38/45	25/30	17/20	11/13	
95												205	164	130	102	82	65	43/51	29/34	19/23	
120															164	129	104	82	65	44/52	29/35
150																138	110	88	69	55	37/44
185																	128	102	80	64	51
240																		123	97	78	62

Tabelle C: Korrekturfaktor für andere Netze

Anwendungsfall	Faktor
Querschnitt des Neutralleiters = 0,5 x Querschnitt der Phase	0,67
<b>Stromkreis ohne Neutralleiter</b>	<b>1,73</b>

(1) Beim Lesen der Tabelle beginnt man mit dem Querschnitt der Phasen.



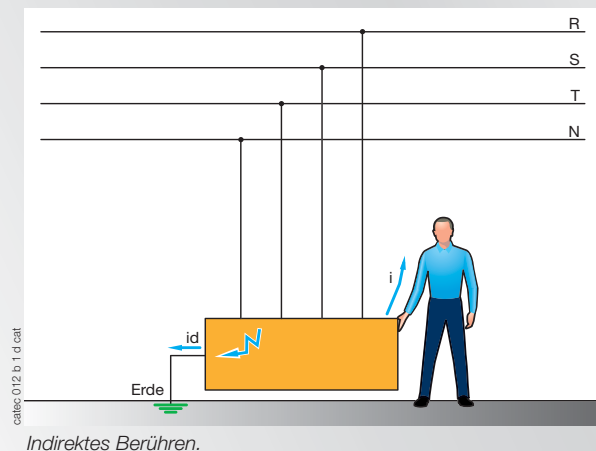
## Schutz gegen indirektes Berühren

### Definition

Das «indirekte Berühren» ist der Kontakt einer Person mit Körpern, die in Folge eines Isolationsfehlers zufällig unter Spannung gesetzt wurden.

Der Schutz beim indirekten Berühren kann erfolgen:

- ohne automatische Abschaltung der Versorgung;
- mit automatischer Abschaltung der Versorgung.



### Schutz ohne automatische Abschaltung der Versorgung

Der Schutz beim indirekten Berühren ohne automatisches Abschalten der Versorgung kann gewährleistet werden durch:

- die Verwendung von Kleinspannung (*siehe Seite 482*);
- die Trennung der Körper auf eine solche Art und Weise, dass eine Person nicht gleichzeitig mit den beiden Körpern in Kontakt sein kann;
- die doppelte Isolation des Materials (Klasse II);
- die äquipotenziale Verbindung ohne Erdung aller der Körper, die gleichzeitig zugänglich sind;
- die elektrische Trennung (durch Transformator für Kreise < 500 V).

### Schutz mit automatischer Abschaltung der Versorgung

Der Schutz beim indirekten Berühren mit automatischem Abschalten der Versorgung besteht darin, dass der Stromkreis oder das Material, welches einen Isolationsfehler zwischen einem aktiven Teil und der Körper aufweist, von der Versorgung getrennt wird.

Um gefährliche physiologische Auswirkungen für Personen, die mit dem fehlerhaften Teil in Verbindung gelangen, zu vermeiden, wird die Berührungsspannung  $U_e$  auf den Grenzwert  $U_L$  begrenzt.

Letzterer ist abhängig von:

- dem Haltestrom  $I_L$  des menschlichen Körpers;
- der Durchlaufzeit des Stroms (*siehe Seite 484*);
- dem Erdungsplan;
- den Installationsbedingungen.

Mutmaßliche Berührungsspannung (V)	Maximale Ausschaltzeit der Schutzvorrichtung (s)
	$U_L = 50 \text{ V}$
25	5
<b>50</b>	<b>5</b>
75	0,60
<b>90</b>	<b>0,45</b>
110	-
<b>120</b>	<b>0,34</b>
150	0,27
<b>220</b>	<b>0,17</b>
230	-
<b>280</b>	<b>0,12</b>
350	0,08
<b>500</b>	<b>0,04</b>

Das Abschalten der Spannung der Installation erfolgt auf verschiedene Arten gemäß den Erdungsarten.

Die Norm IEC 60364 definiert die maximale Ausschaltzeit der Schutzvorrichtung unter normalen Bedingungen ( $U_L = 50 \text{ V}$ ).  $U_L$  ist die höchste Berührungsspannung, der eine Person ohne Gefahr unbegrenzt standhalten kann (siehe Tabelle).

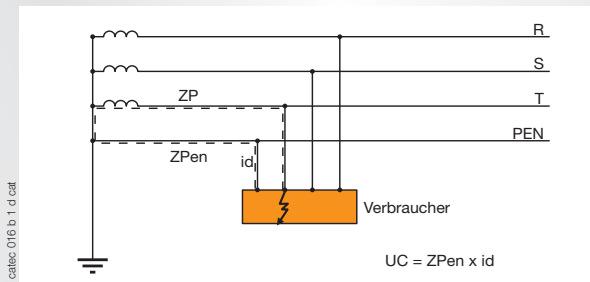


## Schutz gegen indirektes Berühren (Fortsetzung)

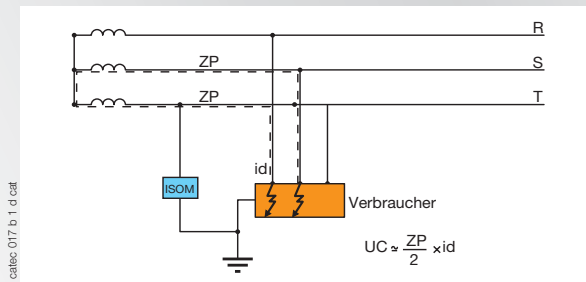
### ➤ Schutz mit automatischer Abschaltung der Versorgung (Fortsetzung)

#### • Im TN- und IT-System

Wenn das Netz nicht durch eine FI-Schutzeinrichtung geschützt ist, muss man sich der guten Koordination zwischen dem Schutzorgan und der Wahl der Leiter versichern. Ist die Impedanz des Leiters zu hoch, besteht die Gefahr eines begrenzten Fehlerstroms, der die Schutzvorrichtung in einer Zeit auslöst, die oberhalb der gemäß Norm IEC 60364 zulässigen Zeit liegt. Dieser Strom provoziert also eine gefährliche Berührungsspannung. Zur Begrenzung der Impedanz der Spule muss die Länge der Leiter für einen gegebenen Abschnitt begrenzt werden.



Fehlerstrom im TN-System.



Doppel-Fehlerstrom im IT-System.

**Bemerkung:** Der Schutz mit automatischer Abschaltung der Versorgung gegen Überströme ist nur wirksam bei unverfälschten Fehlern. In der Praxis kann ein Isolationsfehler an der Stelle, an der er auftritt, eine nicht vernachlässigbare Impedanz bedeuten, die den Fehlerstrom einschränkt. Ein Differenzstromrelais RESYS oder ein ISOM DLRD, als Voralarm genutzt, sind wirksame und vorbeugende Mittel, die Impedanzfehlern und der Aufrechterhaltung gefährlicher Spannungen vorbeugen.

#### Maximale Ausschaltzeit

Die Norm IEC 60364 gibt genau eine maximale Ausschaltzeit in Abhängigkeit des elektrischen Netzes und der Grenzspannung von 50 V an.

Tabelle A: maximale Ausschaltzeit des Schutzorgans (in Sekunden) für Endstromkreise ≤ 32 A

	50 V < U <sub>0</sub> ≤ 120 V		120 V < U <sub>0</sub> ≤ 230 V		230 V < U <sub>0</sub> ≤ 400 V		U <sub>0</sub> > 400 V	
Ausschaltzeit (s)	Wechselstrom	Gleichstrom	Wechselstrom	Gleichstrom	Wechselstrom	Gleichstrom	Wechselstrom	Gleichstrom
TN- oder IT-System	0,8	5	0,4	5	0,2	0,4	0,1	0,1
TT-System	0,3	5	0,2	0,4	0,07	0,2	0,04	0,1

#### Sonderfall

Im TN-System kann die Ausschaltzeit höher sein als die in Tabelle A angegebene Zeit (sie muss jedoch unter 5 s bleiben), wenn:

- der Stromkreis kein Endstromkreis ist und keine mobile oder tragbare Last > 32 A speist;
- eine der beiden folgenden Bedingungen erfüllt wird:
  - die äquipotenziale Hauptverbindung wird durch eine äquipotenziale Verbindung, die mit der Hauptverbindung identisch ist, verdoppelt;
  - der Widerstand des Schutzleiters R<sub>pe</sub> sieht wie folgt aus:

$$R_{pe} < \frac{50}{U_0} \times (R_{pe} + Z_a)$$

U<sub>0</sub>: Phasenspannung des Netzes.

Z<sub>a</sub>: Impedanz, von der Quelle des aktiven Leiters bis zum Fehlerpunkt.

#### Maximale Länge der Leiter (L in m)

Die Länge kann mit einer annähernden Berechnung bestimmt werden, die für Installationen, die durch einen Transformator in Dreieckschaltung-Sternschaltung oder Sternschaltung-Zickzackschaltung gespeist werden, gültig ist.

$$L = K \frac{U_0 \times S}{(1 + m) I_d}$$

U<sub>0</sub>: Phasenspannung (230 V in einem Netz 230/400 V).

S: Leiterquerschnitt der Phasen in mm<sup>2</sup> im TN- und IT-System ohne Neutralleiter.

m = S<sub>0</sub>/S<sub>pe</sub> (Spe: Leiterquerschnitt vom PE oder PEN).

I<sub>d</sub>: Fehlerstrom in A.

Schutz durch Sicherung: erreichter Strom für eine Schmelzzeit ist gleich maximaler Auslösezeit der Schutzvorrichtung (die maximalen Längen sind in der Tabelle B auf Seite 481 angegeben)

K: variabel in Abhängigkeit von der Erdungsart und der Beschaffenheit des Leiters (siehe Tabelle B).

Tabelle B: Werte von K

Leiter	Netz-System	TN	IT	
			Ohne N-Leiter	Mit N-Leiter
Kupfer		34,7	30	17,3
Aluminium		21,6	18,7	11

Der Einfluss der Blindwiderstände wird bei Leiterquerschnitten von weniger als 120 mm<sup>2</sup> außer acht gelassen. Bei darüber liegenden Leiterquerschnitten muss der Widerstand erhöht werden um:

- 15 % für einen Querschnitt von 150 mm<sup>2</sup>,
- 20 % für einen Querschnitt von 185 mm<sup>2</sup>,
- 25 % für einen Querschnitt von 240 mm<sup>2</sup>,
- 30 % für einen Querschnitt von 300 mm<sup>2</sup>.

Bei größeren Leiterquerschnitten muss: muss eine genauere Impedanzberechnung mit X = 0,08 mΩ/m erfolgen.

## Schutz gegen indirektes Berühren (Fortsetzung)

### ➤ Schutz mit automatischer Abschaltung der Versorgung (Fortsetzung)

#### • Im TT-System

Im TT-System wird der Schutz durch FI-Schutzeinrichtungen gewährleistet. In diesem Fall spielen der Leiterquerschnitt und die Länge der Leiter keine Rolle. Es muss lediglich sichergestellt werden, dass der Widerstand der Erdung folgendermaßen ist:

$$R_T < \frac{U_L}{I_{\Delta n}}$$

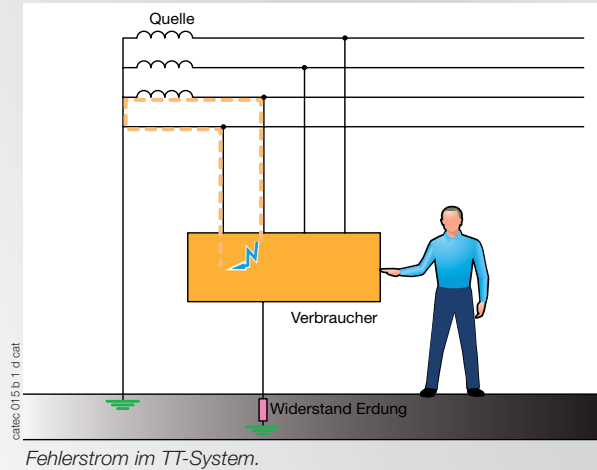
$U_L$ : Grenzspannung

$I_{\Delta n}$ : Einstellstrom der FI-Schutzeinrichtung

**Beispiel:** Die Berührungsspannung im Falle eines Fehlers kann auf  $U_L = 50 \text{ V}$  begrenzt werden.

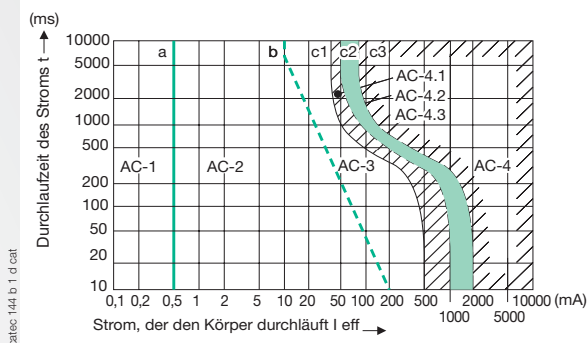
Die FI-Schutzeinrichtung ist auf  $I_{\Delta n} = 500 \text{ mA} = 0,5 \text{ A}$  eingestellt. Der Widerstand der Erdung darf folgenden Wert nicht übersteigen:

$$R_{T \max} = \frac{50 \text{ V}}{0,5 \text{ A}} = 100$$

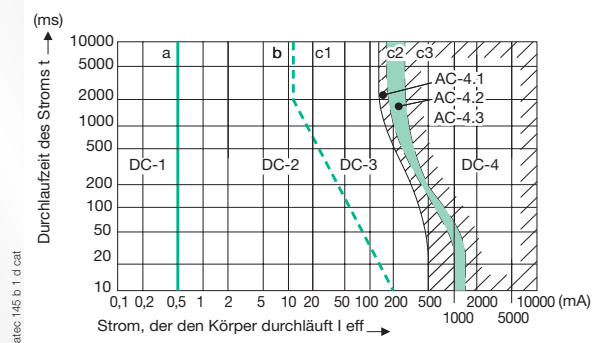


### ➤ Auswirkungen des elektrischen Stroms auf den menschlichen Körper

Der Strom, der den menschlichen Körper durchläuft, greift über seine physiopathologische Auswirkung hinaus den Kreislauf und die Atmung an, was zum Tode und bei erhöhten Werten zu schweren Verbrennungen führen kann.



Wechselstrom (15 bis 100 Hz).



Gleichstrom.

Die Zonen 1 bis 4 entsprechen den verschiedenen Auswirkungsgraden:

AC/DC-1: keine Wahrnehmung;

AC/DC-2: Wahrnehmung; keine körperlichen Auswirkungen;

AC/DC-3: umkehrbare Auswirkungen, krampfhaftes Zucken der Muskeln;

AC/DC-4: schwere Verbrennungen, Herzflimmern, möglicherweise unumkehrbare Auswirkungen.

## Schutz gegen indirektes Berühren durch Sicherungen

### ➔ Maximale Länge der durch Sicherungen geschützten Leiter

Die Länge der gegen indirektes Berühren geschützten Leiter muss begrenzt sein.

Die Tabellen B und C geben direkt die maximalen Längen von Kupferleitern an. Sie sind unter den folgenden Bestimmungen ermittelt worden:

- Netz 230 / 400 V;
- TN-System;
- maximale Berührungsspannung  $U_L = 50$  V.
- $\frac{\varnothing_{ph}}{\varnothing_{PE}} = m = 1$ .

Für andere Verwendungsarten muss der in Tabelle B und C abgelesene Wert mit dem Faktor der Tabelle A multipliziert werden.

Tabelle A

		Korrekturfaktor
Aluminiumleiter		0,625
Querschnitt PE = 1/2 Querschnitt Phase (m = 2)		<b>0,67</b>
IT-System	ohne N-Leiter	0,86
	mit N-Leiter	0,5
Ausschaltzeit 5 s zul. (Verteilerschaltkreis)	für mit gG-Sicherungen geschützte Leitungen	<b>1,88</b>
	für mit aM-Sicherungen geschützte Leitungen	<b>1,53</b>

Tabelle B: maximale Länge (in m) der durch gG-Sicherungen geschützten Leiter (Nennstrom in A).

S (mm²) \ (A)	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
1,5	53	40	32	22	18	13	11	7	8	4	3									
<b>2,5</b>	<b>88</b>	<b>66</b>	<b>53</b>	<b>36</b>	<b>31</b>	<b>21</b>	<b>18</b>	<b>12</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>4</b>								
4	141	106	85	58	49	33	29	19	15	11	9	6	6	4						
<b>6</b>	<b>212</b>	<b>159</b>	<b>127</b>	<b>87</b>	<b>73</b>	<b>50</b>	<b>43</b>	<b>29</b>	<b>22</b>	<b>16</b>	<b>14</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>4</b>					
10	353	265	212	145	122	84	72	48	37	28	23	16	14	10	7	6	4			
<b>16</b>	<b>566</b>	<b>424</b>	<b>339</b>	<b>231</b>	<b>196</b>	<b>134</b>	<b>116</b>	<b>77</b>	<b>59</b>	<b>43</b>	<b>36</b>	<b>25</b>	<b>22</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	
25	884	663	530	361	306	209	181	120	92	67	57	40	35	24	18	14	11	8	6	4
<b>35</b>		<b>928</b>	<b>742</b>	<b>506</b>	<b>428</b>	<b>293</b>	<b>253</b>	<b>169</b>	<b>129</b>	<b>94</b>	<b>80</b>	<b>56</b>	<b>48</b>	<b>34</b>	<b>26</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>6</b>
50				687	581	398	343	229	176	128	108	76	66	46	35	27	20	15	12	8
<b>70</b>					<b>856</b>	<b>586</b>	<b>506</b>	<b>337</b>	<b>259</b>	<b>189</b>	<b>159</b>	<b>11</b>	<b>97</b>	<b>67</b>	<b>52</b>	<b>39</b>	<b>30</b>	<b>22</b>	<b>17</b>	<b>11</b>
95						795	687	458	351	256	216	151	131	92	70	53	41	29	23	16
<b>120</b>							<b>868</b>	<b>578</b>	<b>444</b>	<b>323</b>	<b>273</b>	<b>191</b>	<b>166</b>	<b>116</b>	<b>89</b>	<b>67</b>	<b>62</b>	<b>37</b>	<b>23</b>	<b>20</b>
150								615	472	343	290	203	178	123	94	71	54	39	31	21
<b>185</b>								<b>714</b>	<b>547</b>	<b>399</b>	<b>336</b>	<b>235</b>	<b>205</b>	<b>145</b>	<b>110</b>	<b>82</b>	<b>64</b>	<b>46</b>	<b>36</b>	<b>24</b>
240									666	485	409	286	249	173	133	100	77	55	44	29
<b>300</b>										<b>566</b>	<b>477</b>	<b>334</b>	<b>290</b>	<b>202</b>	<b>155</b>	<b>117</b>	<b>90</b>	<b>65</b>	<b>51</b>	<b>34</b>

Tabelle C: maximale Länge (in m) der durch aM-Sicherungen geschützten Leiter (Nennstrom in A).

S (mm²) \ (A)	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
1,5	28	23	18	14	11	9	7	6	5	4										
<b>2,5</b>	<b>47</b>	<b>38</b>	<b>30</b>	<b>24</b>	<b>19</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>5</b>									
4	75	60	48	38	30	24	19	15	12	10	8		6	5	4					
<b>6</b>	<b>113</b>	<b>90</b>	<b>72</b>	<b>57</b>	<b>45</b>	<b>36</b>	<b>29</b>	<b>23</b>	<b>18</b>	<b>14</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>4</b>				
10	188	151	121	94	75	60	48	38	30	24	19	15	12	10	8	6	5	4		
<b>16</b>	<b>301</b>	<b>241</b>	<b>193</b>	<b>151</b>	<b>121</b>	<b>96</b>	<b>77</b>	<b>60</b>	<b>48</b>	<b>39</b>	<b>30</b>	<b>24</b>	<b>19</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>4</b>
25	470	377	302	236	188	151	120	94	75	60	47	38	30	24	19	16	12	9	8	6
<b>35</b>	<b>658</b>	<b>527</b>	<b>422</b>	<b>330</b>	<b>264</b>	<b>211</b>	<b>167</b>	<b>132</b>	<b>105</b>	<b>84</b>	<b>66</b>	<b>53</b>	<b>42</b>	<b>33</b>	<b>26</b>	<b>21</b>	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>11</b>	<b>8</b>
50	891	714	572	447	357	285	227	179	144	115	90	72	57	46	36	29	23	18	14	11
<b>70</b>			<b>845</b>	<b>660</b>	<b>527</b>	<b>422</b>	<b>335</b>	<b>264</b>	<b>211</b>	<b>169</b>	<b>132</b>	<b>105</b>	<b>84</b>	<b>67</b>	<b>53</b>	<b>42</b>	<b>33</b>	<b>26</b>	<b>21</b>	<b>17</b>
95				895	716	572	454	358	286	229	179	143	115	91	72	57	45	36	29	23
<b>120</b>					<b>904</b>	<b>723</b>	<b>574</b>	<b>462</b>	<b>362</b>	<b>289</b>	<b>226</b>	<b>181</b>	<b>145</b>	<b>115</b>	<b>90</b>	<b>72</b>	<b>57</b>	<b>45</b>	<b>36</b>	<b>29</b>
150						794	630	496	397	317	248	198	159	126	99	79	63	50	40	32
<b>185</b>							<b>744</b>	<b>586</b>	<b>469</b>	<b>375</b>	<b>293</b>	<b>234</b>	<b>188</b>	<b>149</b>	<b>117</b>	<b>94</b>	<b>74</b>	<b>59</b>	<b>47</b>	<b>38</b>
240								730	584	467	365	292	234	185	146	117	93	73	58	47
<b>300</b>									<b>702</b>	<b>562</b>	<b>439</b>	<b>351</b>	<b>281</b>	<b>223</b>	<b>175</b>	<b>140</b>	<b>11</b>	<b>88</b>	<b>70</b>	<b>56</b>

**Beispiel:** Ein Stromkreis besteht aus einem Kupferkabel 3 x 6 mm² und wird durch eine Sicherung 40 A gG geschützt. Seine Länge müsste kleiner sein als 73 m, damit der Schutz gegen indirektes Berühren in TN 230 V / 400V gewährleistet ist.

- Wenn das Kabel aus Aluminium ist, ist die maximale Länge:  $0,625 \times 73 \text{ m} = 45,6 \text{ m}$ .
- Im IT-System mit einem Neutralleiter und bei Aluminiumkabel beträgt die Länge:  $0,625 \times 0,5 \times 73 \text{ m} = 22,8 \text{ m}$ .
- Im IT-System mit einem Neutralleiter und bei Aluminiumkabel für eine Verteilerschrank-Versorgung beträgt die Länge:  $0,625 \times 0,5 \times 1,88 = 42,8 \text{ m}$ .

## Schutz gegen indirektes Berühren durch Fehlerstromrelais

### Im TT-System

Der Fehlerstromschutz ist praktisch das einzige Schutzmittel gegen indirektes Berühren für diese Netzform. Um z. B. eine Berührungsspannung von über 50 V zu vermeiden, muss der Strom  $I_{\Delta n}$  wie folgt sein:

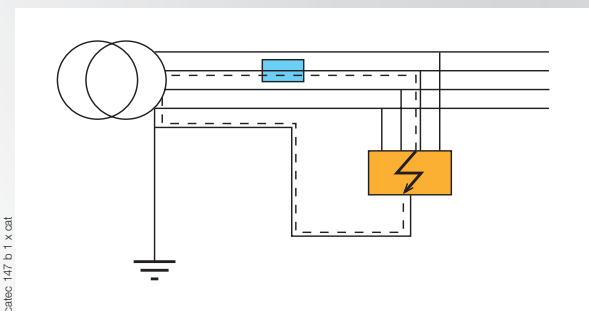
$$I_{\Delta n} \leq \frac{50}{R_p}$$

$R_p$ : Widerstand der Erdung bei Niederspannung in  $\Omega$

In den Fällen, in denen die Erdung besonders schwierig zu realisieren ist und die Werte 100 Ohm übersteigen können (Hochgebirge, dürre Gegend...), ist der Einsatz von hoch sensiblen Geräten eine Antwort auf die vorhergehende Bestimmung.

### Im TN-S-System

Bei dieser Netzform entspricht der Fehlerstrom einem Kurzschlussstrom zwischen der Phase und dem N-Leiter. Letzterer wird von den geeigneten Vorrichtungen (Sicherungen, Leistungsschalter...) in einer Zeit ausgeschaltet, die mit dem Schutz gegen indirektes Berühren vereinbar ist. Kann diese Zeit nicht eingehalten werden (zu lange Leitungen oder  $I_{sc}$  min. zu klein, Reaktionszeit der Schutzgeräte zu lang...), ist es notwendig, den Überstromschutz mit einem Fehlerstromschutz zu verbinden. Diese Bestimmung ermöglicht es, bei praktisch jeder Leitungslänge einen Schutz gegen indirektes Berühren zu gewährleisten.

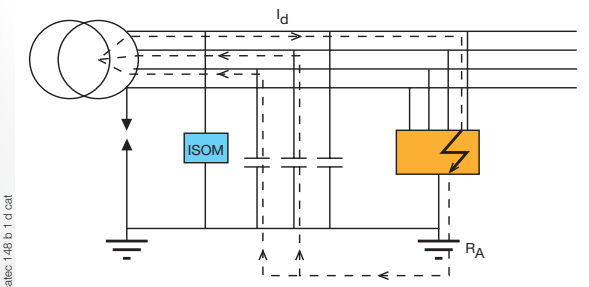


### Im IT-System

Die Öffnung des Stromkreises ist normalerweise nicht gleich beim ersten Fehler notwendig. Eine gefährliche Berührungsspannung kann sich beim zweiten Fehler entwickeln und zwar auf den Körpern, die mit nicht zusammengeschalteten Erden oder weit entfernten Erden verbunden sind, oder zwischen gleichzeitig zugänglichen Körpern, die an die gleiche Erde angeschlossen sind und wo die Impedanz der Schutzstromkreise zu hoch ist.

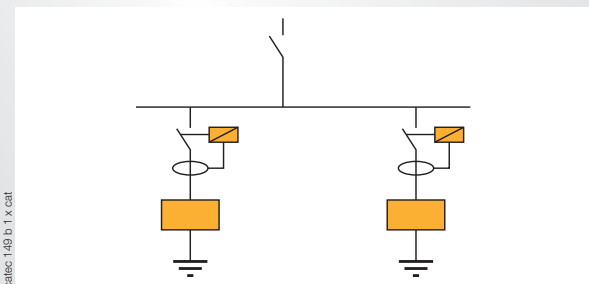
Aus diesen Gründen ist eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung im IT-System zwingend notwendig:

- am Anfang der Installationsteile, wo die Schutznetze oder die Körper an nicht zusammengeschaltete Erden angeschlossen sind;
- in der gleichen Situation, die bereits im TN-S erwähnt wurde (die Abschaltung beim zweiten Fehler wird nicht, wie in den Sicherheitsbedingungen gefordert, durch die Schutzvorrichtungen gegen Überstrom gewährleistet).



### Schutz gegen indirektes Berühren mit an autonomen Erdanschlüssen angeschlossenen Körpergruppen

Im TT- wie im IT-System, muss jede Körpergruppe jeweils durch eine ihr zugeordnete Vorrichtung geschützt werden, wenn die Körper von elektrischen Betriebsmitteln mit entfernten Erden am Eingang der gleichen Versorgung verbunden sind.



### Befreiung von hoch sensiblem Schutz bei Versorgungsanschlüssen von Datenverarbeitungsgeräten

Diese durch den Erlass vom 08.01.92 zur Installation von Hochspannungsvorrichtungen bei Steckdosen von  $\leq 32$  A für Datenverarbeitungsgeräte erteilte Befreiung wurde durch Artikel 3 des Erlasses vom 8. Dezember 2003 bei ab dem 1. Januar 2004 installierten Anlagen aufgehoben.

# Spannungsabfälle

Der Spannungsabfall ist die Spannungs Differenz, die zwischen dem Anfangspunkt der Installation und dem Verzweigungspunkt eines Verbrauchers beobachtet wird. Damit das reibungslose Funktionieren der Verbraucher gewährleistet ist, legt die Norm IEC 60364 einen maximalen Spannungsabfall fest (siehe Tabelle A).

Tabelle A: maximaler Spannungsabfall gemäß IEC 60364

	Beleuchtung	Andere Anwendungen
Direkte Einspeisung durch das öffentliche Niederspannungsnetz	3 %	5 %
Einspeisung durch HS-/ NS-Trafostationen	6 %	8 %

## Berechnung des Spannungsabfalls in einem Kabel mit der Länge L

$$\Delta u = K_u \times I \text{ (Ampere)} \times L \text{ (km)}$$

Tabelle B: Werte von  $K_u$ .

Kabelquerschnitt mm <sup>2</sup>	Gleichstrom	Mehr- oder einadrige Kabel kleblattförmig			Nebeneinander liegende einadrige Kabel im Mantel			Getrennte einadrige Kabel		
		cos 0,3	cos 0,5	cos 0,8	cos 0,3	cos 0,5	cos 0,8	cos 0,3	cos 0,5	cos 0,8
1,5	30,67	4,68	7,74	12,31	4,69	7,74	12,32	4,72	7,78	12,34
<b>2,5</b>	<b>18,40</b>	<b>2,84</b>	<b>4,67</b>	<b>7,41</b>	<b>2,85</b>	<b>4,68</b>	<b>7,41</b>	<b>2,88</b>	<b>4,71</b>	<b>7,44</b>
4	11,50	1,80	2,94	4,65	1,81	2,95	4,65	1,85	2,99	4,68
<b>6</b>	<b>7,67</b>	<b>1,23</b>	<b>1,99</b>	<b>3,11</b>	<b>1,24</b>	<b>1,99</b>	<b>3,12</b>	<b>1,27</b>	<b>2,03</b>	<b>3,14</b>
10	4,60	0,77	1,22	1,89	0,78	1,23	1,89	0,81	1,26	1,92
<b>16</b>	<b>2,88</b>	<b>0,51</b>	<b>0,79</b>	<b>1,20</b>	<b>0,52</b>	<b>0,80</b>	<b>1,20</b>	<b>0,55</b>	<b>0,83</b>	<b>1,23</b>
25	1,84	0,35	0,53	0,78	0,36	0,54	0,78	0,40	0,57	0,81
<b>35</b>	<b>1,31</b>	<b>0,27</b>	<b>0,40</b>	<b>0,57</b>	<b>0,28</b>	<b>0,41</b>	<b>0,58</b>	<b>0,32</b>	<b>0,44</b>	<b>0,60</b>
50	0,92	0,21	0,30	0,42	0,22	0,31	0,42	0,26	0,34	0,45
<b>70</b>	<b>0,66</b>	<b>0,17</b>	<b>0,23</b>	<b>0,31</b>	<b>0,18</b>	<b>0,24</b>	<b>0,32</b>	<b>0,22</b>	<b>0,28</b>	<b>0,34</b>
95	0,48	0,15	0,19	0,24	0,16	0,20	0,25	0,20	0,23	0,27
<b>120</b>	<b>0,38</b>	<b>0,13</b>	<b>0,17</b>	<b>0,20</b>	<b>0,14</b>	<b>0,17</b>	<b>0,21</b>	<b>0,18</b>	<b>0,21</b>	<b>0,23</b>
150	0,31	0,12	0,15	0,17	0,13	0,15	0,18	0,17	0,19	0,20
<b>185</b>	<b>0,25</b>	<b>0,11</b>	<b>0,13</b>	<b>0,15</b>	<b>0,12</b>	<b>0,14</b>	<b>0,15</b>	<b>0,16</b>	<b>0,17</b>	<b>0,18</b>
240	0,19	0,10	0,12	0,12	0,11	0,13	0,13	0,15	0,16	0,15
<b>300</b>	<b>0,15</b>	<b>0,10</b>	<b>0,11</b>	<b>0,11</b>	<b>0,11</b>	<b>0,12</b>	<b>0,12</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>	<b>0,14</b>
400	0,12	0,09	0,10	0,09	0,10	0,11	0,10	0,14	0,14	0,12

Einphasiger Stromkreis: Die Werte müssen mit 2 multipliziert werden.

### Beispiel

Ein Motor von 132 kW zieht 233 A bei 400 V. Er wird durch einadrige nebeneinander liegende Kupferkabel im Mantel mit einem Querschnitt von 150 mm<sup>2</sup> und einer Länge von 200 m (0,2 km) gespeist.

- Bei Normalbetrieb  $\cos \varphi = 0,8$ ;  $K_u = 0,18$   
 $\Delta u = 0,18 \times 233 \times 0,2 = 8,4 \text{ V}$ , dies entspricht 3,6 % de 230 V.
- Bei Direktanlauf  $\cos \varphi = 0,3$  und  $I_d = 5 I_n = 5 \times 233 \text{ A} = 1165 \text{ A}$ ;  $K_u = 0,13$   
 $\Delta u = 0,13 \times 1165 \times 0,2 = 20,3 \text{ V}$ , dies entspricht 8,8 % von 230 V.

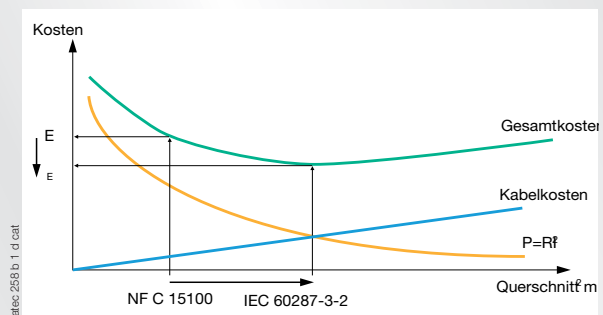
Der Leiterquerschnitt ist ausreichend, um die von der Norm IEC 60364 auferlegten maximalen Spannungsabfälle einzuhalten.

### Anmerkung

Die Berechnung gilt für 1 Kabel pro Phase. Für n Kabel pro Phase muss der Spannungsabfall durch n geteilt werden.

## Ansatz so genannter wirtschaftlicher Leiterquerschnitte

Die Norm NFC 15100, die die Installation regelt, erlaubt die Auslegung der Leitungen mit Spannungsabfällen bis zu 16 % bei einphasigen Schaltkreisen. Für die Mehrheit der Verteilerstromkreise wird normalerweise ein Wert von 8 % akzeptiert, der dem Verlustanteil entspricht. IEC-60287-3-2 enthält zur Festlegung einer Leitung einen ergänzenden Ansatz, der die Investition und den voraussichtlichen Stromverbrauch berücksichtigt.





## Normen EN 60947-3, -2 und VDE 0660

### ➤ Definitionen

#### • Lastschalter (IEC 60947.3 § 2.1 / VDE 0660)



«Mechanisches Schaltgerät,  
- das Ströme unter normalen\* Betriebsbedingungen im Stromkreis einschließlich einer festgelegten Überlast einschalten, führen und ausschalten kann  
- und Ströme unter angegebenen außergewöhnlichen Bedingungen, wie Kurzschluss, während einer festgelegten Dauer führen kann (ein Lastschalter darf ein Kurzschlusseinschaltvermögen, muss jedoch kein Kurzschlussausschaltvermögen haben).»

\* Ein Normalzustand entspricht im Allgemeinen einer Gerätenutzung bei einer Raumtemperatur von 40° C für eine Dauer von 8 Stunden.

#### • Trennschalter (IEC 60947.3 § 2.2 / VDE 0660)



«Mechanisches Schaltgerät, das in der offenen Stellung den für die Trennfunktion festgelegten Anforderungen entspricht. Ein Trennschalter kann Ströme unter üblichen Betriebsbedingungen sowie Ströme unter außergewöhnlichen Bedingungen, z. B. Kurzschluss, für eine bestimmte Dauer führen.»

Trenner (allgemeine Definition): Gerät ohne Ein- und Ausschaltvermögen unter Last.

#### • Lasttrennschalter (IEC 60947.3 § 2.3)



Lastschalter, der in der offenen Stellung die für eine Trennfunktion festgelegten Anforderungen erfüllt.

#### • Lasttrennschalter mit Sicherungen (IEC 60947.3 § 2.9)



Lasttrennschalter, in dem ein oder mehrere Pole eine Sicherung in Reihe haben und eine bauliche Einheit bilden.

Geräte				
Funktion				
Einschalten				
Dauerstrom				
Ausschalten				

(1) Schwelle von der Norm nicht festgelegt. (2) durch Sicherung.

Normalstrom  
 Überlaststrom  
 Kurzschlussstrom

### ➤ Funktionen

#### • Öffnung der Kontakte

Dieser Vorgang wird von allen sogenannten «trennungsfähigen» Geräten gewährleistet, gemäß den Normen EN 60947-3 und VDE 0660 für mechanische Schaltgeräte.

Das Trennvermögen - gemäß EN 60947-3 und VDE 0660 - wird durch drei Versuche dargestellt:

- der dielektrische Test ermittelt die Überslagsspannungsfestigkeit ( $U_{imp}$ : Stoßfestigkeit), die die Luftstrecke bestimmt. Im Allgemeinen  $U_{imp} = 8 \text{ kV}$  für  $U_n = 400/690 \text{ V}$ ;
- die Messung des Verluststroms ( $I_l$ ) ermittelt einen Isolationswiderstand in der Ausschaltstellung, gekennzeichnet durch die Kriechstrecken.  $110\%$  von  $U_n$ ,  $I_l < 0,5 \text{ mA}$  (neues Gerät) und  $I_l < 6 \text{ mA}$  (gealtertes Gerät);
- die Prüfung der Festigkeit des Schaltmechanismus und der Stellungsanzeige bestätigt die «mechanische» Zuverlässigkeit der Schaltstellungsanzeige. Dieser Test besteht darin, bei absichtlich verriegeltem Gerät auf Stellung «I», den Schaltmechanismus einem Druck auszusetzen, der einer dreifachen normalen Betätigungskraft entspricht.

Die Verschließung des Gerätes in Stellung «0» darf zu diesem Zeitpunkt nicht möglich sein. Das Gerät darf nicht die Stellung «0» angeben nach Ausführung des Tests. Dieser Test ist nicht notwendig, wenn die Öffnung der Kontakte anders angezeigt werden kann: mechanische Anzeige, alle Kontakte sind direkt sichtbar...

Dieser dritte Versuch entspricht der Definition der «deutlich sichtbaren» Abschaltung, die von der Verordnung vom 14. November 1988 zur Sicherung der Abschaltfunktion bei Niederspannung verlangt wird ( $500 \text{ V} < U \leq 1000 \text{ VAC}$  und  $750 \text{ V} < U \leq 1500 \text{ VDC}$ ). Dieses letzte Merkmal wird von der NF C 15100 verlangt, mit Ausnahme von Sicherheits- oder Schutzkleinspannung ( $U \leq 50 \text{ VAC}$  oder  $120 \text{ VDC}$ ).

#### • Abschaltung unter Last und Überlast

Dieser Vorgang wird von Geräten mit Ein- und Ausschaltvermögen unter normalen Lastbedingungen und Überlast gewährleistet. Typprüfungen ermöglichen eine Kennzeichnung der Geräte mit Ein- und Ausschaltvermögen unter spezifischen Lastbedingungen. Letztere können hohe Einschaltströme mit geringem  $\cos \varphi$  aufweisen (Motor-Anlaufphase oder festgefahrener Läufer). Diese Eigenschaften entsprechen den Gebrauchskategorien der Geräte.

#### • Abschaltung im Falle eines Kurzschlusses

Ein Trenner ist nicht dafür geeignet, einen Kurzschlussstrom abzuschalten. Jedoch muss seine dynamische Festigkeit so sein, dass er den Fehler bis zu dessen Beseitigung durch das entsprechende Schutzelement aushält.

Bei Lasttrennschaltern mit Sicherungen wird der Kurzschluss durch Sicherungen abgeschaltet (siehe Kapitel «Sicherungsschutz» auf den Seiten 503 und 505), damit hohe Fehlerströme begrenzt werden können.

## Normen EN 60947-3, -2 und VDE 0660 (Fortsetzung)

### ➔ Technische Daten

#### • Anforderungen und Gebrauchskategorien gemäß IEC 60947-3

Tabelle A

Kategorie	Nutzung	Anwendung
AC-20	DC-20	Schließen und Öffnen ohne Last
AC-21	DC-21	Schalten von ohmscher Last, einschließlich geringer Überlast
AC-22	DC-22	Schalten von gemischter ohmscher und induktiver Last, einschließlich geringer Überlast
AC-23	DC-23	Schalten von Motoren oder anderer hoch induktiver Last

(1) Aus Gründen der Betriebssicherheit werden diese Geräte zunehmend durch Lasttrennschalter ersetzt.

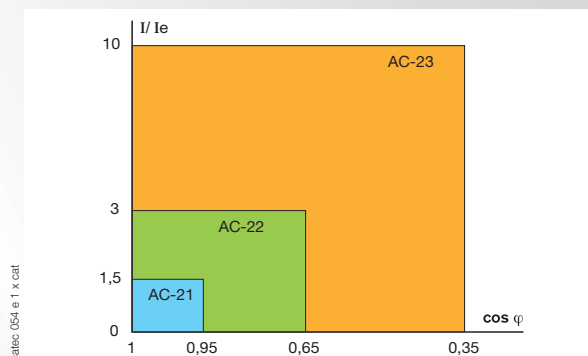
#### • Ein- und Ausschaltvermögen

Im Gegensatz zu Leistungsschaltern, bei denen diese Kriterien auf das Kurzschlussein- und ausschaltvermögen hinweisen, mit einem gegebenenfalls notwendigen Geräteaustausch, entspricht das Ein- und Ausschaltvermögen der Lasttrennschalter den maximalen Leistungswerten der Gebrauchskategorien.

Nach diesen extremen Nutzungen muss der Schalter seine Eigenschaften noch gewährleisten, insbesondere bezüglich Verluststrom und Erwärmung.

Tabelle B

	Einschalten		Ausschalten		Anzahl der Schaltspiele
	$I/I_e$	$\cos \varphi$	$I/I_e$	$\cos \varphi$	
AC-21	1,5	0,95	1,5	0,95	5
AC-22	3	0,65	3	0,65	5
AC-23 $I_e \leq 100$ A	10	0,45	8	0,45	5
$I_e > 100$ A	10	0,35	8	0,35	3
	L/R (ms)		L/R (ms)		
DC-21	1,5	1	1,5	1	5
DC-22	4	2,5	4	2,5	5
DC-23	4	15	4	15	5



#### • Mechanische und elektrische Lebensdauer

Die Norm legt die Mindestanzahl der elektrischen (unter Vollast) und mechanischen (ohne Last) Schaltspiele der Geräte fest. Diese Angaben bestimmen die theoretische Lebensdauer des Gerätes, welches seine Eigenschaften gewährleisten muss, insbesondere bezüglich Verluststrom und Erwärmung. Diese Leistungen sind mit der Baugröße und der Nutzung des Gerätes verbunden. Die gewünschte Nutzung bestimmt die beiden Gebrauchskategorien:

- Kategorie A: häufige Nutzung (in Nähe des Verbrauchers);
- Kategorie B: gelegentliche Nutzung (Eingang der Installation oder Verteilung).

Tabelle C

$I_e$ (A)	$\leq 100$	$\leq 315$	$\leq 630$	$\leq 2500$	$> 2500$
Schaltspiele/ Stunde	120	120	60	20	10
Schaltspiele Kategorie A					
Stromlos	8500	7000	4000	2500	1500
Unter Strom	1500	1000	1000	500	500
Gesamt	10000	8000	5000	3000	2000
Schaltspiele Kategorie B					
Stromlos	1700	1400	800	500	300
Unter Strom	300	200	200	100	100
Gesamt	2000	1600	1000	600	400

#### • Bemessungsbetriebsstrom $I_e$

Der Bemessungsbetriebsstrom ( $I_e$ ) ergibt sich aus den Tests bezüglich der mechanischen und elektrischen Lebensdauer und des Ein- und Ausschaltvermögens der Geräte.

#### • Kurzschluss

- Bemessungskurzzeitstromfestigkeit ( $I_{cw}$ ): zulässiger Effektivstrom während 1 Sekunde (1-Sekunden-Strom).
- Bemessungskurzschlusseinschaltvermögen ( $I_{cm}$ ): zulässiger Scheitelstromwert des Gerätes im Falle einer Kurzschlusseinschaltung.
- Bedingter Kurzschlussstrom: geschätzter Effektivstrom, den der Schalter zulässt, wenn er mit einer Schutzvorrichtung verbunden ist, die die Kurzschlussstärke und -dauer begrenzt.
- Dynamische Festigkeit: zulässiger Scheitelstromwert in Einschaltstellung.

Die Bemessungskurzzeitstromfestigkeit ( $I_{cw}$ ) wird durch die Norm bestimmt. Abzüglich der minimalen dynamischen Festigkeit entspricht diese Festigkeit dem Wert, den der Schalter zulässt, ohne zu verschweißen.

## Installationsnormen IEC 60364 und IEC 60204

### ➤ Trennung § 536-2

Diese Funktion erlaubt das Abschalten einzelner Anlagenteile oder der Gesamtanlage, indem letztere oder die einzelne Teile der Anlage aus Sicherheitsgründen von jeglichen Energiequellen getrennt werden.

Die Trennfunktion unterscheidet folgende Eingriffe:

- **Eingriffe, die alle spannungsführenden Leitungen betreffen;**
- **Eingriffe ohne Belastung**, vorausgesetzt, dass ergänzende Einrichtungen vorgesehen werden, die eine Abschaltung des Nennbetriebsstroms verhindern (voreilend öffnende Hilfsschalter, Warnschild «Keine Betätigung unter Last»...). Aus Sicherheitsgründen kann die Abschaltung von einer Vorrichtung mit Ausschaltvermögen unter Last gewährleistet werden;
- **Trennung der Kontakte.**

### ➤ Abschaltung aus Wartungsgründen § 536-4

Diese Funktion garantiert Personensicherheit, indem sie erlaubt, eine Maschine stillzulegen und diesen Zustand für mechanische Wartungsarbeiten aufrechtzuerhalten.

Der Einbau dieser Vorrichtungen sollte eine eindeutige Erkennung erlauben und zweckentsprechend ausgeführt werden.

Die Vorrichtungen zur Abschaltung aus Wartungsgründen müssen die Trennung und die Notabschaltung erlauben.

Diese Funktion ist ebenfalls durch gekapselte Vorortschalter zu realisieren.

In diesen Gehäusen werden im Allgemeinen Schalter mit sichtbarer Trennung verwendet, da dieser Zustand von außen prüfbar sein muss. Der Grund für die Verwendung der sichtbaren Trennung ist die damit verbundene erhöhte Sicherheit für das Personal, das in einem mit Gefahren verbundenen Bereich eingesetzt wird.

### ➤ Not-Ausschaltung § 536-3

Diese Funktion erlaubt das Ausschalten der Endstromkreise. Das Abschalten der Verbraucher soll die Brandgefahr oder eine mögliche Berührungsgefahr verhindern. Schnelligkeit, leichte Identifizierung und Zugänglichkeit der Gerätebetätigung sind kennzeichnend für diese Funktion.

Die Einsatzschnelligkeit hängt von der Aufteilung der Räume, in denen sich die Anlagen befinden, von den verschiedenen Einrichtungen und dem anwesenden Personal ab.

Die Not-Ausschaltung unterscheidet folgende Eingriffe:

- **Eingriffe, die eine Verrichtung unter Last erfordern;**
- **Eingriffe, die alle spannungsführenden Leitungen betreffen.**

### ➤ Not-Stillstand IEC 60204 § 10-7

Diese Funktion berücksichtigt die mit den angetriebenen Geräteteilen von Maschinen verbundenen Gefahren und unterscheidet sich somit von der Not-Ausschaltung.

Der Not-Stillstand unterscheidet folgende Eingriffe:

- **Eingriffe, die eine Verrichtung unter Last erfordern;**
- **Eingriffe, die alle spannungsführenden Leitungen betreffen;**
- **Berücksichtigung der möglichen Bremsung.**

### ➤ Funktionelle Schalthandlungen § 536-5

Um einen ordnungsgemäßen Betrieb einer elektrischen Anlage zu garantieren, muss diese so aufgebaut sein, dass einzelne Anlagenteile vor Ort abgeschaltet werden können, ohne die Gesamtanlage stillzulegen. Neben der selektiven Abschaltung muss die funktionelle Schalteinrichtung umschalten, Lasten abwerfen, usw...

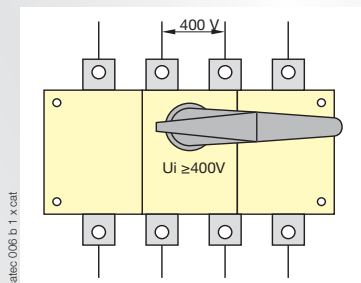
Funktionelle Schalthandlungen unterscheiden folgende Eingriffe:

- **Eingriffe, die eine Verrichtung unter Last erfordern;**
- **Eingriffe, die nicht unbedingt alle spannungsführenden Leitungen betreffen** (z. B. zwei von drei Phasen eines Motors).

## Auswahl eines Schaltgerätes

### ➤ Auswahl gemäß Bemessungsisolationsspannung

Sie kennzeichnet die maximale Gebrauchsspannung der Geräte bei Normalbedingungen des Netzes.



cat. 006 b 1 x cat

Bild 1:

#### Beispiel

In einem 230 V/400 V-Netz muss ein Gerät mit der Bemessungsisolationsspannung  $U_i \geq 400 \text{ V}$  (siehe Bild 1) gewählt werden.

In einem 400 V/690 V-Netz muss ein Gerät mit der Bemessungsisolationsspannung  $U_i \geq 690 \text{ V}$  eingesetzt werden.

### ➤ Dielektrische Tests

Zur Kennzeichnung der Spannungsfestigkeit eines Gerätes sieht die IEC-Norm 60947-3 folgende Bestimmungen vor:

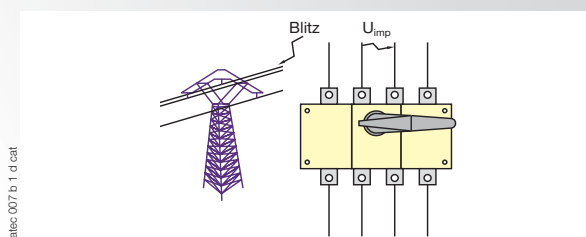
- Bemessungsstoßspannungsfestigkeit  $U_{imp}$  bei neuen Geräten vor den Tests (Kurzschluss, Lebensdauer...);
- Überprüfung der Spannungsfestigkeit nach diesen Tests mit einer Spannung von  $1,1 \times U_i$ .

### ➤ Bemessungsstoßspannungsfestigkeit $U_{imp}$

Sie kennzeichnet den Gebrauch eines Gerätes unter anormalen Netzbedingungen, die aus Überspannungen herrühren, welche ausgelöst wurden aufgrund:

- von Blitzeinwirkungen in den oberirdischen Leitungen;
- Schalthandlungen auf der Hochspannungsseite.

Diese Kennzeichnung drückt ebenfalls eine Spannungs-  
festigkeit des Gerätes aus (Beispiel:  $U_{imp} = 8 \text{ kV}$ ).



cat. 007 b 1 d cat

Bemessungsstoßfestigkeit  $U_{imp}$  der Geräte.

### ➤ Auswahl gemäß Netzform

Drehstromnetz mit Neutraleiter

Netz	Leiterquerschnitt Neutraleiter $\geq$ Leiterquerschnitt Phase	Leiterquerschnitt Neutraleiter $<$ Leiterquerschnitt Phase
TT		
TN-C		
TN-S		
IT mit N-Leiter		

— Trennen

— Schützen

(1) Der Neutraleiter ist nicht zu schützen, wenn er durch die Phasenschutzvorrichtung geschützt ist und wenn der max. Fehlerstrom im Neutraleiter wesentlich geringer ist als der max. zulässige Strom für den Leiter (IEC § 60364 § 473.3).

(2) Der Einsatz einer Sicherung im Neutraleiter muss unbedingt gleichzeitig mit einer Vorrichtung erfolgen, die den ausgelösten Zustand dieser Sicherung (Sicherung ausgelöst) anzeigt. Die Auslösung muss die Öffnung der entsprechenden Phasen bewirken, um sicherzustellen, dass die Anlage nicht ohne Neutraleiter eingeschaltet ist.



## Auswahl eines Schaltgerätes (Fortsetzung)

### ➤ Dimensionierung des Neutralleiters je nach Anwesenheit von harmonischen Oberschwingungen

#### • Leiterquerschnitt Neutralleiter < Leiterquerschnitt Phasen

Präsenz von 3. Harmonischen und deren Vielfache mit einem Prozentsatz kleiner als 15 %.

#### • Querschnitt Neutralleiter = Querschnitt Phasen

Präsenz von 3. Harmonischen und deren Vielfache mit einem Prozentsatz von 15 % bis 33 % (Verteilung für Entladungslampen oder Leuchtstoffröhre zum Beispiel).

#### • Leiterquerschnitt Neutralleiter > Leiterquerschnitt Phase

Präsenz von 3. Harmonischen und deren Vielfache mit einem Prozentsatz größer als 33 % (Stromkreise für EDV- und PC-Anlagen zum Beispiel). In diesem Fall schlägt der Abschnitt 524.2 der NFC 15100 vor: Leiterquerschnitt Neutralleiter = 1,45 Leiterquerschnitt Phase.

### ➤ Anwendungen in Gleichstromnetzen

Die im Hauptkatalog angegebenen Charakteristiken des Nennbetriebsstroms entsprechen dem Bild 1. Ist «2 Kontakte in Reihe je Pol» angegeben, siehe Bild 2.

#### Beispiel 1: Reihenschaltung der Kontakte.

Ein SIRCO 400 A, der in einem 500 VDC-Netz mit einem Nennbetriebsstrom von 400 A bei einer Gebrauchskategorie DC-23 eingesetzt wird, setzt 2 Kontakte in Reihe je Pol voraus.



Bild 1: ein Kontakt je Pol.

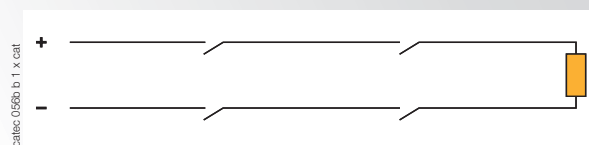
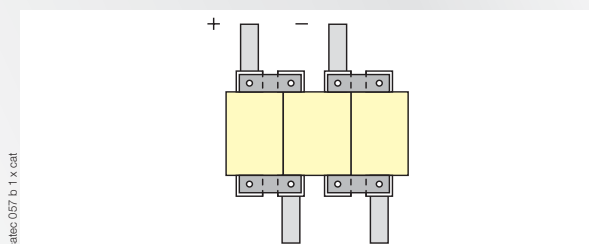


Bild 2: 2 Kontakte in Reihe je Pol.

#### Beispiel 2: Parallelschaltung der Kontakte.

Gerät mit 4 Polen verwendet mit 2 x 2 parallel geschalteten Polen.

Vichtsmaßnahmen beim Anschluss: eine gute Stromverteilung in beiden Zweigen muss gewährleistet sein.



## Anwendungsbeispiele

### ➤ Schutz

Beim Einsatz von SIDERMAT- oder FUSOMAT-Geräten zum Schutz gegen indirektes Berühren oder Kurzschluss muss die Auslösezeit dieser Geräte berücksichtigt werden. Die benötigte Zeit zwischen der Betätigung und der tatsächlichen Öffnung der Kontakte unterschreitet 0,05 s.

### ➤ Quellenumschaltung

Die Umschaltzeit 0 - I oder 0 - II liegt bei 0,7 bis 2,1 s. je nach Gerät.

Die Umschaltzeit I - II liegt bei 1,1 bis 3,6 s.

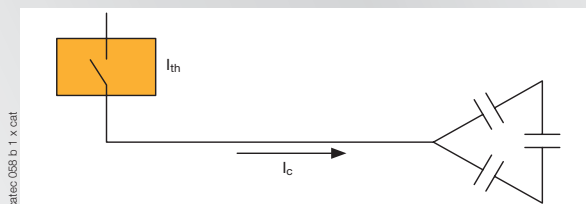


## Anwendungsbeispiele (Fortsetzung)

### Am Eingang von Kondensatorbatterien

Auswahl eines Schalters mit dem 1,5-fachen Nennstromwert im Vergleich zum Nennstrom der Kondensatoren ( $I_c$ ).

$$I_{th} > 1,5 I_c$$



### Am Eingang von Transformatoren

Es ist darauf zu achten, dass das Einschaltvermögen des Lasttrennschalters über dem Magnetisierungsstrom ( $I_d$ ) des Transformators liegt.

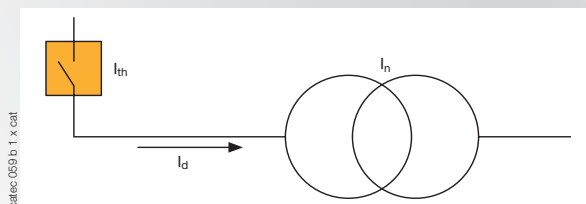
$$\text{Einschaltvermögen} > I_{th}$$

Tabelle A

P kVA	50	100	160	250	400	630	1000	1250	1600
$I_d / I_n$	15	14,5	14	13	12	11	10	9	8,5

$I_d$ : Magnetisierungsstrom des Transformators.

$I_n$ : Nennstrom des Transformators.



### Am Eingang von Motoren

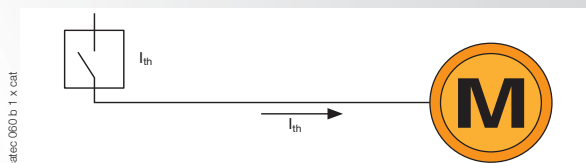
#### Bei Verwendung als Sicherheitsschalter

Bei Verwendung als Sicherheitsschalter muss dieser nach AC-23 des Motornennstroms ausgelegt sein ( $I_n$ ).

#### Bei Motoren mit hoher Schalzhäufigkeit

Bei Motoren mit hoher Schalzhäufigkeit muss der entsprechende thermische Nennstrom ( $I_{thq}$ ) festgelegt werden. Die Einschaltströme und Anlaufzeiten sind von Anlage zur Anlage sehr verschieden. Für Direktanlauf können folgende Richtwerte angenommen werden:

- Spitzenstrom: 8 bis 10  $I_n$ ;
- Dauer der Spitze: 20 bis 30 ms;
- Anlaufstrom  $I_d$ : 4 bis 8  $I_n$ ;
- Dauer des Anlaufs  $t_d$ : 2 bis 4 s.



Beispiel des Reduktionsfaktors je nach Anlaufart.

$$I_{thq} = I_n \times K_d \text{ und } I_{th} \geq I_{thq}$$

Tabelle B

Anlaufart	$\frac{I_d^{(4)}}{I_n}$	$t_d^{(4)}(s)$	$n^{(1)}$	$K_d^{(2)}$
Direktanlauf bis 170 kW	6 bis 8	0,5 bis 4	$n > 10$	$\frac{\sqrt{n}}{3,16}$
Y - Δ ( $I_d/3$ )	2 bis 2,5	3 bis 6	$n > 85$	$\frac{\sqrt{n}}{9,2}$
Direktanlauf - Motoren mit hoher Trägheit <sup>(3)</sup>	6 bis 8	6 bis 10	$n > 2$	$\frac{\sqrt{n}}{1,4}$

(1)  $n$ : Anzahl der Anläufe pro Stunde, nach deren Überschreiten ein Reduktionsfaktor berücksichtigt werden muss.

(2)  $K_d$ : Anlauffaktor  $\geq 1$ .

(3) Lüfter, Pumpen...

(4) unterschiedliche Durchschnittswerte je nach Motor und Verbraucher.

#### Bei regelmäßigem Überlast (außer Anläufe)

Für spezifische Verbraucher (Schweißmaschinen, Motoren) mit regelmäßigem Spitzenstrom kann der entsprechende thermische Nennstrom ( $I_{thq}$ ) wie folgt berechnet werden:

$$I_{thq} = \sqrt{\frac{(I_1^2 \times t_1) + (I_2^2 \times t_2) + I_n^2 \times (t_c - [t_1 + t_2])}{t_c}}$$

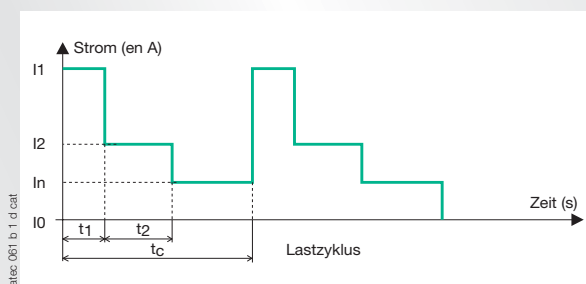
$I_1$ : Spitzenstrom des Verbrauchers.

$I_2$ : möglicher durchschnittlicher Überlaststrom.

$I_n$ : Nennstrom im Betrieb.

$t_1$  und  $t_2$ : Dauer der Ströme  $I_1$  und  $I_2$  in s.

$t_c$ : Dauer des Lastzyklus in s. mit einem unteren Wert von 30 s.



Regelmäßiger Betrieb.

## Korrekturfaktoren

Manche speziellen Anwendungen erfordern eine Änderung des thermischen Nennstroms durch einen Korrekturfaktor und die Nichtüberschreitung dieses Wertes.

### ☞ Kt Korrekturfaktor entsprechend der Temperatur

#### • Umgebungstemperatur beim Schalter

Tabelle A: Korrekturfaktor entsprechend der Umgebungstemperatur (ta)

Kt: Korrekturfaktor	
0,9	40 °C < ta ≤ 50 °C
0,8	50 °C < ta ≤ 60 °C
0,7	60 °C < ta ≤ 70 °C

#### • Lasttrennschalter mit Sicherungen

##### • Vereinfachte Methode

Korrekturfaktor 0,8 bei direkt angeschlossenen Sicherungsunterteilen

**Beispiel:** ein Lasttrennschalter mit Sicherungen 1250 A besteht aus einem Schalter 1600 A und aus 3 Sicherungen 1250 A gG.

• Eine genauere Berechnung ist für die verschiedenen Anwendungen möglich: bitte Rückfrage.

#### • Andere Abstufungen entsprechen der Temperatur

• Lasttrennschalter mit ultra-flinken Sicherungen.

• Kontinuierlicher Betrieb. In manchen Fällen ist eine Abstufung für einen 24-Stundenbetrieb unter Vollast erforderlich: bitte Rückfrage.

##### • Vereinfachte Methode

$$I_{thu} \leq I_{th} \times K_t$$

• Eine genauere Berechnung ist für die verschiedenen Anwendungen möglich: bitte Rückfrage.

### ☞ Kf Korrekturfaktor entsprechend der Frequenz

Tabelle B: Korrekturfaktor entsprechend der Frequenz f.

Kf: Korrekturfaktor	
0,9	100 Hz < f ≤ 1000 Hz
0,8	1000 Hz < f ≤ 2000 Hz
0,7	2000 Hz < f ≤ 6000 Hz
0,6	6000 Hz < f ≤ 10000 Hz

$$I_{thu} \leq I_{th} \times K_f$$

### ☞ Ka Korrekturfaktor entsprechend der Höhe

Tabelle C: Korrekturfaktor entsprechend der Höhe A

	2000 m < A ≤ 3000 m	3000 m < A ≤ 4000 m
Ue	0,95	0,80
Ie	0,85	0,85

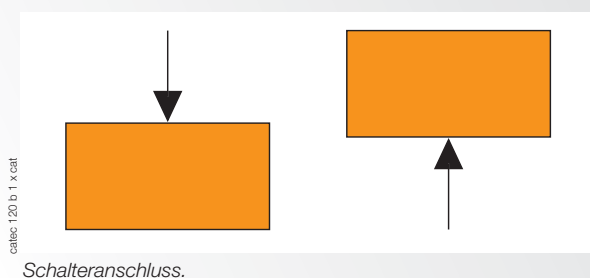
• Keine Reduzierung des Ith.

• Reduzierung von Ue und Ie, Wechselstrom und Gleichstrom.

### ☞ Kp Korrekturfaktor entsprechend der Einbaulage des Schalters

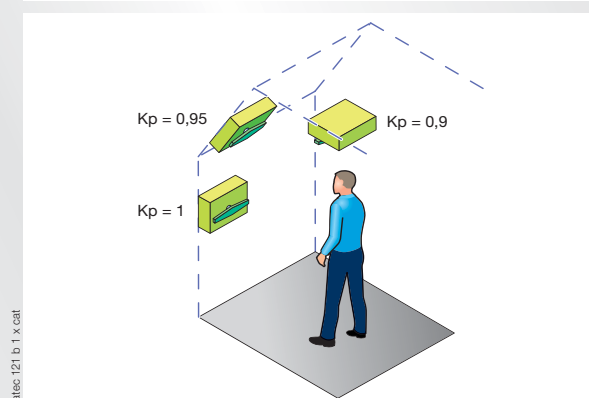
#### • Anschluss eingangs- oder ausgangsseitig

Alle Schalter von SOCOMEC haben doppelunterbrechende Kontakte (außer FUSOMAT 1250 A, FUSERBLOC V 1250 A und SIDERMAT mit Sicherungen). Die Einspeisung kann deshalb in jedem Falle von oben oder von unten erfolgen. Lediglich die Bezeichnung der Einspeiseseite hat gemäß den Vorschriften zu erfolgen.



#### • Kühlungseinschränkung

$$I_{thu} \leq I_{th} \times K_p$$



Korrekturfaktor entsprechend der Einbaulage.

## Allgemeine Eigenschaften

Eine Sicherung hat die Aufgabe einen Stromkreis bei einem Fehlerstrom zu unterbrechen. Sie bietet ebenfalls den Vorteil, hohe Fehlerströme begrenzen zu können (siehe nachfolgendes Beispiel). Sicherungen sind im Wesentlichen zuverlässige, einfache und kostengünstige Schutzvorrichtungen.

Folgende technische Eigenschaften bestimmen die Auswahl der Sicherungen:

- **Schmelzeit**

Zeit, die ein Strom benötigt, um den Schmelzeinsatz nach Ansprechen der Sicherung verdampfen zu lassen.

Sie ist unabhängig von der Netzspannung.

- **Lichtbogenzeit**

Zeitraum zwischen der Bogenbildung und dessen vollständiger Löschung. Die Lichtbogenzeit hängt von der Netzspannung ab; sie ist jedoch unbedeutend für eine gesamte Schmelzeit  $> 40$  ms im Vergleich zur Schmelzeit.

- **Gesamte Schmelzeit**

Summe der Schmelzeit und der Lichtbogenzeit.

- **Ausschaltvermögen**

Prospektiver Kurzschlussstrom, der bei einer gegebenen Betriebsspannung von der Sicherung ausgeschaltet werden kann.

- **Thermische Beanspruchung,  $\int_0^t I^2 dt$**

Integralwert des ausgeschalteten Stroms während der gesamten Schmelzeit  $A^2s$  (Amperequadrat Sekunde).

## Kurzschlussbegrenzung

Hierzu sind folgende Parameter zu beachten:

- der Scheitelstrom, der im geschützten Stromkreis tatsächlich erreicht wird;
- der prospektive Effektivstrom, der sich einstellt, wenn keine Sicherung im Stromkreis vorhanden ist.

Das Strombegrenzungsdiagramm veranschaulicht die Abhängigkeit der beiden Parameter (siehe Seiten 503 und 505). Der Scheitelstrom, der sich in einem geschützten Stromkreis tatsächlich entwickeln kann, wird folgendermaßen ermittelt:

- den max. effektiven Kurzschlussstrom errechnen (siehe Seite 476);
- anschließend anhand des Begrenzungsdiagramms den Scheitelwert je nach Nennstrom der eingesetzten Sicherung ablesen.

**Beispiel:** Begrenzung eines Kurzschlussstroms von 100 kA eff. mit einer gG-Sicherung 630 A.

Der prospektive 100 kA eff. Effektivstrom ergibt einen prospektiven Scheitelstrom von:  $100 \times 2,2 = 220$  kA.

Die Sicherung begrenzt den Scheitelstrom auf 50 kA, d. h. 23 % seines prospektiven Wertes (Bild 1); sie verursacht eine Minderung der elektrodynamischen Beanspruchung auf 5 % des Wertes ohne Schutzvorrichtung (Bild 2) und eine Minderung der thermischen Belastung, die auf 2,1 % ihres Wertes begrenzt ist (Bild 3).

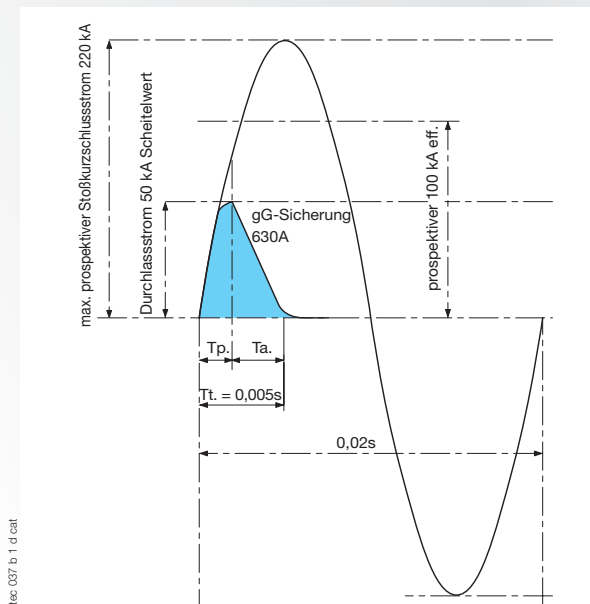
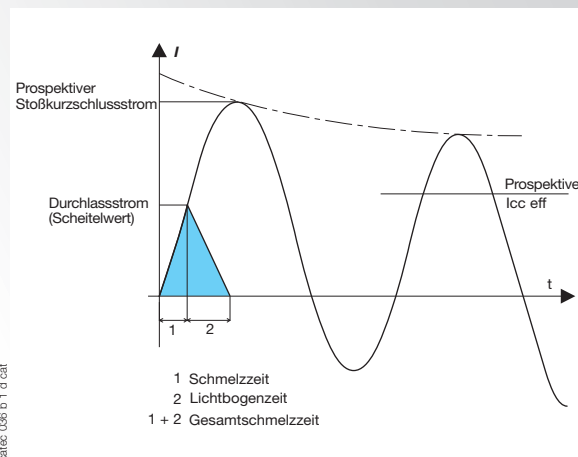


Bild 1: Begrenzung des Scheitelwerts.



Anmerkung: Kurzschlussbegrenzung nur wenn  $t_{\text{Schmelzeit}} < 5$  ms (50 Hz Netz).

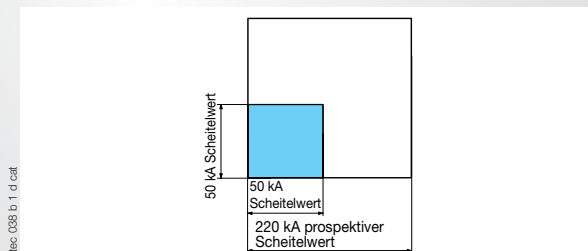


Bild 2: Begrenzung der elektrodynamischen Beanspruchung proportional zum Quadrat des Stroms.

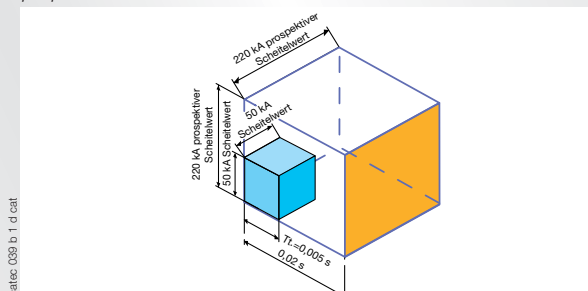


Bild 3: Begrenzung der thermischen Belastung  $I \times I \times t$ .

## Auswahl der Sicherung «gG» oder «aM»

Bei der Auswahl einer Sicherung müssen 3 Parameter beachtet werden:

- die Netzdaten;
- die Installationsvorschriften;
- die Charakteristiken des entsprechenden Stromkreises.

Folgende Berechnungen werden nur zur Information angegeben. Bei besonderen Anwendungen bitte anfragen.

### ↪ Netzdaten

#### • Spannung

Eine Sicherung kann keinesfalls eingesetzt werden, wenn die Effektivspannung ihre Nennspannung überschreitet. Sie funktioniert normal bei kleineren Spannungen.

#### • Frequenz

- $f < 5$  Hz: Man geht davon aus, dass die Betriebsspannung ( $U_e$ ) einer Gleichspannung und  $U_e = U_{\max}$  entspricht
- $5 \leq f < 48$  Hz
- $48 \leq f < 1000$  Hz: keine Reduktion der Spannung.

$$U_e \leq k_u \times U_n$$

f (Hz)	5	10	20	30	40
$k_u$	0,55	0,65	0,78	0,87	0,94

$k_u$ : Korrekturfaktor entsprechend der Frequenz.

#### • Kurzschlussstrom

Nach seiner Bestimmung muss sichergestellt werden, dass dessen Werte das Ausschaltvermögen der Sicherungen unterschreiten:

- 100 kA eff. für die Größen 14 x 51, 22 x 58, 00, 0, 1, 2, 3, 4, 4A;
- 50 kA eff. für die Größen 10,3 x 38.

### ↪ Installationsvorschriften

Benutzung einer Sicherung im Neutraleiter (siehe Seite 492).

#### • Netzformen

Je nach Netzform bieten die Sicherungen eine oder zwei der folgenden Schutzfunktionen:

- gegen Überstrom: A;
- gegen indirekte Kontakte: B.

Netzform	Schutzfunktionen
TT	A
IT	A + B
TN-C	A + B
TN-S	A + B

### ↪ Charakteristiken des Stromkreises

Einfluss der Umgebungstemperatur ( $t_a$ ) auf die Sicherungen.

$$I_{th} U \leq K_t \times I_n$$

$I_{th} U$ : thermische Betriebsstromstärke: max. Dauerstrom, den das Gerät während 8 Stunden unter besonderen Umständen zulässt.

$I_n$ : Nennstrom der Sicherung.

$K_t$ : Koeffizient, siehe folgende Tabelle

$t_a$	K <sub>t</sub>			
	gG-Sicherung		aM-Sicherung	
	Sicherung-sunterteil	Schalter mit Sicherungen	Sicherung-sunterteil	Schalter mit Sicherungen
40°	1	1	1	1
45°	<b>1</b>	<b>0,95</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
50°	0,93	0,90	0,95	0,95
55°	<b>0,90</b>	<b>0,86</b>	<b>0,93</b>	<b>0,90</b>
60°	0,86	0,83	0,90	0,86
65°	<b>0,83</b>	<b>0,79</b>	<b>0,86</b>	<b>0,83</b>
70°	0,80	0,76	0,84	0,80

Befindet sich die Sicherung in einem belüfteten Gehäuse, müssen die  $K_t$ -Werte mit  $K_v$  multipliziert werden.

- Luftgeschwindigkeit  $V < 5$  m/s  $K_v = 1 + 0,05 V$
- Luftgeschwindigkeit  $V \geq 5$  m/s  $K_v = 1,25$

**Beispiel:** gG-Sicherung mit Unterteil in einem belüfteten Gehäuse

- Temperatur im Gehäuse: 60 °C.

- Luftgeschwindigkeit: 2 m/s

$$K_v = 1 + 0,05 \times 2 = 1,1$$

$$K_t = 1,1 \times 0,86 = 0,95.$$

## Auswahl der Sicherung gG oder aM (Fortsetzung)

### ➤ Charakteristiken des Stromkreises (Fortsetzung)

#### • Vorsichtsmaßnahmen bei einer Höhe > 2000 m

- Keine Abstufung der Stromstärke.
- Begrenztes Ausschaltvermögen: bitte Rückfrage.
- Eine Abstufung der Größe wird empfohlen.

#### • Eingang eines Trenntransformators

Das Einschalten mit einem Transformator ohne Belastung bewirkt einen erheblichen Stromstoß. Am Eingang wird eine Sicherung vom Typ aM eingesetzt, die bei wiederholter Überlast besser geeignet ist. Die Sekundärseite wird durch gG-Sicherungen geschützt.

#### • Am Eingang von Motoren

Im Allgemeinen sichern Thermorelais den Schutz von Motoren. Die Versorgungsleiter der Motoren sind durch aM- oder gG-Sicherungen geschützt. In der Tabelle A finden Sie die entsprechenden Nennströme der Sicherungen, je nach Motorleistung.

#### Bemerkung:

- Die Höhe des Nennstromes eines Motors ist je nach Hersteller unterschiedlich. In der Tabelle A werden lediglich Richtwerte angegeben;
- Für diese Anwendung wird empfohlen, anstelle von gG-Sicherungen aM-Sicherungen einzusetzen;
- Im Falle von wiederholten oder schwierigen Anläufen (Direktanlauf > 7 I<sub>n</sub>, während mehr als 2 s oder Anlauf > 4 I<sub>n</sub>, während mehr als 10 s) ist es ratsam, eine Sicherung mit einem höheren Nennstrom zu benutzen. Es ist jedoch auf die richtige Zuordnung von Sicherung und Schalter zu achten (siehe Seite 509);
- Hat eine aM-Sicherung ausgelöst, ist es ratsam, die Sicherungen in den zwei anderen Phasen ebenfalls auszuwechseln.

Tabelle A: Schutz von Motoren durch aM-Sicherungen

Motor							
400 V dreiph.			500 V dreiph.			Nennströme der Sicherung	Empf. Sicherungsgröße
kW	PS	In (A)	kW	PS	In (A)		
7,5	10	15,5	11	15	18,4	20	10 x 38 oder 14 x 51
<b>11</b>	<b>15</b>	<b>22</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>23</b>	<b>25</b>	<b>10 x 38 oder 14 x 51</b>
15	20	30	18,5	25	28,5	40	14 x 51
<b>18,5</b>	<b>25</b>	<b>37</b>	<b>25</b>	<b>34</b>	<b>39,4</b>	<b>40</b>	<b>14 x 51</b>
22	30	44	30	40	45	63	22 x 58
<b>25</b>	<b>34</b>	<b>51</b>	<b>40</b>	<b>54</b>	<b>60</b>	<b>63</b>	<b>22 x 58</b>
30	40	60	45	60	65	80	22 x 58
<b>37</b>	<b>50</b>	<b>72</b>	<b>51</b>	<b>70</b>	<b>75</b>	<b>100</b>	<b>22 x 58</b>
45	60	85	63	109	89	100	22 x 58
<b>55</b>	<b>75</b>	<b>105</b>	<b>80</b>	<b>110</b>	<b>112</b>	<b>125</b>	<b>T 00</b>
75	100	138	110	150	156	160	T 0
<b>90</b>	<b>125</b>	<b>170</b>	<b>132</b>	<b>180</b>	<b>187</b>	<b>200</b>	<b>T 1</b>
110	150	205	160	220	220	250	T 1
<b>132</b>	<b>180</b>	<b>245</b>	<b>220</b>	<b>300</b>	<b>310</b>	<b>315</b>	<b>T 2</b>
160	218	300				315	T 2
<b>200</b>	<b>270</b>	<b>370</b>	<b>250</b>	<b>340</b>	<b>360</b>	<b>400</b>	<b>T 2</b>
250	340	475	335	450	472	500	T 3
<b>315</b>	<b>430</b>	<b>584</b>	<b>450</b>	<b>610</b>	<b>608</b>	<b>630</b>	<b>T 3</b>
400	550	750	500	680	680	800	T 4

#### • Am Eingang von Kondensatorbatterien

Der Nennstrom der eingesetzten Sicherung sollte mindestens dem 2-fachen Nennstrom der Kondensatoren entsprechen (I<sub>c</sub>).

$$I_n \geq 2 I_c$$

cales 118 b 1 x cat

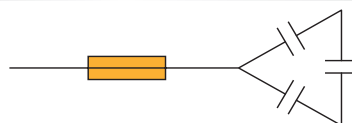


Tabelle B: Nennstrom der Sicherungen für Kondensatorbatterien bei 400 V.

Kapazität in Kvar	5	10	20	30	40	50	60	75	100	125	150
gG-Sicherung in A	20	32	63	80	125	160	200	200	250	400	400



## Auswahl der Sicherung gG oder aM (Fortsetzung)

### ➤ Charakteristiken des Stromkreises (Fortsetzung)

#### • Parallelschaltung

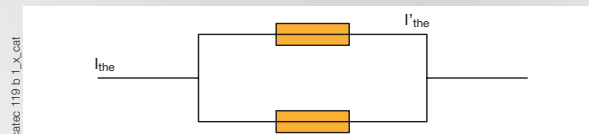
Es können nur zwei Sicherungen mit derselben Größe und demselben Nennstrom parallelgeschaltet werden.

$$I_{the} = I'_{the} \times 2$$

$$I_{oc} \text{ Scheitelwert ges. begrenzt} = I'_{oc} \text{ Scheitelwert ges. begrenzt} \times 1,59$$

$$i^2t_{\text{gesamt}} = i'^2t \times 2,52$$

$i^2t$ : Thermische Belastung einer Sicherung.



### ➤ Gleichstromnetze

Die Schmelzzeit ist in Gleichstrom- oder Wechselstromnetzen gleich. Die Zeit-/Strom-Kennlinien und das Begrenzungsdiagramm sind ebenfalls für Gleichstromnetze gültig. Die Lichtbogenzeit ist jedoch wesentlich länger, da in Gleichstromnetzen kein Nulldurchgang der Spannung erfolgt.

Die aufzunehmende thermische Energie ist sehr viel größer als in Wechselstromnetzen. Um eine gleichmäßige thermische Belastung der Sicherung zu sichern, muss die Gebrauchsspannung begrenzt werden.

Maximale Spannung	
Bei Wechselstrom	Bei Gleichstrom
400 V	260 V
500 V	350 V
690 V	450 V

Verwendung zylindrischer gG-Sicherungen.

Größe	Spannung	Gleichstrom	Ausschaltvermögen Gleichstrom
10 x 38	500 VAC ' 250 VDC	16 A	15 kA
14 x 51	500 VAC ' 250 VDC	32 A	15 kA
	690 VAC ' 440 VDC	32 A	10 kA
22 x 58	500 VAC ' 250 VDC	80 A	15 kA
	690 VAC ' 440 VDC	80 A	10 kA

Es ist ratsam, größere Sicherungen als die üblich angegebenen Sicherungen zu benutzen; der Nennstrom bleibt unverändert. Die Größen 10 x 38 und 14 x 51 sind Netzen  $\leq 12$  A vorbehalten.

Es wird empfohlen, bei stark induktiven Stromkreisen im Pluspol zwei Sicherungen in Reihe vorzusehen.

**aM-Sicherungen können nicht in DC-Stromkreisen benutzt werden.**

Bei Spannungen zwischen 450 und 800 VDC ist die Verwendung von UR-Sicherungen möglich: bitte Rückfrage.

## Schutz der Leitungen gegen Überlast durch Sicherungen gG

Die Spalte  $I_z$  gibt den Wert der maximal zulässigen Strombelastbarkeit für jeden Leiterquerschnitt von Kupfer- und Aluminiumkabeln gemäß der Norm IEC 60364 an.

Die Spalte F gibt die Nennstromstärke der Sicherung gG in Verbindung mit dem Leiterquerschnitt und dem Kabeltyp an.

Die Kategorien B, C, E und F entsprechen den verschiedenen Kabelverlegearten (*siehe Seite 571*).

Die Kabel sind in zwei Gruppen eingeteilt: PVC und PR (*siehe Tabelle Seite 572*). Die darauffolgende Zahl gibt die Anzahl der Leitungen unter Last an (PVC 3 steht für ein Kabel der Gruppe PVC mit 3 Leitern unter Last: 3 Phasen oder 3 Phasen + Neutralleiter).

**Beispiel:** ein Kupferkabel PR3 mit 25 mm<sup>2</sup>, installiert in der Kategorie E, ist auf 127 A begrenzt und wird durch eine Sicherung von 100 A gG geschützt.

Kategorie		Zulässige Strombelastbarkeit ( $I_z$ ) in Verbindung mit Sicherungsschutz (F)																	
B	PVC3	PVC2						PR3					PR2						
C		PVC3						PVC2	PR3				PR2						
E			PVC3						PVC2	PR3				PR2					
F					PVC3					PVC2	PR3				PR2				PR2
Leiterquerschnitt S (mm <sup>2</sup> )																			
Kupfer	$I_z$	F	$I_z$	F	$I_z$	F	$I_z$	F	$I_z$	F	$I_z$	F	$I_z$	F	$I_z$	F	$I_z$	F	
1,5	15,5	10	17,5	10	18,5	16	19,5	16	22	16	23	20	24	20	26	20			
2,5	21	16	24	20	25	20	27	20	30	25	31	25	33	25	36	32			
4	28	25	32	25	34	25	36	32	40	32	42	32	45	40	49	40			
6	36	32	41	32	43	40	46	40	51	40	54	50	58	50	63	50			
10	50	40	57	50	60	50	63	50	70	63	75	63	80	63	86	63			
16	68	50	76	63	80	63	85	63	94	80	100	80	107	80	115	100			
25	89	80	96	80	101	80	112	100	119	100	127	100	138	125	149	125	161	125	
35	110	100	119	100	126	100	138	125	147	125	158	125	171	125	185	160	200	160	
50	134	100	144	125	153	125	168	125	179	160	192	160	207	160	225	200	242	200	
70	171	125	184	160	196	160	213	160	229	200	246	200	269	160	289	250	310	250	
95	207	160	223	200	238	200	258	200	278	250	298	250	328	250	352	315	377	315	
120	239	200	259	200	276	250	299	250	322	250	346	315	382	315	410	315	437	400	
150			299	250	319	250	344	315	371	315	399	315	441	400	473	400	504	400	
185			341	250	364	315	392	315	424	315	456	400	506	400	542	500	575	500	
240			403	315	430	315	461	400	500	400	538	400	599	500	641	500	679	500	
300			464	400	497	400	530	400	576	500	621	500	693	630	741	630	783	630	
400									656	500	754	630	825	630			840	800	
500									749	630	868	800	946	800			1083	1000	
630									855	630	1005	800	1088	800			1254	1000	
Aluminium																			
2,5	16,5	10	18,5	10	19,5	16	21	16	23	20	24	20	26	20	28	25			
4	22	16	25	20	26	20	28	25	31	25	32	25	35	32	38	32			
6	28	20	32	25	33	25	36	32	39	32	42	32	45	40	49	40			
10	39	32	44	40	46	40	49	40	54	50	58	50	62	50	67	50			
16	53	40	59	50	61	50	66	50	73	63	77	63	84	63	91	80			
25	70	63	73	63	78	63	83	63	90	80	97	80	101	80	108	100	121	100	
35	86	80	90	80	96	80	103	80	112	100	120	100	126	100	135	125	150	125	
50	104	80	110	100	117	100	125	100	136	125	146	125	154	125	164	125	184	160	
70	133	100	140	125	150	125	160	125	174	160	187	160	198	160	211	160	237	200	
95	161	125	170	125	183	160	195	160	211	160	227	200	241	200	257	200	289	250	
120	188	160	197	160	212	160	226	200	245	200	263	250	280	250	300	250	337	250	
150			227	200	245	200	261	200	283	250	304	250	324	250	346	315	389	315	
185			259	200	280	250	298	250	323	250	347	315	371	315	397	315	447	400	
240			305	250	330	250	352	315	382	315	409	315	439	400	470	400	530	400	
300			351	315	381	315	406	315	440	400	471	400	508	400	543	500	613	500	
400									526	400	600	500	663	500			740	630	
500									610	500	694	630	770	630			856	630	
630									711	630	808	630	899	800			996	800	

## Schutz der Leitungen durch Sicherungen

### ➔ Maximale Länge der durch Sicherungen geschützten Leiter

Die Tabellen A und B geben die maximalen Längen unter den folgenden Bedingungen an:

- Drehstromkreis 230 V / 400 V;
- Querschnitt des Neutralleiters = Querschnitt der Phase;
- minimaler Kurzschlussstrom;
- Kupferleitungen.

Die Tabellen sind für alle Arten von Kabelisolierungen gültig (PVC, PR, EPR). Wenn zwei Werte identisch sind, so entspricht der erste den PVC-Kabeln und der zweite den PR/ERP-Kabeln.

Die Längen sind zu multiplizieren mit den Faktoren der Tabelle C für andere Verwendungsfälle.

Aluminiumkabel: Multiplizieren Sie die Längen der Tabellen mit 0,41.

Tabelle A: maximale Länge in m der durch gG-Sicherungen geschützten Kabel.

NH S (mm²)	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
1,5	82	59/61	38/47	18/22	13/16	6/7														
<b>2,5</b>		<b>102</b>	<b>82</b>	<b>49/56</b>	<b>35/43</b>	<b>16/20</b>	<b>12/15</b>	<b>5/7</b>												
4			131	89	76	42/52	31/39	14/17	8/10	4/5										
<b>6</b>				<b>134</b>	<b>113</b>	<b>78</b>	<b>67/74</b>	<b>31/39</b>	<b>18/23</b>	<b>10/12</b>	<b>7/9</b>									
10					189	129	112	74	51/57	27/34	19/24	9/12	7/9	3/4						
<b>16</b>							<b>179</b>	<b>119</b>	<b>91</b>	<b>67</b>	<b>49/56</b>	<b>24/30</b>	<b>18/23</b>	<b>9/11</b>	<b>5/7</b>	<b>3/4</b>				
25							186	143	104	88	59/61	45/53	22/27	13/16	7/9	4/5				
<b>35</b>								<b>200</b>	<b>146</b>	<b>123</b>	<b>86</b>	<b>75</b>	<b>43/52</b>	<b>25/36</b>	<b>14/18</b>	<b>8/11</b>	<b>4/5</b>			
50									198	167	117	101	71	45/74	26/33	16/22	8/11	5/7		
<b>70</b>										<b>246</b>	<b>172</b>	<b>150</b>	<b>104</b>	<b>80</b>	<b>57/60</b>	<b>34/42</b>	<b>17/22</b>	<b>11/14</b>		
95											233	203	141	109	82	62	32/40	20/25	9/11	
<b>120</b>													<b>256</b>	<b>179</b>	<b>137</b>	<b>103</b>	<b>80</b>	<b>51/57</b>	<b>32/40</b>	<b>14/18</b>
150													272	190	145	110	85	61	42/48	20/24
<b>185</b>														<b>220</b>	<b>169</b>	<b>127</b>	<b>98</b>	<b>70</b>	<b>56</b>	<b>27/34</b>
240																205	155	119	85	68 43/46

Tabelle B: maximale Länge in m der durch aM-Sicherungen geschützten Kabel.

NH S (mm²)	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
1,5	28/33	19/23	13/15	8/10	6/7															
<b>2,5</b>	<b>67</b>	<b>47/54</b>	<b>32/38</b>	<b>20/24</b>	<b>14/16</b>	<b>9/11</b>	<b>6/7</b>													
4	108	86	69	47/54	32/38	22/25	14/17	9/11	6/7											
<b>6</b>	<b>161</b>	<b>129</b>	<b>104</b>	<b>81</b>	<b>65/66</b>	<b>45/52</b>	<b>29/34</b>	<b>19/23</b>	<b>13/15</b>	<b>9/10</b>	<b>6/7</b>									
10				135	108	88	68	47/54	32/38	21/25	14/16	9/11	6/7							
<b>16</b>						<b>140</b>	<b>109</b>	<b>86</b>	<b>69</b>	<b>49/55</b>	<b>32/38</b>	<b>21/25</b>	<b>14/17</b>	<b>9/11</b>						
25							135	108	86	67	47/54	32/38	21/25	14/16	9/11					
<b>35</b>								<b>151</b>	<b>121</b>	<b>94</b>	<b>75</b>	<b>58/60</b>	<b>38/45</b>	<b>25/30</b>	<b>17/20</b>	<b>11/13</b>	<b>7/9</b>			
50										128	102	82	65	43/51	29/36	19/24	13/15	8/10		
<b>70</b>											<b>151</b>	<b>121</b>	<b>96</b>	<b>75</b>	<b>58/60</b>	<b>38/45</b>	<b>25/30</b>	<b>17/20</b>	<b>11/13</b>	
95												205	164	130	102	82	65	43/51	29/34	19/23
<b>120</b>														<b>164</b>	<b>129</b>	<b>104</b>	<b>82</b>	<b>65</b>	<b>44/52</b>	<b>29/35</b>
150															138	110	88	69	55	37/44
<b>185</b>																<b>128</b>	<b>102</b>	<b>80</b>	<b>64</b>	<b>51</b>
240																	123	97	78	62

Tabelle C Korrekturfaktor für andere Netze

Anwendungsfall	Faktor
Querschnitt des Neutralleiters = 0,5 x Querschnitt der Phase	0,67
<b>Stromkreis ohne Neutralleiter</b>	<b>1,73</b>

(1) Beim Lesen der Tabelle beginnt man mit dem Querschnitt der Phasen.

## Schutz gegen indirektes Berühren durch Sicherungen

### ➔ Maximale Länge der durch Sicherungen geschützten Leiter

Die Länge der gegen indirektes Berühren geschützten Leiter muss begrenzt sein.

Die Tabellen B und C geben direkt die maximalen Längen von Kupferleitern an. Sie sind unter den folgenden Bestimmungen ermittelt worden:

- Netz 230 / 400 V;
- TN-System;
- maximale Berührungsspannung  $U_L = 50 \text{ V}$ ;
- $\frac{\varnothing_{ph}}{\varnothing_{PE}} = m = 1$ .

Für andere Verwendungsarten muss der in Tabelle B und C abgelesene Wert mit dem Faktor der Tabelle A multipliziert werden.

Tabelle A

		Korrekturfaktor
Aluminiumleiter		0,625
<b>Querschnitt PE = 1/2 Querschnitt Phase (m = 2)</b>		<b>0,67</b>
IT-System	ohne N-Leiter	0,86
	mit N-Leiter	0,5
<b>Ausschaltzeit 5 s zul. (Verteilerschaltkreis)</b>	<b>für mit gG-Sicherungen geschützte Leitungen</b>	<b>1,88</b>
	<b>für mit aM-Sicherungen geschützte Leitungen</b>	<b>1,53</b>

Tabelle B: maximale Länge (in m) der durch gG-Sicherungen geschützten Leiter (Nennstrom in A).

S (mm²) \ (A)	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
1,5	53	40	32	22	18	13	11	7	8	4	3									
2,5	88	66	53	36	31	21	18	12	9	7	6	4								
4	141	106	85	58	49	33	29	19	15	11	9	6	6	4						
6	212	159	127	87	73	50	43	29	22	16	14	10	8	6	4					
10	353	265	212	145	122	84	72	48	37	28	23	16	14	10	7	6	4			
16	566	424	339	231	196	134	116	77	59	43	36	25	22	15	12	9	7	5	4	
25	884	663	530	361	306	209	181	120	92	67	57	40	35	24	18	14	11	8	6	4
35		928	742	506	428	293	253	169	129	94	80	56	48	34	26	20	15	11	9	6
50				687	581	398	343	229	176	128	108	76	66	46	35	27	20	15	12	8
70					856	586	506	337	259	189	159	11	97	67	52	39	30	22	17	11
95						795	687	458	351	256	216	151	131	92	70	53	41	29	23	16
120							868	578	444	323	273	191	166	116	89	67	62	37	23	20
150								615	472	343	290	203	178	123	94	71	54	39	31	21
185								714	547	399	336	235	205	145	110	82	64	46	36	24
240									666	485	409	286	249	173	133	100	77	55	44	29
300										566	477	334	290	202	155	117	90	65	51	34

Tabelle C: maximale Länge (in m) der durch aM-Sicherungen geschützten Leiter (Nennstrom in A).

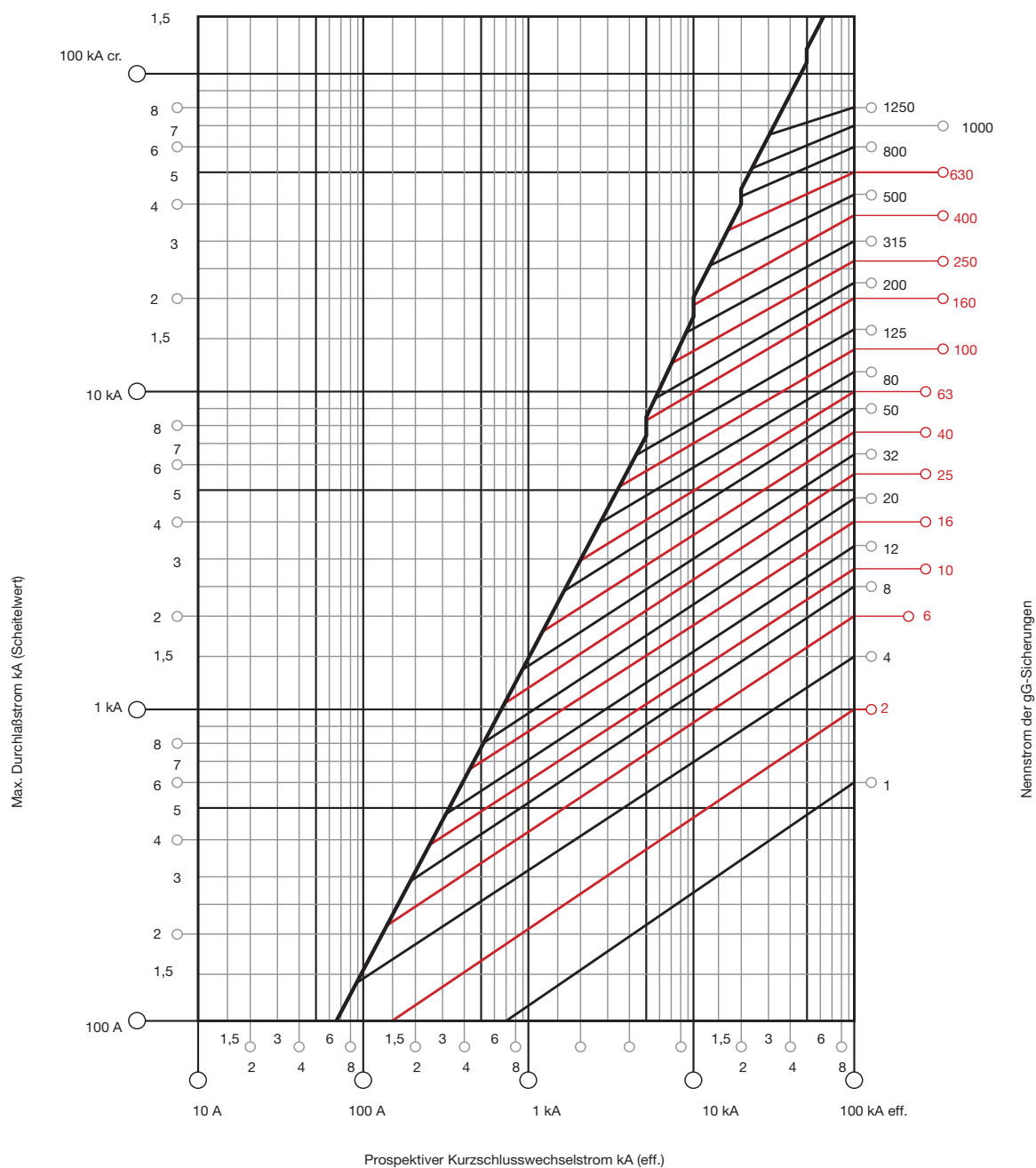
S (mm²) \ (A)	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
1,5	28	23	18	14	11	9	7	6	5	4										
2,5	47	38	30	24	19	15	12	9	8	6	5									
4	75	60	48	38	30	24	19	15	12	10	8		6	5	4					
6	113	90	72	57	45	36	29	23	18	14	11	9	7	6	5	4				
10	188	151	121	94	75	60	48	38	30	24	19	15	12	10	8	6	5	4		
16	301	241	193	151	121	96	77	60	48	39	30	24	19	15	12	10	8	6	5	4
25	470	377	302	236	188	151	120	94	75	60	47	38	30	24	19	16	12	9	8	6
35	658	527	422	330	264	211	167	132	105	84	66	53	42	33	26	21	17	13	11	8
50	891	714	572	447	357	285	227	179	144	115	90	72	57	46	36	29	23	18	14	11
70			845	660	527	422	335	264	211	169	132	105	84	67	53	42	33	26	21	17
95				895	716	572	454	358	286	229	179	143	115	91	72	57	45	36	29	23
120					904	723	574	462	362	289	226	181	145	115	90	72	57	45	36	29
150						794	630	496	397	317	248	198	159	126	99	79	63	50	40	32
185							744	586	469	375	293	234	188	149	117	94	74	59	47	38
240								730	584	467	365	292	234	185	146	117	93	73	58	47
300									702	562	439	351	281	223	175	140	11	88	70	56

**Beispiel:** Ein Stromkreis besteht aus einem Kupferkabel  $3 \times 6 \text{ mm}^2$  und wird durch eine Sicherung 40 A gG geschützt. Seine Länge müsste kleiner sein als 73 m, damit der Schutz gegen indirektes Berühren in TN 230 V / 400V gewährleistet ist.

- Wenn das Kabel aus Aluminium ist, ist die maximale Länge:  $0,625 \times 73 \text{ m} = 45,6 \text{ m}$ .
- Im IT-System mit einem Neutraleiter und bei Aluminiumkabel beträgt die Länge:  $0,625 \times 0,5 \times 73 \text{ m} = 22,8 \text{ m}$ .
- Im IT-System mit einem Neutraleiter und bei Aluminiumkabel zur Versorgung eines Verteilerschranks beträgt die Länge:  $0,625 \times 0,5 \times 1,88 = 42,8 \text{ m}$ .

## Kurven von gG-Sicherungen

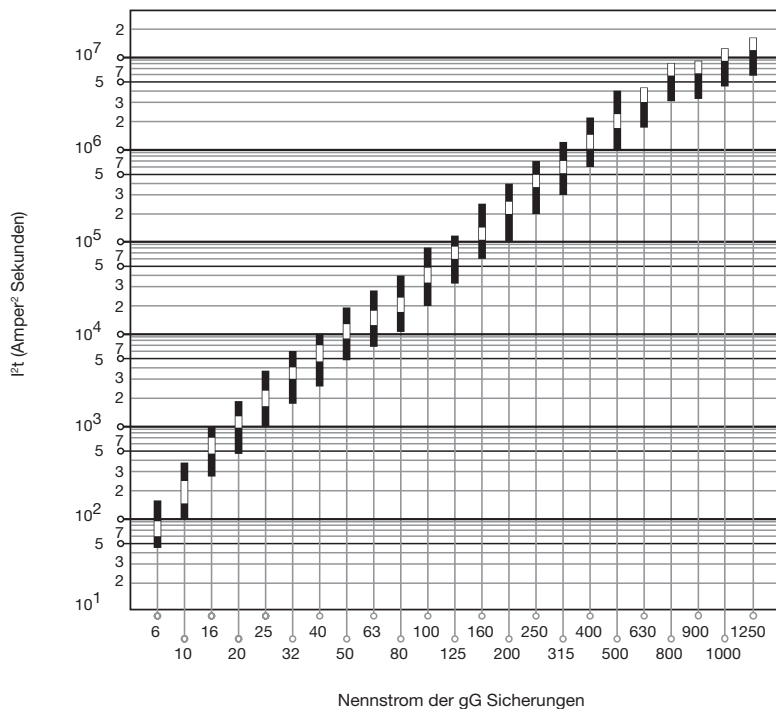
## ➔ Strombegrenzungsdiagramm





## Kurven von gG-Sicherungen (Fortsetzung)

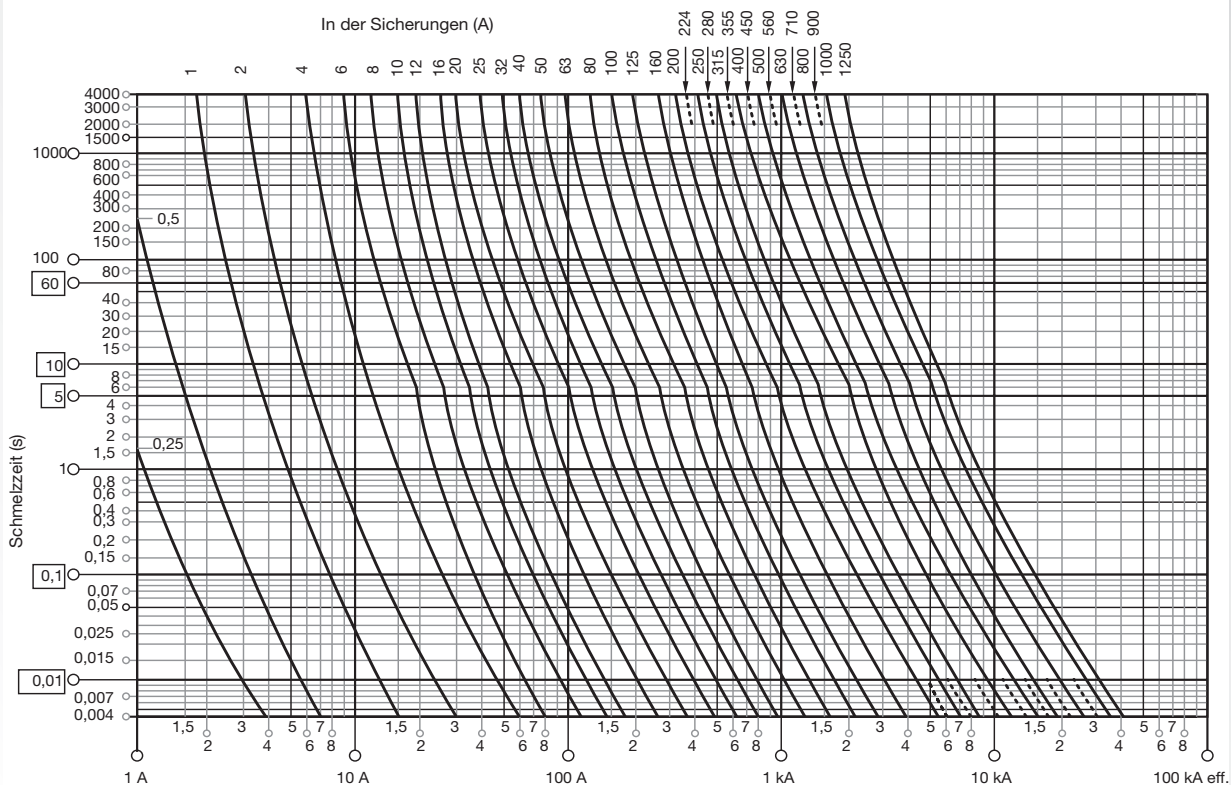
### Thermische Belastung



catrec 225 c 1 d cat

catrec 227 b 1 d cat

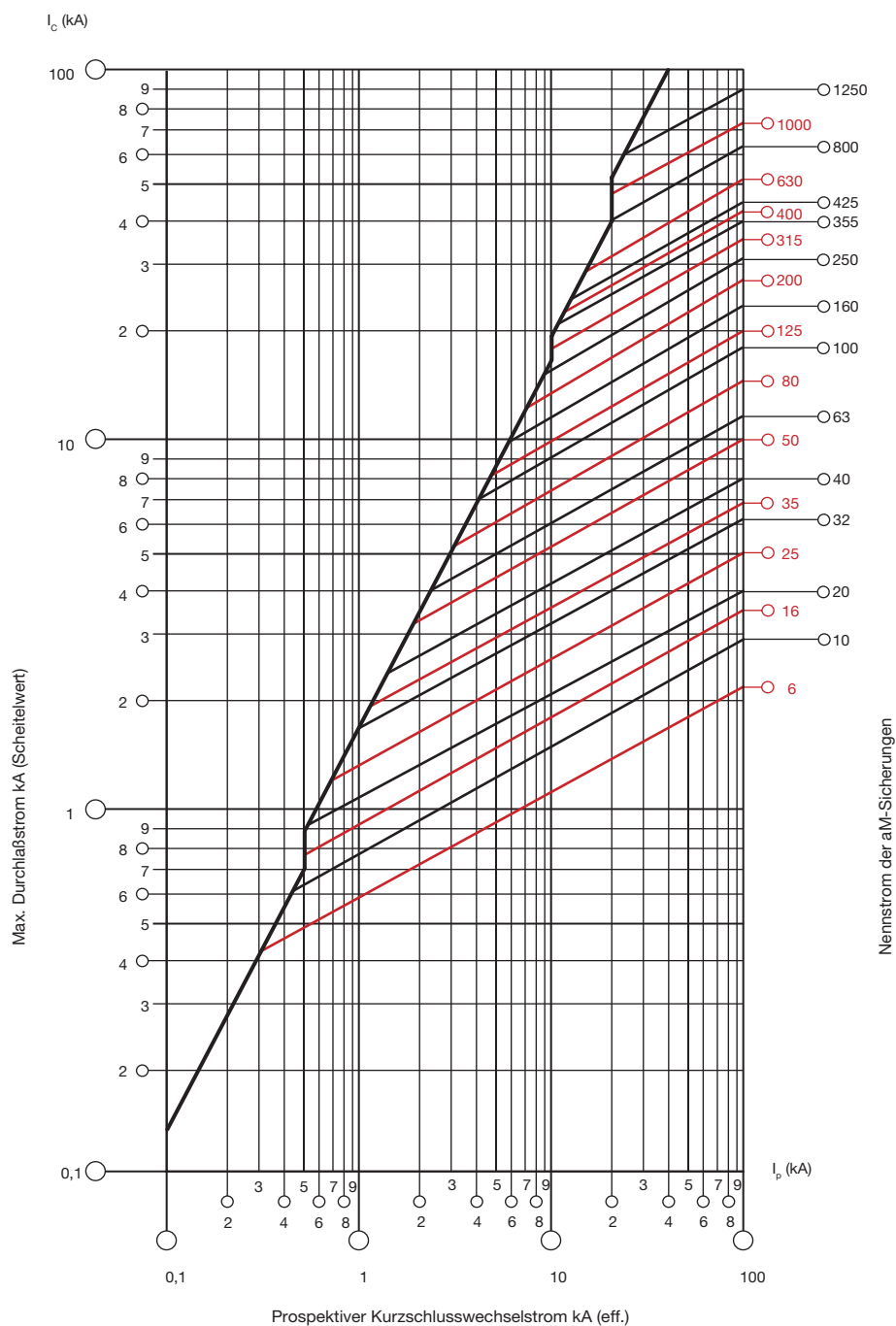
### Zeit/Strom-Betriebskennlinien



catrec 111 d 1 d cat

## Kurven von aM-Sicherungen

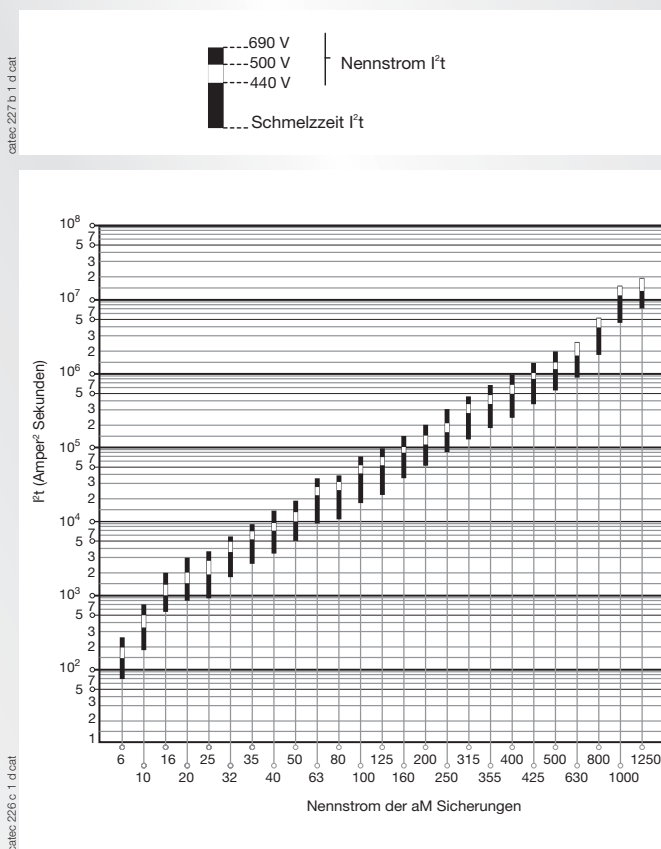
## ➔ Strombegrenzungsdiagramm



callec 114 g 1 d cat

## Kurven von aM-Sicherungen (Fortsetzung)

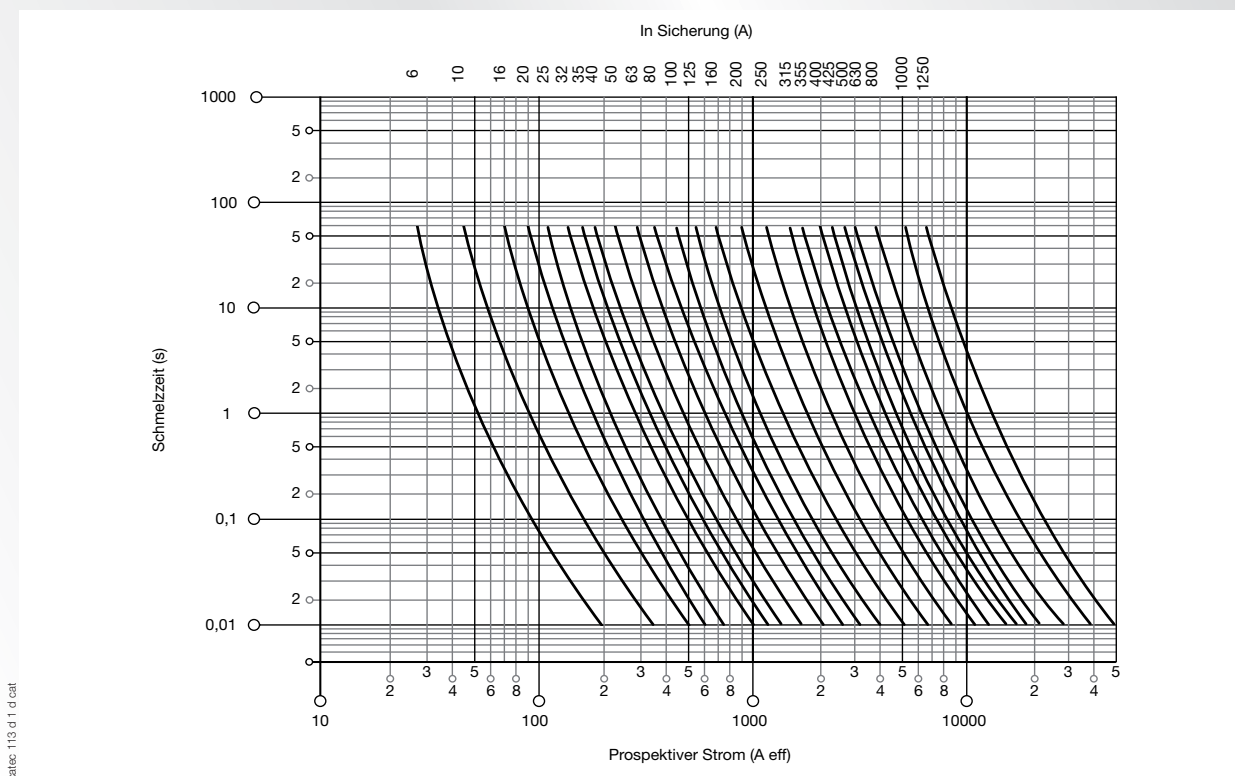
### Thermische Belastung



### Verlustleistung mit Schlagstift (W)

Nennbetriebsstrom	Sicherungsgröße						
$I_n$ (A)	000	00	0/0S	1	2	3	4
6	0,33		0,42				
10	<b>0,52</b>		<b>0,67</b>				
16	0,81		0,98				
20	<b>0,92</b>		<b>1,04</b>				
25	1,08		1,17				
32	<b>1,42</b>		<b>1,67</b>				
35	1,58		1,72				
40	<b>1,68</b>		<b>1,91</b>				
50		2,28	2,51				
63		<b>2,9</b>	<b>3,35</b>	<b>3,2</b>			
80		4,19	4,93	4,6			
100		<b>5,09</b>	<b>5,72</b>	<b>5,7</b>			
125		6,29	7,30	6,98	7,6		
160		<b>7,73</b>	<b>9,50</b>	<b>9,2</b>	<b>9,7</b>		
200			12,3	13,7	13,9		
224				<b>14,0</b>	<b>14,0</b>		
250				15,3	17,0		
315					<b>26,0</b>	<b>20,6</b>	<b>18,8</b>
355					25,2	23,9	
400					<b>29,3</b>	<b>26,5</b>	<b>23,5</b>
425						28,3	
500						<b>35,8</b>	<b>34</b>
630						56,9	49
800							<b>70</b>
1000							80
1250							<b>108</b>

### Zeit/Strom-Betriebskennlinien



## Auswahl von UR-Sicherung

UR-Sicherungen (ultraflink) schützen gegen Kurzschlussströme. Durch ihre Konzeption ist die gesamte Schmelzzeit erheblich geringer im Vergleich zu gG- oder aM-Sicherungen.

Im Allgemeinen werden sie zum Schutz von Leistungshalbleitern benutzt ( $i^2t_{UR} < i^2t$  des zu schützenden Halbleiters).

Bei Überlast,  $I \sim 2 I_n$ ,  $t \geq 100$  Sekunden, ist ihr Einsatz jedoch zu vermeiden. Gegebenenfalls muss eine andere Vorrichtung zum Schutz gegen Überlast vorgesehen werden.

Die Auswahl einer UR-Sicherung ist sehr schwierig und kann für manche Anwendungen sehr komplex sein. Im Folgenden wird eine erste Vorgehensweise erläutert.

Für spezifische Anwendungen: bitte Rückfrage.

### Thermische Belastung

Dieser Parameter muss noch vor dem Nennstrom als erster berücksichtigt werden, da die UR-Sicherungen zum Schutz von Halbleitern benutzt werden. Die max. zulässige Belastung bestimmt die Zerstörungsgrenze dieser Halbleiter. Um einen wirkungsvollen Schutz zu sichern, muss die thermische Belastung der Sicherung etwa um 20 % unter der maximalen thermischen Belastung des Halbleiters liegen.

**Beispiel:** eine 30 A/400 V-Diode lässt eine max. thermische Belastung von 610 A<sup>2</sup>s zu. Die max. thermische Belastung der entsprechenden UR-Sicherung beläuft sich also auf:  $610 - 20\% = 488 \text{ A}^2\text{s}$  bei 400 V.

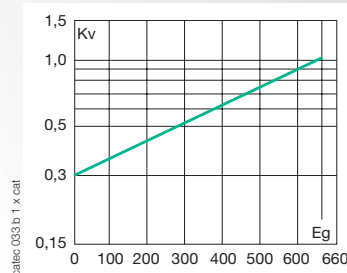
### Spannung

Die thermische Belastung wird im Allgemeinen für 660 V angegeben. Bei anderen Spannungen ist eine Korrektur erforderlich:

$$(i^2t) V = K_v \times (i^2t) 660 V$$

**Beispiel:** für  $U = 400 \text{ V}$  und  $K_v = 0,6$

$(i^2t) 400 \text{ V} = 0,6 \times (i^2t) 660 \text{ V}$



$K_v$ : Korrekturfaktor von  $P_t$   
 $U_{eff}$ : Effektivwert der Betriebsspannung.

Korrekturfaktor  $K_v$ .

### Leistungsfaktor

Die im Kapitel «Niederspannungsschaltgeräte» angegebene thermische Belastung entspricht einem Leistungsfaktor von 0,15 ( $\cos \varphi$  des fehlerhaften Stromkreises). Für andere Leistungsfaktoren muss die thermische Belastung mit dem Koeffizienten  $K_y$  multipliziert werden.

Leistungsfaktor	0,1	0,15	0,2	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
$K_y$	1,04	1,00	0,97	0,93	0,90	0,87	0,85	0,82	0,81

### Nennstrom

Nach Bestimmung der max. thermischen Belastung der Sicherung muss der Nennstrom des Stromkreises berücksichtigt werden.

**Beispiel:** im o. g. Beispiel ergab sich eine max. thermische Belastung der UR-Sicherung auf 488 A<sup>2</sup>s bei 400 V.

Bei 660 V beläuft sich dieser Wert auf  $488/0,6 = 813 \text{ A}^2\text{s}$ .

Strom in diesem Kreis: 20 A. Es wird also eine UR-Sicherung von 25 A eingesetzt, deren  $I^2t$  sich bei 660 V auf 560 A<sup>2</sup>s beläuft.

### Einfluss der Umgebungstemperatur

Der Nennstrom einer UR-Sicherung wird für eine Umgebungstemperatur von 20 °C angegeben.

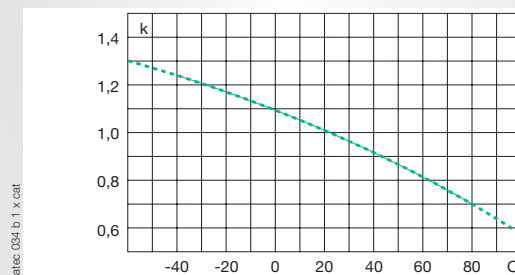
Der max. Betriebsstrom  $I_b$  wird wie folgt bestimmt:

$$I_b = K_{TUR} \times (1 + 0,05 v) \times I_n$$

$I_n$ : Nennstrom der Sicherung in A.

$v$ : Kühlluftgeschwindigkeit in m/s.

$K_{TUR}$ : Korrekturfaktor, entsprechend der Umgebungstemperatur (siehe Bild).



Korrekturfaktor  $K_{TUR}$ .

## Auswahl von UR-Sicherung (Fortsetzung)

### ➔ Reihenschaltung

Sie ist nicht ratsam, wenn der Fehlerstrom nicht ausreichend ist, um die Sicherung in weniger als 10 ms schmelzen zu lassen.

### ➔ Parallelschaltung

Es können nur zwei Sicherungen mit derselben Größe und demselben Nennstrom parallelgeschaltet werden. Im Allgemeinen wird sie vom Hersteller durchgeführt (bitte Rückfrage).

Bei Parallelschaltungen darf die Betriebsspannung 90 % der Nennspannung der Sicherung nicht überschreiten.

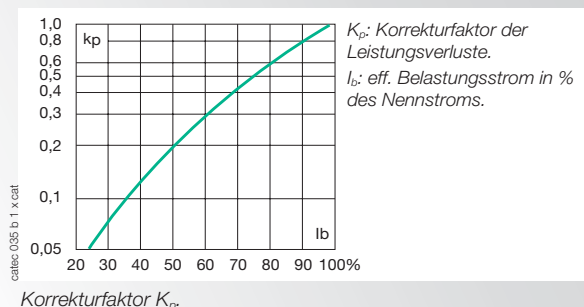
### ➔ Zyklische Überlastung

Bitte Rückfrage.

### ➔ Leistungsverluste (Watt)

Diese werden im Kapitel «UR-Sicherungen» angegeben und entsprechen der Verlustleistung bei Nennstrom.

Bei unterschiedlichen  $I_b$ - und  $I_n$ -Strömen muss der Verlust in Watt mit dem Faktor  $K_p$  multipliziert werden (siehe Bild).

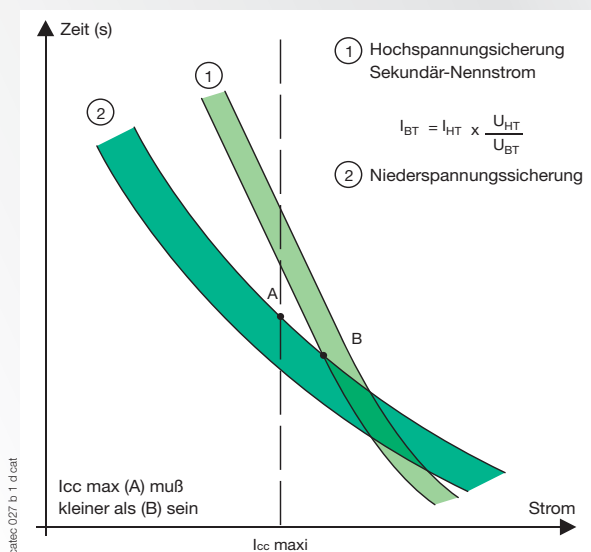


## Selektivität

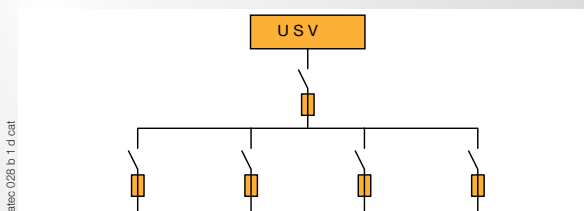
### ➔ Selektivität zwischen Niederspannungs- und Hochspannungssicherungen

Das Ansprechen einer Niederspannungssicherung darf nicht zum Ansprechen einer am Eingang des Transformators gelegenen Hochspannungssicherung führen.

Damit dies nicht geschieht, muss darauf geachtet werden, dass der untere Teil der Hochspannungskurve vor Erreichen der Grenze « $I_{cc} \max$  Niederspannung» zu keinem Zeitpunkt den oberen Teil der Niederspannungskurve berührt (siehe Berechnung auf Seite 477).



### • In einem durch USV versorgten Netz



Die Selektivität der Schutzvorrichtungen ist in durch USV versorgten Netzen, in denen das Auslösen eines Schutzes zu keiner Störung des übrigen Netzes führen darf, von großer Wichtigkeit.

Die Funktion der Selektivität muss zwei Besonderheiten dieser Netze berücksichtigen:

- geringer Fehlerstrom (in der Größenordnung  $2 \times I_n$ );
- vorgeschriebene maximale Fehlerzeit: 10 ms.

Zur Berücksichtigung dieser Kriterien und zur Gewährleistung einer korrekten Selektivität ist es erforderlich, dass der Strom in jedem Zweig nicht die in der nachfolgend aufgeführten Tabelle genannten Werte überschreitet.

Schutz durch	Maximalstrom je Abgang
gG-Sicherung	$\frac{I_n}{6}$
UR-Sicherung	$\frac{I_n}{3}$
Sicherungsautomaten	$\frac{I_n}{8}$



## Selektivität (Fortsetzung)

### ➤ Selektivität zwischen Sicherung und Schütz mit therm. Überstromrelais

Die Sicherung befindet sich am Eingang des Überstromschalters, der aus einem Schütz und einem Thermorelais besteht.

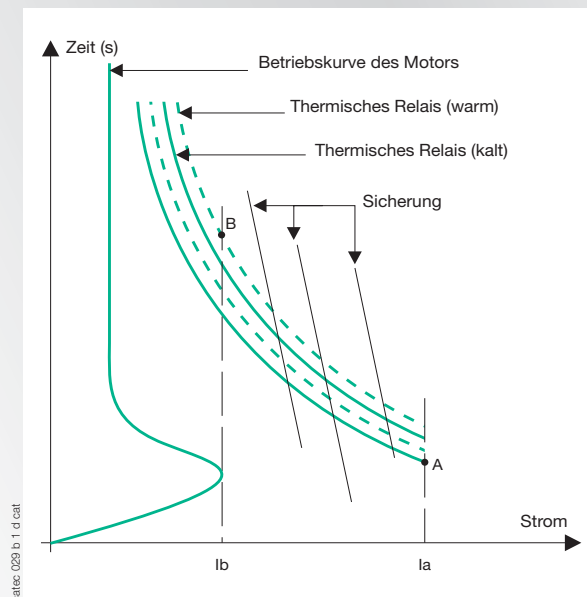
Die Kennlinien der dem Überstromauslöser zugeordneten Sicherungen müssen durch die Punkte A und B führen. Diese Punkte entsprechen:

- $I_a$ : Grenze des Ausschaltvermögens des Überstromschalters;
- $I_b$ : Maximalstrom für den Anlauf des Motors.

Anlaufart	$I_b^{(1)}$	Dauer des Anlaufs <sup>(1)</sup>
Direkt	$8 I_n$	0,5 bis 3 s.
Stern-Dreieck-Anlasser	$2,5 I_n$	3 bis 6 s
Spartransformator	$1,5 \text{ bis } 4 I_n$	7 bis 12 s.
Läuferanlasser	$2,5 I_n$	2,5 bis 5 s.

(1) Durchschnittswerte, die je nach Art der Motoren und Verbraucher stark variieren können.

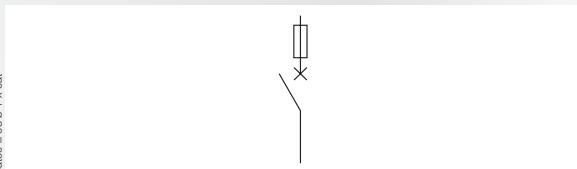
Die thermische Belastung der Sicherung muss unter der thermischen Belastung des Überstromauslösers liegen. Zur Minimierung der Verluste durch Wärmestrahlung ist von den verschiedenen Nennströmen der verwendbaren Sicherungen der höchste Nennstrom auszuwählen.



### ➤ Selektivität zwischen Leistungsschalter und Sicherung

Durch eine sorgfältige Zuordnung eines Schutzes durch Sicherungen mit anderen Vorrichtungen (Leistungsschalter...) kann eine perfekte Selektivität gewährleistet und eine sowohl aus wirtschaftlichen Erwägungen als auch aus sicherheitstechnischen Gründen optimale Lösung gefunden werden.

#### • Sicherung oberhalb – Leistungsschalter unterhalb



- Die Schmelzeitkurve der Sicherung (vor dem Lichtbogen) muss oberhalb des Punktes A verlaufen (Bild 1).
- Die Kurve Gesamtschmelzeit der Sicherung muss die Kurve des Leistungsschalters vor dem Wert  $I_{cc}$  (äußerstes Ausschaltvermögen) des Leistungsschalters schneiden.
- Nach dem Schnittpunkt muss die thermische Belastung der Sicherung unter der des Leistungsschalters liegen.
- Die thermische Belastung des Schalters und die der Sicherung müssen immer unter der thermischen Belastung des Kabels liegen.

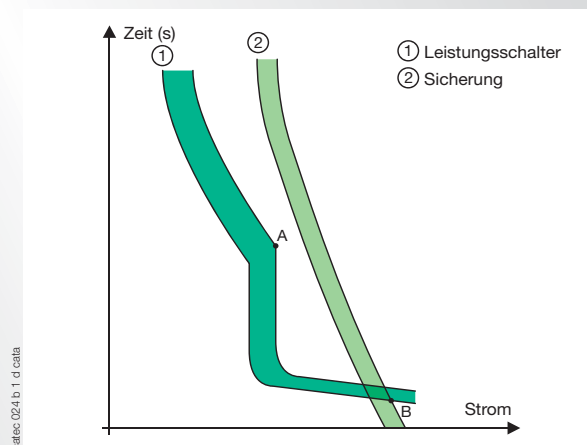
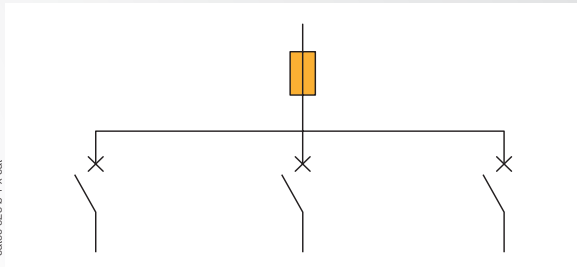


Bild 1

#### • gG-Sicherungen oberhalb – mehrere Schalter unterhalb

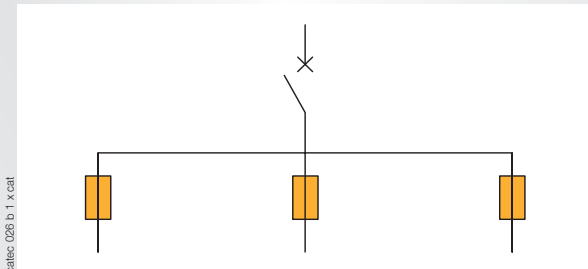


- Der Nennstrom der Sicherung muss größer sein als die Summe der Ströme aller zur selben Zeit unter Last stehenden Leistungsschalter.
- Die Schmelzkurve der Sicherung muss oberhalb des Punktes A (siehe Bild 1) des Leistungsschalters mit dem höchsten Nennstrom liegen.
- Der Schnittpunkt B (siehe Bild 1) muss unter dem geringsten Ausschaltvermögen aller Schalter liegen.
- Hinter dem Punkt B muss die gesamte thermische Belastung der Sicherung unter der eines jeden einzelnen unterhalb angeordneten Leistungsschalters liegen.

## Selektivität (Fortsetzung)

### ➤ Selektivität zwischen Leistungsschalter und Sicherung (Fortsetzung)

#### • Leistungsschalter oberhalb – mehrere Sicherungen unterhalb



- Die Ausschaltvermögen aller Sicherungen und des Leistungsschalters müssen über dem maximalen Kurzschlussstrom liegen, der im Stromkreis auftreten kann.
- Die Einstellung des thermischen Teils  $I_r$  des Leistungsschalters muss wie folgt erfolgen:  $1,05 I_r \geq I_1 + I_2 + \dots + I_n$ .  
 $I_1 + I_2 + \dots + I_n$ : Summe der Ströme in jedem durch Sicherungen geschützten Zweig.

Der Regelstrom  $I_r$  muss außerdem folgender Bedingung entsprechen:

$$I_r \geq K_d \times I_n$$

$I_n$ : Nennstrom der Sicherung des Stromkreises mit der höchsten Last.

Tabelle A:  $K_d$ -Werte (entsprechend der Norm IEC 60269-2-1).

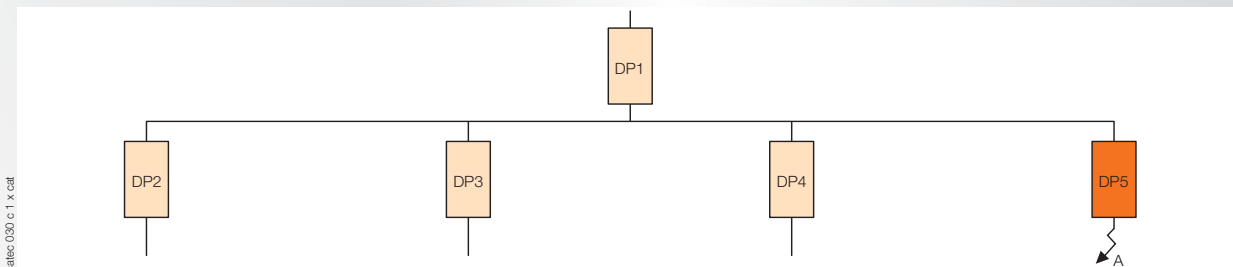
Nennstrom der Sicherungen gG ( $I_n$ ) (A)	$K_d$
$I_n \leq 4$	2,1
$4 < I_n < 16$	1,9
$16 \leq I_n$	1,6

**Beispiel:** Der Stromkreis mit der höchsten Last wird durch eine gG-Sicherung von 100 A geschützt. Der minimale Regelstrom des oberhalb sitzenden Leistungsschalters, durch den die Selektivität mit der Sicherung gewährleistet werden kann, ist:  $I_r \geq 1,6 \times 100 \text{ A} = 160 \text{ A}$ .

- Die thermische Belastung der Sicherung mit dem höchsten Nennstrom muss unter der durch den Leistungsschalter begrenzten thermischen Belastung liegen. Diese wiederum muss selbst unter der höchsten thermischen Belastung der Kabel liegen.
- Minimaler Einstellwert  $I_m$  (magnetisch):  $8 K_d \leq I_m \leq 12 K_d$ .  
 $K_d$  wird in Tabelle A angegeben.

#### ➤ Allgemeines

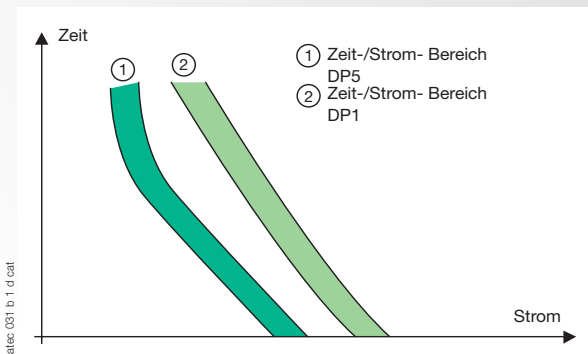
Die Selektivität der Schutzvorrichtungen (hier mit DP verzeichnet) ist dann gewährleistet, wenn im Falle eines Fehlers an einem Punkt der Anlage die direkt oberhalb des Fehlers gelegene Schutzvorrichtung eine Unterbrechung bewirkt, ohne eine Auslösung anderer Schutzvorrichtungen der Anlage zu bewirken. Durch die Selektivität wird die Aufrechterhaltung des Betriebes im restlichen Netz gewährleistet.



Ein Fehler an Punkt A muss zum Auslösen der Schutzvorrichtung DP5 führen, ohne dass die anderen DP ausgelöst werden.

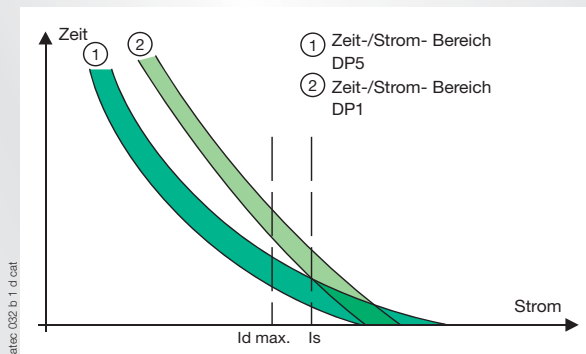
#### • Völlige Selektivität

Eine völlige Selektivität ist dann gewährleistet, wenn sich die Bereiche Zeit / Strom, die die Schutzvorrichtungen kennzeichnen, nicht überdecken.



#### • Partielle Selektivität

Partielle Selektivität besteht, wenn die Selektivität der DP nur auf einen Teil ihres Zeit / Strom-Bereichs begrenzt ist. Wenn der Fehlerstrom unter dem Schnittpunkt der Kurven liegt, besteht völlige Selektivität.



Die Selektivität wird erreicht, wenn der maximale Fehlerstrom der Anlage ( $I_{cc \text{ max}}$ ) auf  $I_d$  begrenzt ist und wenn gilt  $I_d \text{ max} < I_s$ .

## Selektivität (Fortsetzung)

### ➔ Selektivität zwischen Sicherungen

#### • Selektivität von gG-Sicherungen und aM-Sicherungen

Völlige Selektivität wird erreicht, wenn die Sicherungen aus den Tabellen A und B (entsprechend IEC 60269-1 und 60269-2-1) ausgewählt werden. In manchen Anwendungsfällen reicht jedoch eine partielle Selektivität.

Tabelle A

Sicherung oberhalb	Sicherung unterhalb	
gG	gG	aM
Nennstrom (A)		
4	1	1
<b>6</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
8	2	2
<b>10</b>	<b>4</b>	<b>2</b>
12	4	2
<b>16</b>	<b>6</b>	<b>4</b>
20		6
<b>25</b>	<b>10</b>	<b>8</b>
32	16	10
<b>40</b>	<b>20</b>	<b>12</b>
50	25	16
<b>63</b>	<b>32</b>	<b>20</b>
80	40	25
<b>100</b>	<b>50</b>	<b>32</b>
125	63	40
<b>160</b>	<b>80</b>	<b>63</b>
200	100	80
<b>250</b>	<b>125</b>	<b>125</b>
315	160	125
<b>400</b>	<b>200</b>	<b>160</b>
500	315	200
<b>630</b>	<b>400</b>	<b>250</b>
800	500	315
<b>1000</b>	<b>630</b>	<b>400</b>
1250	800	500

Tabelle B

Sicherung oberhalb	Sicherung unterhalb	
aM	gG	aM
Nennstrom (A)		
4	4	2
<b>6</b>	<b>6</b>	<b>2</b>
8	8	4
<b>10</b>	<b>10</b>	<b>6</b>
12	4	2
<b>16</b>	<b>16</b>	<b>10</b>
20	20	12
<b>25</b>	<b>25</b>	<b>12</b>
32	32	20
<b>40</b>	<b>32</b>	<b>25</b>
50	40	25
<b>63</b>	<b>50</b>	<b>40</b>
80	63	50
<b>100</b>	<b>80</b>	<b>63</b>
125	100	80
<b>160</b>	<b>125</b>	<b>100</b>
200	160	125
<b>250</b>	<b>160</b>	<b>160</b>
315	200	200
<b>400</b>	<b>250</b>	<b>250</b>
500	315	315
<b>630</b>	<b>400</b>	<b>400</b>
800	500	500
<b>1000</b>	<b>500</b>	<b>630</b>
1250	630	800

#### • Selektivität von gG-Sicherungen und UR-Sicherungen

##### gG oberhalb – UR unterhalb

Die Schmelzzeit (vor dem Lichtbogen) einer UR-Sicherung muss kleiner sein als die Hälfte der Schmelzzeit (vor dem Lichtbogen) einer gG-Sicherung; sie muss sich dabei innerhalb eines Bereichs von 0,1 und 1 s befinden.

##### UR oberhalb – gG unterhalb

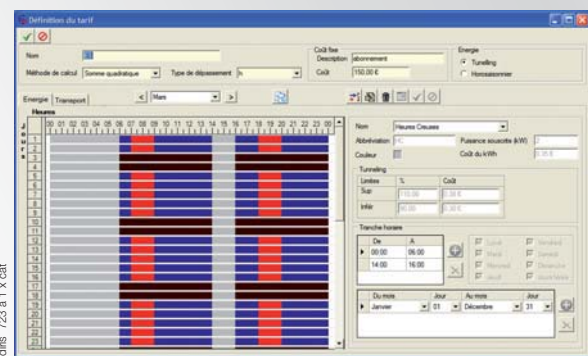
Der Nennstrom der UR-Sicherung muss mindestens dreimal so groß sein wie der Nennstrom der gG-Sicherung.

## Einleitung

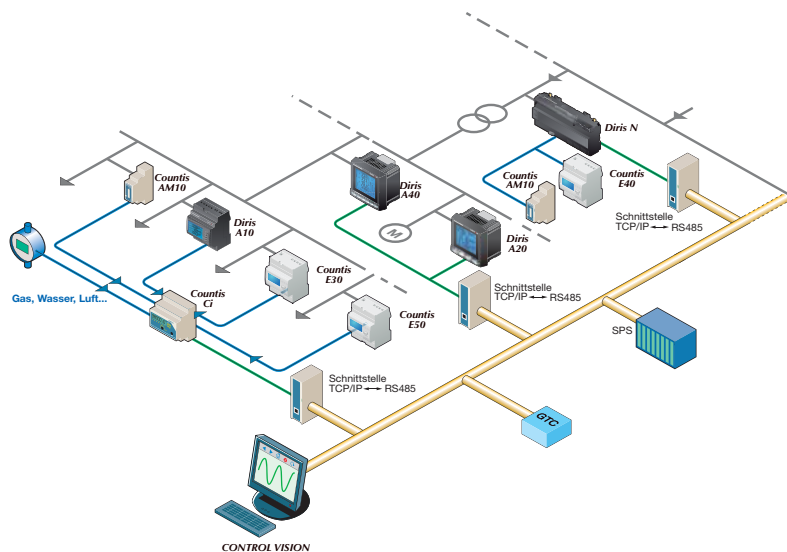
Anders als im letzten Jahrzehnt ist heute das verantwortliche Energiemanagement sowohl im Hinblick auf die Umwelt als auch auf die Wirtschaftlichkeit Pflicht. In der Tat sind die Energiekosten beträchtlich gestiegen, was sich direkt auf den Selbstkostenpreis der Geräte und die Betriebskosten auswirkt. Angesichts dieser neuen Entwicklung sind eine vertiefte Kenntnis der Prozesse und der Arbeitsorganisation im Unternehmen sowie die Steuerung der auf Grundlage von Tarifen berechneten Energiekosten erforderlich. So können die Energiekosten auf Grundlage des Nutzungszeitraums berechnet werden, wobei zu berücksichtigen ist, dass zudem je nach Leistung der Anlage auch ein Grundpreis zu berücksichtigen ist. Um die Tarifgestaltung besser berechnen zu können, muss der Betreiber seinen Bedarf genau abschätzen, um eine geeignete Tarifgestaltung festlegen zu können. In einigen Fällen sind gelegentliche Überschreitungen der Leistung vorteilhafter als ein zu hoher Grundbetrag.

## Tarifgestaltung

Um dem Betreiber ein Maximum an erforderlichen Informationen zur Optimierung der Tarifgestaltung und zur Steuerung des Verbrauchs zur Verfügung zu stellen, sind an strategischen Punkten im internen Stromnetz (Transformatoren, Motoren...) Zähler (Typ COUNTIS) oder multifunktionale Messgeräte (Typ DIRIS) zu installieren. Diese Geräte werden an ein Kommunikationsnetzwerk (siehe Kapitel «Kommunikation») angeschlossen, um die Verbrauchsdaten über eine Steuerungssoftware (Typ CONTROL VISION) zu zentralisieren und zu verwalten.



diris 723 a 1 x cat



diris 051 h d cat

Sobald diese Geräte installiert sind, kann der Betreiber folgende Maßnahmen ergreifen:

- Heiz- oder Beleuchtungssysteme abschalten, um während der Spitzenzeiten Leistungsüberschreitungen zu vermeiden;
- das Anlaufen bestimmter Anlagen auf die verkehrsarmen Zeiten vor Ankunft des Personals vorverlegen;
- die Nutzung von automatischen Verfahren, Energiequellen oder Funktionen der Produktionsmittel optimieren und verbessern.

In jedem Fall sind die Geräte ideal für gewerbliche (Beleuchtung, Klimaanlage etc.) und industrielle Anwendungen geeignet. Ihre Qualität hängt von der Genauigkeit der Messung der Ströme und Spannungen sowie der Berechnung der Energie ab.

diris 724 a 1 x cat

## Messung der Stromwerte

### ➔ Messprinzip

Unabhängig davon, um welches Wechselstromnetzwerk (AC) es sich handelt (einphasig, zweiphasig, dreiphasig mit oder ohne Neutralleiter), müssen Ströme und Spannungen gemessen werden. Die Ströme werden an den Stromwandlern gemessen, wobei auf den korrekten Anschluss zu achten ist, um Messfehler auszuschließen. Die Spannungen werden direkt oder über Spannungswandler, insbesondere bei Mittel- und Niederspannung, gemessen.

Hier die Formeln zur Ermittlung der gewünschten Ergebnisse:

#### • Ströme

$$I_1 = i_{1\text{ TRMS}} \times kTC$$

(kTC steht für den Bezug zum Stromwandler)

$i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$  werden direkt aus den TRMS-Werten unter Berücksichtigung der harmonischen Oberschwingungen bis zur 51. Ordnung berechnet.

Sowie

$$I_{\text{syst}} = \frac{i_1 + i_2 + i_3}{3}$$

#### • Spannungen

$$V_1 = v_{1\text{ TRMS}} \times kTP$$

(kTP steht für den Bezug zum Spannungswandler)

$v_1$ ,  $v_2$ ,  $v_3$  werden direkt aus den TRMS-Werten unter Berücksichtigung der harmonischen Oberschwingungen bis zur 51. Ordnung berechnet.

Sowie

$$V_{\text{syst}} = \frac{v_1 + v_2 + v_3}{3}$$

#### • Wirkleistung

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T [v_1 \times i_1] dt$$

$P_1$ ,  $P_2$  und  $P_3$  werden direkt aus den TRMS-Werten  $I$  und  $V$  berechnet.

Sowie

$$\Sigma P = P_1 + P_2 + P_3$$

#### • Scheinleistung

$$S_1 = V_1 \times I_1$$

$S_1$ ,  $P_2$  und  $P_3$  werden direkt aus den TRMS-Werten  $I$  und  $V$  berechnet.

Sowie

$$\Sigma S = S_1 + S_2 + S_3$$

#### • Blindleistung

$$Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P_1^2}$$

$Q_1$ ,  $Q_2$  und  $Q_3$  werden direkt auf Grundlage von  $P$  und  $S$  berechnet.

Sowie

$$\Sigma Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

#### • Leistungsfaktor

$$PF = \frac{P}{S}$$

$PF_1$ ,  $PF_2$  und  $PF_3$  werden direkt auf Grundlage von  $T$  und  $S$  berechnet.

#### • Frequenz

Die Messung der Frequenz erfolgt stets an Phase 1.

## Stromzählung

Bei jedem mit Wechselstrom betriebenen elektrischen System kommen zwei Energieformen vor: die Wirkleistung (kWh) und die Blindleistung (kvarh). Bei industriellen Verfahren, die Strom verwenden, wird nur die Wirkleistung mithilfe der Produktionsmittel in mechanische, thermische oder Lichtenergie umgewandelt. Sie kann positiv oder negativ sein, wenn die Anlage kWh erzeugen kann (z. B. eine photovoltaische Anlage).

Die Blindleistung dient insbesondere zur Versorgung von magnetischen Schaltkreisen von Elektromaschinen (Motoren, Spartransformatoren etc.). Zudem verbrauchen einige Komponenten der Stromnetze zu Verteilung und Transport von Strom in bestimmten Fällen Blindleistung (z. B. Transformatoren, Leitungen etc.). Um diese Ströme zu erfassen, muss die gemäß Norm geforderte Messgenauigkeit berücksichtigt werden. Hierbei sind die folgenden Normen zu berücksichtigen:

Wirkleistungszähler (kWh):

- IEC 62053-21 bei Klasse 1 oder 2,
- IEC 62053-22 bei Klasse 0,2S oder 0,5S.

Blindleistungszähler (kvarh): IEC 62053-23 bei Klasse 2.



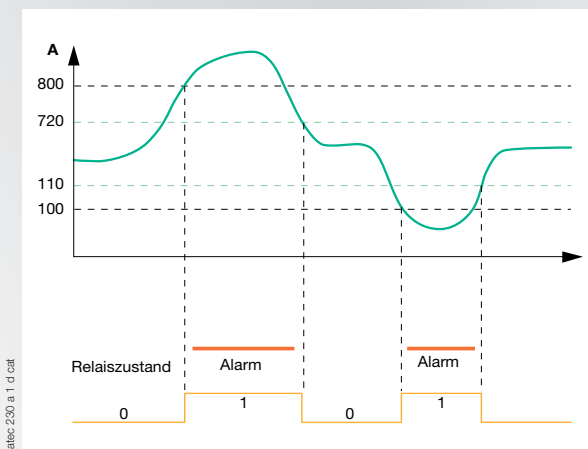
## Überwachung

Anhand dieser Funktion können die wichtigsten Stromgrößen für die folgenden Zwecke überwacht werden:

- Schutz der Anlagen;
- Erfassung von Spannungsabschaltungen;
- Erfassung anomaler Überlasten bei Transformatoren oder Anlaufvorgängen;
- Erfassung von Belastungsausfällen bei Motoren (Kettenriss, Leerlauf etc.).

Für alle Alarmer müssen die folgenden Werte programmiert werden:

- Obergrenze > Höchstwert zur Auslösung;
- Untergrenze > Mindestwert zur Auslösung;
- Hysterese > Wert zur Rückkehr zum Normalwert;
- Relais > Betriebsmodus NO (offen) / NC (geschlossen);
- Verzögerung > Verzögerung bei Auslösung des Relais.



### Anwendungsbeispiel:

Konfiguration eines Stromüberwachungsrelais mit Auslösung bei  $I < 100 \text{ A}$  und  $I > 800 \text{ A}$ . Mit einer Hysterese von 10 % zur Rückkehr zum Ruhezustand des Relais, dem Arbeitszustand des Relais NO (offen) und ohne Verzögerung.

## Steuerung

Über eine Digitalverbindung zu einem PC oder einem anderen Kontrollsystem (Automat etc.) können anhand dieser Funktion:

Bei Binärsignaleingängen:

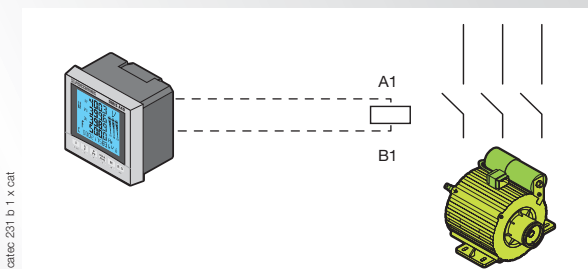
- Impulse eines Strom-, Wasser- oder Gaszählers erfasst werden;
- die Schalthandlungen eines Schutzgeräts oder eines Quellenumschalters erfasst oder ihre Position gesteuert werden.

Bei Relaisausgängen:

- Zustandsänderungen eines Auslöseschutzgeräts ferngesteuert werden;
- das Anlaufen eines Motors oder eine Beleuchtungsrampe ferngesteuert werden;
- Teile des Stromverteilungsnetzes ausgeschaltet werden.

### Beispiel:

Änderung des Zustands eines Relais zur Ansteuerung des Anlaufens eines Motors.



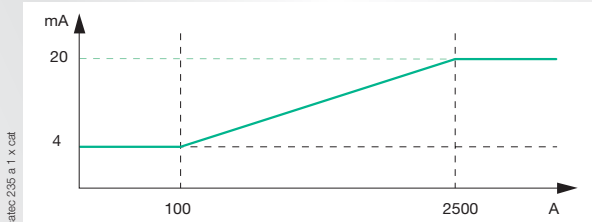
## Stromqualität (siehe Seite 461)

## Analoge Kommunikation

Mit dieser Funktion können einem Automaten oder beliebigen anderen System Messsignale in Form von 0-20-mA- oder 4-20-mA-Signalen zur Verfügung gestellt werden.

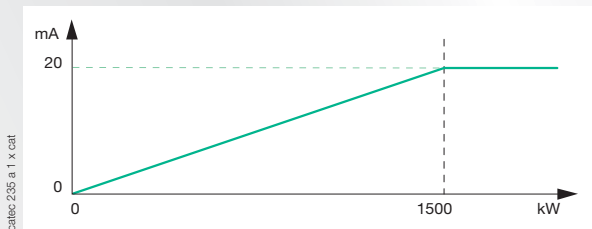
### • Beispiel 1

Konfiguration eines Ausgangs auf einen Strom von 100 A bis 4 mA und 2500 A bis 20 mA.



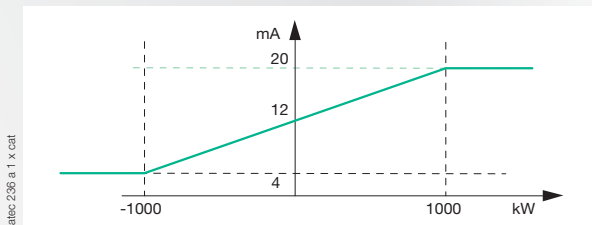
### • Beispiel 2

Konfiguration eines Ausgangs auf eine Gesamtwirkleistung  $\Sigma P$  mit 0 kW auf 0 mA und 1500 kW auf 20 mA.



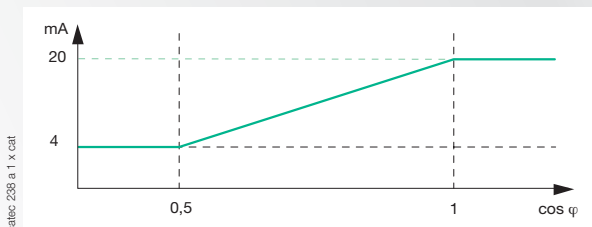
### • Beispiel 3

Konfiguration eines Ausgangs auf eine Gesamtwirkleistung  $\Sigma P$  mit -1000 kW auf 4 mA und 1 000 kW auf 20 mA.



### • Beispiel 4

Konfiguration eines Ausgangs auf einen induktiven Leistungsfaktor  $\Sigma PFL$  mit 0,5 bei 4 mA und 1 kW bei 20 mA.



## Digitale Kommunikation

### ➔ Einleitung

Mit einem Kommunikationsnetzwerk können eine bestimmte Anzahl von Geräten miteinander verbunden werden, um Mess-, Zähler- oder Steuerinformationen untereinander auszutauschen und um sie per PC oder Automat konfigurieren zu können. Für die Kommunikation zwischen verschiedenen Geräten sind eine gemeinsame Organisation und Sprache erforderlich, das Protokoll.

### ➔ OSI-Schichten

Jeder Verbindungstyp hat sein eigenes Protokoll, das bestimmten Normen entspricht. Alle Protokolle folgen jedoch einem Schema mit sieben verschiedenen Ebenen, die als OSI-Schichten bezeichnet werden. Jede Schicht empfängt grundlegende Informationen von der untergeordneten Schicht, verarbeitet diese und sendet komplexere Informationen an die übergeordnete Schicht weiter.

#### • Unsere Geräte verwenden die Schichten 1, 2 und 7



#### • Schicht 1 - Physikalische Schicht

Dies ist die konkrete Schicht der «Verkabelung» des Netzes. Über sie wird ein Binärsignal in ein mit dem gewählten Übertragungsmedium kompatibles Signal umgewandelt (Kupfer, Glasfaser, RF etc.). Diese Schicht liefert die Werkzeuge zur Bitübertragung an die übergeordnete Schicht, die diese ohne Berücksichtigung des verwendeten Mediums verwendet.

#### • Schicht 2 - Sicherung

Diese Schicht steuert die Übertragung der Daten. Ein Datenframe muss versandt oder empfangen werden, ohne durch mögliche Leitungsstörungen beeinträchtigt zu werden. Die Kontrolle erfolgt auf der Ebene von Bitpaketen (Datenframes) mittels einer Prüfsumme. Diese Schicht liefert die erforderlichen Werkzeuge zur Übermittlung von Bitpaketen (Datenframes) an die übergeordnete Schicht. Die übertragenen Daten werden durch Mechanismen zur Gültigkeitskontrolle überprüft.

#### • Schicht 7 - Anwendung

Die Rolle der Anwendungsschicht ist die Bereitstellung einer Schnittstelle zwischen Anwender und Netz.

### ➔ Übertragene Daten

Das von einem Gerät an ein anderes Gerät übertragene Signal ist eine Binäreinheit, die als Bit bezeichnet wird. Alle Digitalverbindungen legen ein Analogsignal (Spannung) als 0 und ein anderes als 1 fest. Die kodierte Information wird in mehreren Bit übertragen, die zusammen einen Datenframe formen.

### ➔ Übertragungsmedium

Dieser Datenframe wandert über ein Übertragungsmedium, das als Kommunikationsmedium oder -medien bezeichnet wird, von einem Punkt des Bus an den nächsten. Je nach gewähltem Technologietyp können diese Medien ein Paar Kupferkabel, eine Ethernet-Verbindung, ein Koaxialkabel, ein Glasfaserkabel, eine RTC- oder GSM-Telefonverbindung oder sogar Funkwellen sein. Das Medium hängt vom gewünschten Übertragungstyp und der Umgebung ab.

### ➔ Protokolle

Das Kommunikationsprotokoll legt die Regeln der Sprache zwischen den verschiedenen «Gesprächspartnern» des Dialogs fest, damit sich alle nach denselben Regeln richten und die Verständigung gewährleistet ist. In bestimmten Fällen sichern sie zudem den Dialog ab, indem die Kontrollen für die Datenframes, wie z. B. die CRC, festgelegt werden.

CAN, PROFIBUS DP, Interbus-S, FIP, EIB, eBUS, MODBUS/JBUS, Open MODBUS und TCP-IP sind eine Reihe von Protokollen, die jeweils ihre Vor- und Nachteile je nach Umgebung und Verwendungsbedingungen haben.

Die Geräte der SOCOMEC-Palette verwenden vor Allem die Protokolle JBUS/MODBUS und PROFIBUS DP. Allerdings wird in der Folge noch dargestellt, dass auch andere Protokolle, wie z. B. TCP-IP, verwendet werden können.

## JBUS-/MODBUS-Protokoll

### ➤ Einführung

Die JBUS- (Hersteller April) und MODBUS- (Hersteller Modicon) Protokolle sind Dialogprotokolle, die eine hierarchische Struktur bilden (Master und mehrere Slaves).

JBUS/MODBUS können über ASCII 7 Bit oder binär RTU 8 Bit kommunizieren.

Der Vorteil des RTU-Modus ist, dass die zu übertragenden Daten weniger Platz brauchen und daher in kürzerer Zeit übertragen werden können. In der Tat können mit 8 Bit mehr Daten als mit 7 Bit übertragen werden.

Die mit den JBUS-/MODBUS-Protokollen betriebenen SOCOMEC-Geräte kommunizieren über RTU (Remote Terminal Unit). Dieser Protokolltyp erlaubt das Abfragen eines oder mehrerer intelligenter Slaves über den Master. Eine Mehrfachverbindung verbindet Master und Slaves.

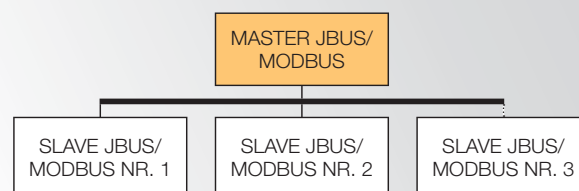
MODBUS/RTU ist ein gesichertes Protokoll, das auf der Berechnung einer CRC (Cyclic Redundancy Check oder zyklische Redundanzprüfung) beruht. Die für 16 Bits berechnete CRC ist integraler Bestandteil der Nachricht und wird vom Empfänger überprüft.

Zwei Dialogtypen sind zwischen Master und Slaves möglich:

- der Master spricht einen Slave an und wartet die Antwort ab;
- der Master spricht alle Slaves an und wartet die Antwort nicht ab (allgemeine Verteilung).

Der Master steuert den Datenaustausch und kann allein die Initiative ergreifen. Dieser Master wiederholt die Abfrage bei einem fehlerhaften Datenaustausch und registriert die Abwesenheit des Slave, wenn dieser nicht innerhalb eines bestimmten Zeitraums antwortet (time-out). In der Leitung kann immer nur ein Gerät senden. Slaves können ohne Aufforderung des Meisters keine eigenen Nachrichten absetzen. Laterale Kommunikation (Slave zu Slave) darf es nur geben, wenn die Software des Masters so konfiguriert ist, dass sie die Daten empfängt und diese dann von einem Slave an den anderen sendet.

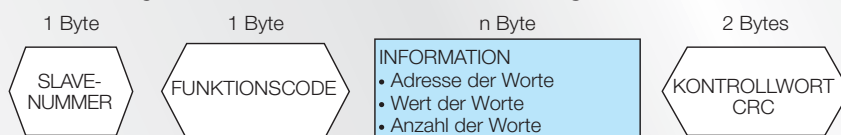
Der Master kann 247 registrierte Slaves (von Slave Nr. 1 bis Slave Nr. 247) ansprechen. Wenn der Master die Slavenummer 0 verwendet, entspricht dies einer Verteilung an alle Slaves (nur Schreiben). Die JBUS- und MODBUS-Protokolle erlauben den Zugriff auf an dasselbe Kabel angeschlossene Geräte.



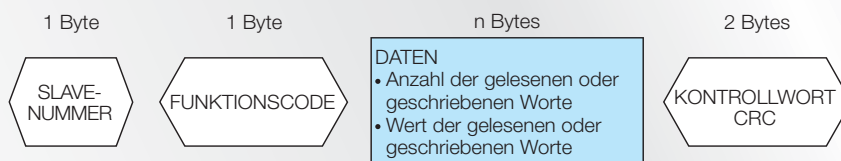
### ➤ Zusammensetzung der Datenframes

Ein Datenframe besteht aus einer Abfolge von Bytes, wobei jedes Byte aus 8 Bit besteht. Die Daten können in einem Byte, einem Datenwort (2 Byte) oder sogar einem Doppelwort (4 Byte) gespeichert sein.

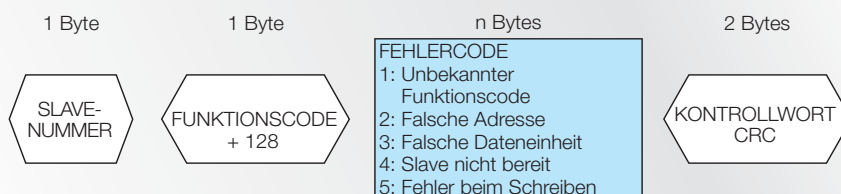
Um den Dialog einzuleiten, muss der Master einen **Anfragedatenframe** absenden, der die folgende Struktur hat:



Der abgefragte Slave muss dann die Anfrage mit einem **Antwortdatenframe** beantworten, der die folgende Struktur hat:



Bei einem Fehler im vom Master abgesandten Datenwort antwortet der Slave mit einem **Fehlerdatenframe**, der folgende Struktur hat:



## JBUS-/MODBUS-Protokoll (Fortsetzung)

### ➔ Beispiele für Datenframes

Alle SOCOMEC-Geräte werden mit einer Anleitung bezüglich ihrer JBUS-/MODBUS-Tabellen versandt. Diesen Tabellen kann die Adresse entnommen werden, unter der die Daten gespeichert sind, sowie auch ihr Format (Datenumfang und Vorzeichentyp).

#### • Liste der Anzeigeparameter (Funktion 3)

Tabelle der von den Berichten zur Strom- und Spannungsumwandlung mit 2 Worten betroffenen Werte

Dez. Adresse	Hex. Adresse	Anzahl der Worte	Text	Einheit
768	300	2	Strom Phase 1	mA
<b>770</b>	<b>302</b>	<b>2</b>	<b>Strom Phase 2</b>	<b>mA</b>
772	304	2	Strom Phase 3	mA
<b>774</b>	<b>306</b>	<b>2</b>	<b>Strom des Neutralleiters</b>	<b>mA</b>
776	308	2	Verkettete Spannung U12	V/100
<b>778</b>	<b>30A</b>	<b>2</b>	<b>Verkettete Spannung U23</b>	<b>V/100</b>
780	30C	2	Verkettete Spannung U23	V/100
<b>782</b>	<b>30E</b>	<b>2</b>	<b>Phasenspannung Phase 1</b>	<b>V/100</b>
784	310	2	Phasenspannung Phase 2	V/100
<b>786</b>	<b>312</b>	<b>2</b>	<b>Phasenspannung Phase 3</b>	<b>V/100</b>
788	314	2	Frequenz	Hz/100
<b>790</b>	<b>316</b>	<b>2</b>	<b>S Wirkleistung +/-</b>	<b>kW/100</b>
792	318	2	S Blindleistung +/-	kvar/100
<b>794</b>	<b>31A</b>	<b>2</b>	<b>S Scheinleistung +/-</b>	<b>kVA/100</b>
796	31C	2	S Leistungsfaktor	0,001
			-: kapazitiv und +: induktiv	

Tabelle der von den Berichten zur Strom- und Spannungsumwandlung mit 1 Wort betroffenen Werte\*

Dez. Adresse	Hex. Adresse	Anzahl der Worte	Text	Einheit
1792	700	1	Strom Phase 1	mA
<b>1793</b>	<b>701</b>	<b>1</b>	<b>Strom Phase 2</b>	<b>mA</b>
1794	702	1	Strom Phase 3	mA
<b>1795</b>	<b>703</b>	<b>1</b>	<b>Strom des Neutralleiters</b>	<b>mA</b>
1796	704	1	Verkettete Spannung U12	V/10
<b>1797</b>	<b>705</b>	<b>1</b>	<b>Verkettete Spannung U23</b>	<b>V/10</b>
1798	706	1	Verkettete Spannung U31	V/10
<b>1799</b>	<b>707</b>	<b>1</b>	<b>Phasenspannung Phase 1</b>	<b>V/10</b>
1800	708	1	Phasenspannung Phase 2	V/10
<b>1801</b>	<b>709</b>	<b>1</b>	<b>Phasenspannung Phase 3</b>	<b>V/10</b>
1802	70A	1	Frequenz	Hz/100
<b>1803</b>	<b>70B</b>	<b>1</b>	<b>S Wirkleistung +/-</b>	<b>W</b>
1804	70C	1	S Blindleistung +/-	var
<b>1805</b>	<b>70D</b>	<b>1</b>	<b>S Scheinleistung</b>	<b>kVA</b>
1806	70E	1	S Leistungsfaktor	0,001
			-: kapazitiv und +: induktiv	

\* Bestimmte Geräte wie DIRIS oder ATyS verfügen über eine Tabelle, in der die Information in nur einem Wort gespeichert ist, um die Kompatibilität mit JBUS-/MODBUS-Mastern zu gewährleisten, die nur dieses Format akzeptieren.

Das folgende Beispiel stellt den Datenframe dar, den der JBUS-/MODBUS-Master versendet, um eine Tabelle einer Länge von 158 Worten auszulesen (0X9E als Hexadezimalwert).

Slave	Funktion	Werthöchste Adresse	Wertniedrigste Adresse	Werthöchste Anzahl der Worte	Wertniedrigste Anzahl der Worte	CRC 16
05	03	03	00	00	9E	C5A2

Wenn nur die Wirkleistung gelesen werden soll, ist der Versand des folgenden Datenframes als Hexadezimalwert ausreichend:

Slave	Funktion	Werthöchste Adresse	Wertniedrigste Adresse	Werthöchste Anzahl der Worte	Wertniedrigste Anzahl der Worte	CRC 16
02	03	03	16	00	02	25B8

In der obigen Tabelle ist zu bemerken, dass die Vorzeichen + und - für die jeweiligen Daten angegeben sind. Das werthöchste Bit erlaubt die Erkennung des Vorzeichens der empfangenen Information:

- Bit = 1: negativer Wert;
- Bit = 0: positiver Wert.

Antwort eines DIRIS A40 bei positiver Leistung:

Slave	Funktion	Bytezahl	Werthöchster Wert Wort 1	Wertniedrigster Wert Wort 1	Werthöchster Wert Wort 2	Wertniedrigster Wert Wort 2	CRC 16
02	03	04	00	00	8C	AC	AD8E

8CACH ergibt 31 612 kW/100, d. h. 316,12 kW.

Antwort eines DIRIS A40 bei negativer Leistung:

Slave	Funktion	Bytezahl	Werthöchster Wert Wort 1	Wertniedrigster Wert Wort 1	Werthöchster Wert Wort 2	Wertniedrigster Wert Wort 2	CRC 16
02	03	04	FF	FF	7B	D3	AA7A

FFFF7BD3h ergibt -33 837 kW/100, d. h. -338,37 kW.

Um dieses Ergebnis zu erhalten, muss am auf 1 ergänzen (Umkehr des erhaltenen Binärwerts) und 1 zum Ergebnis hinzunehmen, d. h.:

- Komplement auf 1: FFFF7BD3 hex ergibt 842C hex,
- 1 dazu: 842C hex + 1 = 33 837 dezimal, wobei der negative Wert ergibt: -33837 kW/100, d. h. -338,37 kW.



## JBUS-/MODBUS-Protokoll (Fortsetzung)

### ➔ RS485-Bus für das JBUS-/MODBUS-Protokoll

Eine Übertragung besteht aus Versand und Empfang. Die beiden Senderichtungen können:

- auf zwei unterschiedliche Leitungen aufgeteilt sein (Simplexverbindung mit 4 Leitern);
- auf einer Leitung verlaufen, wobei Versand und Empfang abwechselnd in beide Richtungen erfolgen (Halbduplex mit 2 Leitern);
- auf einer Leitung verlaufen, wobei Versand und Empfang gleichzeitig ablaufen (Voll duplex mit 2 Leitern).

In jedem Fall wird die Spannung im Differentialmodus angelegt, d. h. nicht referenziert in Bezug auf die Masse. Das Signal entsteht durch den Potenzialunterschied zwischen den beiden Leitern der Leitung.

Der RS485 ist ein Feldbus. Er wurde für den Betrieb in Industrieumgebungen entwickelt, die aufgrund elektromagnetischer oder andersartiger Störungen anspruchsvoll sind.

Obwohl er robust ist, müssen bestimmte Regeln für seinen Betrieb eingehalten werden, damit er korrekt funktionieren kann:

- Maximale Leitungslänge: 1200 m mit einer Höchstgeschwindigkeit von 100 kbit/Sekunde. Die Länge kann mithilfe eines RS485-Verstärkers vergrößert werden (siehe Bild 1);
- Maximale Zahl der angeschlossenen JBUS-/MODBUS-Slaves: 31. Diese Zahl kann mithilfe eines RS485-Verstärkers vergrößert werden;
- Keine Sternschaltung;
- Impedanzen von 120 W auf dem ersten und letzten Gerät;
- Positionieren der Sicherheitslevels (Pull-up- und Pull-down-Widerstände), die jeden Leiter des Bus auf ein bestimmtes Spannungsniveau festlegen werden, insbesondere wenn der Bus in Bezug auf das Kommunikationsinterface in Ruhestellung ist;
- Verwendung eines Kabels mit für diesen Typ der Kommunikation (abgeschirmt) geeigneten Eigenschaften (Impedanz und Kapazität). Die Abschirmung dieses Kabels muss entlang des Busses ununterbrochen sein und darf nur an einer Stelle des Bus geerdet sein, um das Entstehen einer Antenne zu vermeiden.

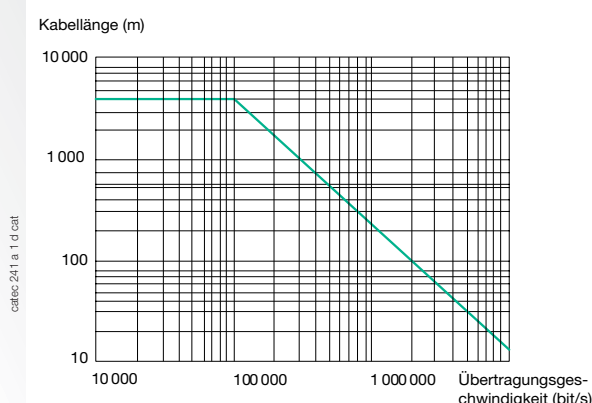
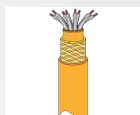


Bild 1.

Die Einhaltung aller dieser Regeln erlaubt die Nutzung des RS485-Bus in anspruchsvollen Umgebungen.

### • Beispiele für empfohlene Kabel



HELUKABEL: JE-LiYCY Bd SI Industry-Elektronik Cable according to DIN VDE 0815.  
 BELDEN: 9841 Paired - Low Capacitance Computer Cable for EIA RS-485 Applications.  
 ALPHA: 6412 Multipair, Foil/Braid shield PE/PVC, low capacitance cable.

### • Einstellung

Damit Master und Slave kommunizieren können, müssen eine Reihe von Einstellungen der Eigenschaften der Datenframes vorgenommen werden. Die folgenden Parameter sind einzustellen:

- Anzahl der Bits, die in jedem Byte des Datenframe enthalten sind (7 oder 8 Bits);
- Anzahl der Stopbits (1 oder 2);
- Parität (gerade, ungerade oder keine);
- Übertragungsgeschwindigkeit in Baud, von 1200 Baud bis 10 MBaud. Bei mehr als 100 kb/s ist die maximale Länge des Bus von der Übertragungsgeschwindigkeit abhängig.

### ➔ Kommunikationsmedien für das JBUS-/MODBUS-Protokoll

Allgemein gesprochen ist der JBUS-/MODBUS-Master entweder ein mit einem Koppler verbundener Automat oder ein an eine Kommunikationsschnittstelle angeschlossener PC. SOCOMEC bietet eine ganze Palette an Kommunikationsbrücken für den Anschluss an einen RS485-Bus an. Die Auswahl der zu verwendenden Verbindung hängt im Wesentlichen von der Umgebung, in der sie verwendet werden soll, sowie von bestimmten physischen Einschränkungen und der Netzkonfiguration ab.

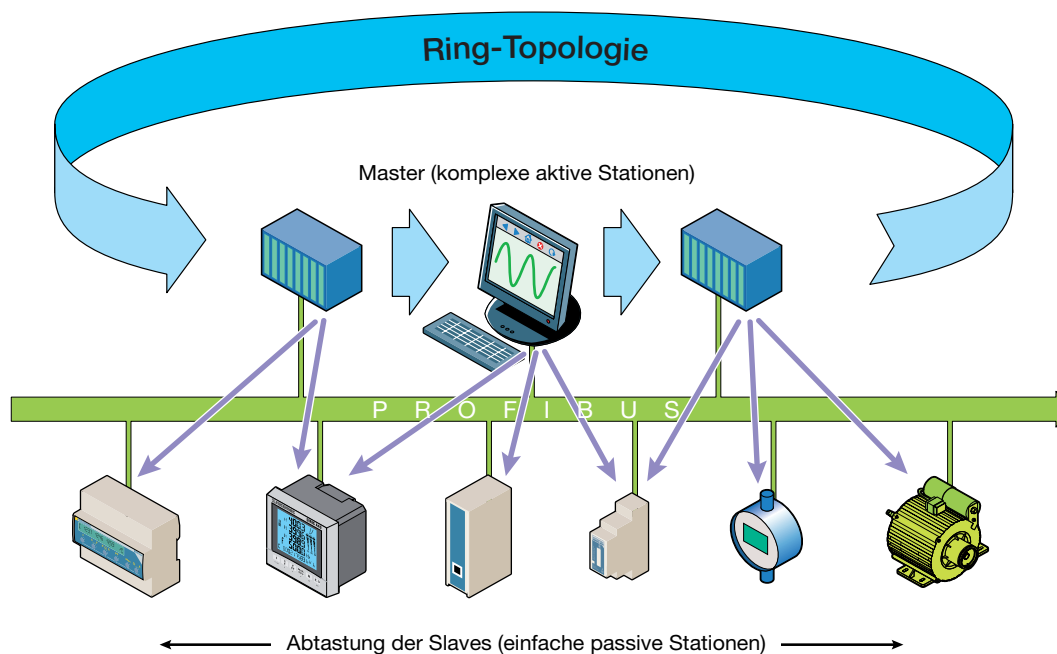
So stehen verschiedene Verbindungstypen zur Verfügung:

RS232	↔	RS485	
USB	↔	RS485	
RS232	↔	ETHERNET	↔ RS485
RS232	↔	RTC-Telefonverbindung	↔ RS485
RS232	↔	GSM-Telefonverbindung	↔ RS485
RS232	↔	Funkverbindung	↔ RS485
RS232	↔	Glasfaserverbindung	↔ RS485

## PROFIBUS-Protokoll

### ➔ Einführung

Basierend auf dem Prinzip des zyklischen Austauschs zwischen Master und Slaves kann das PROFIBUS-Protokoll mehrere Master an einem Bus verwalten. Hierbei wird die Tokenmethode verwendet: Der erste Master hat den Token, führt den Datenaustausch mit den gewünschten Slaves durch und gibt den Token an den nächsten Master weiter, der ebenso verfährt.



### ➔ GSD-Datei

Das Protokoll basiert auf Ein- und Ausgangstabellen. Die Beschreibung dieser Tabellen (die auch als Module bezeichnet werden) erfolgt über GSD-Dateien. Die von allen PROFIBUS-Slaves gelieferte Datei beschreibt die gesamte Funktion des Slave in Bezug auf dieses Protokoll.

#### • Beispiel für eine GSD-Datei

Allgemeine Parameter		
GSD_Revision	=	1
Vendor_Name	=	«SOCOMECE»
Model_Name	=	«DIRIS A40»
Revision	=	«Version 1.00»
Ident_Number	=	0x0948
Protocol_Ident	=	0; 0: PROFIBUS DP
Station_Type	=	0; 0: slave
FMS_supp	=	0
Hardware_Release	=	«Version 1.0»
Software_Release	=	«Version 1.0»
9.6_supp	=	1
19.2_supp	=	1
93.75_supp	=	1
187.5_supp	=	1
500_supp	=	1
1.5M_supp	=	1
3M_supp	=	0
6M_supp	=	0
12M_supp	=	0
Modular_Station	=	1
Max_Module	=	4
Max_Input_Len	=	95
Max_Output_Len	=	60
Max_Data_Len	=	155

Allgemeine Parameter		
For each module	consistency (bit 7 : 1)	
output	byte	(bit 6 : 0)
For each module	consistency (bit 7 : 1)	
input	word	(bit 6 : 1)
Module	=	«Principal values» 0xC1, 0x1c, 0x61, 0x01
EndModule	=	«Other values» 0xC1, 0x1c, 0x60, 0x02
EndModule	=	«Dips/Interruption/Trend Powers & Frequency» 0xC1, 0x1c, 0x51, 0x03
EndModule	=	«Swell/Trend Voltages/In Maximum & Average» 0xC1, 0x1c, 0x51, 0x04
EndModule	=	«3I&IN harmonics» 0xC1, 0x1c, 0x5f, 0x05
EndModule	=	«3U harmonics» 0xC1, 0x1c, 0x57, 0x06
EndModule	=	«3V harmonics» 0xC1, 0x1c, 0x57, 0x07
EndModule	=	«Instantaneous MinMax» 0xC1, 0x1c, 0x53, 0x08
EndModule	=	«Specific Data» 0xC1, 0x20, 0x20, 0x09
EndModule	=	«Specific short Data» 0xC1, 0x08, 0x08, 0x0B

## PROFIBUS-Protokoll (Fortsetzung)

### ➤ Verschiedene Varianten

PROFIBUS DP (Manufacturer)	PROFIBUS PA (Process)	Achsensteuerung per PROFIBUS (Antriebe)	PROFIsafe (Universell)
Anwendungsprofile wie Identifizierungssysteme	Anwendungsprofile wie Prozessautomatisierung	Anwendungsprofile wie PROFIdrive	Anwendungsprofile wie PROFIsafe
DP-Stack (DP - V0 bis V2)	DP-Stack (DP - V1)	DP-Stack (DP - V2)	DP-Stack (DP - V0 bis V2)
RS485	MBP 15	RS485	RS485 MBP 15

Wie alle Kommunikationsprotokolle (insbesondere Feldbusse) basiert PROFIBUS auf dem OSI-Schichtenmodell, das bereits beschrieben wurde. Zur Verwendung für verschiedene Anwendungen gibt es vier spezifische Anwendungsvarianten. Die Geräte der SOCOMEC-Palette sind für PROFIBUS DP V1 zertifiziert. Somit können diese Geräte an PROFIBUS DP angeschlossen werden.

### ➤ Bus für das PROFIBUS-Protokoll

Die Schicht 1 des OSI-Modells stellt die physikalische Übertragung der Daten sicher. Sie legt somit die elektrischen und mechanischen Eigenschaften fest: Codiertyp und Norminterface (RS485).

PROFIBUS spezifiziert mehrere Versionen «physikalischer» Schichten je nach Übertragungstechnik gemäß den internationalen Normen IEC 61158 und IEC 61784.

Die verschiedenen Versionen sind:

- RS485-Übertragung;
- MBP-Übertragung;
- RS485-IS-Übertragung;
- Glasfaser-Übertragung.

SOCOMEC verwendet die RS485-Verbindung mit den folgenden Eigenschaften:

- differenzielle Digitalübertragung;
- Übertragungsgeschwindigkeit von 9600 bis 12000 kbits/Sekunde (1,5 Mbits/Sekunde für DIRIS A40);
- Medium: ein abgeschirmtes verdrehtes Koaxialkabel;
- lineare Topologie (keine Stern-Topologie) mit Busende;
- 32 anschließbare Stationen mit Möglichkeit der Hinzufügung von Verstärkern.

Zur Sicherung der Datenübertragung wird empfohlen, ein normgerechtes PROFIBUS-Kabel einzusetzen. Die folgende Seite enthält Empfehlungen hierzu: <http://www.procentec.com/products/#cables>.

## ↪ Dreheisenmessgerät



Ein Dreheisen- oder «Weicheisenmesswerk» dient zur Anzeige von elektrischem Strom, indem es diese in einen der Stromstärke entsprechenden Zeigerausschlag umwandelt. Innerhalb einer Spule befindet sich ein fest stehender Eisenkern und ein an der Zeigerachse befestigter und mit ihm beweglicher Eisenkern (das Dreheisen).

Das Dreheisenmessgerät erfasst den Effektivwert des Wechselstromsignals; der Einfluss der Wellenform ist zu vernachlässigen. Es kann ebenfalls bei Gleichstromsignalen eingesetzt werden, allerdings auf Kosten seiner Genauigkeit.

Aufgrund seiner Einfachheit ist dieses Instrument besonders für das Messen von Wechselströmen in NS-Verteilungen geeignet.

## ↪ Drehspulmessgerät



Der Messstrom läuft durch eine gewickelte Drehspule, die sich in dem Magnetfeld eines Permanentmagneten befindet. Unter der Einwirkung der auf die Drehspule ausgeübten elektromagnetischen Kräfte, schwenkt diese gemäß einem linearen Gesetz aus.

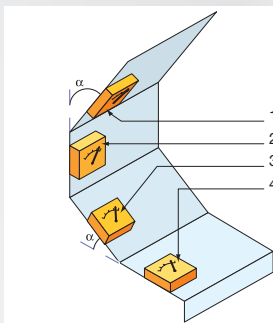
Dieses Instrument hat einen geringen Verbrauch und ist daher hervorragend geeignet als Messinstrument für schwache Gleichstromsignale.

## ↪ Drehspulmessgerät mit Gleichrichter



Da das Drehspulgalvanometer bei Gleichstrom ein polarisiertes Gerät ist, wird die Messung von Wechselstromgrößen durch Anfügung eines Diodengleichrichters ermöglicht.

## ↪ Gebrauchsstellung



cattec 126 b 1 x cat

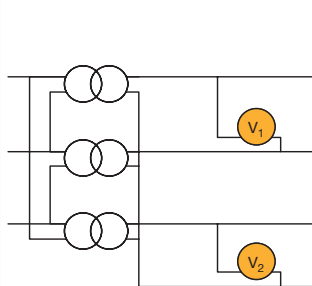
- 1:  $\alpha > 90^\circ$       3:  $\alpha < 90^\circ$   
2:  $\alpha = 90^\circ$       4:  $\alpha = 0^\circ$

Die Anzeiger ROTEX und DIN sind bei vertikaler Stellung der Skalen geeicht.

Der Gebrauch in anderen Stellungen ist ebenfalls ohne wesentliche Verringerung ihrer Genauigkeit möglich. Auf Anfrage werden die Anzeigen für den Betrieb in einer anderen vorgegebenen Stellung geeicht (bitte bei der Bestellung angeben).

## ↪ Gebrauch von Spannungswandlern

- **Montage von 3 Spannungswandlern:**  
63 kV Netz – Spannungswandler 63 kV / 100 V /  $\sqrt{3}$

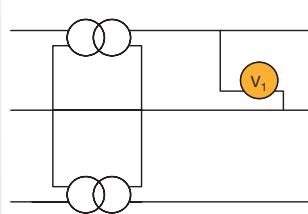


cattec 127 b 1 x cat

Voltmeter  
100 V = 63 kV Messung der verketteten Spannung (Niederspannung), Anzeige der verketteten Spannung (Hochspannung).

Voltmeter  
 $100 \text{ V} / \sqrt{3} = 63 \text{ kV}$  Messung der Phasenspannung (Niederspannung), Anzeige der verketteten Spannung (Hochspannung).

- **«V»-Schaltung von 2 Spannungswandlern:** 63 kV Netz – Spannungswandler 63 kV / 100 V (Anwendung: Messung der 3 Spannungen mit 2 Spannungswandlern)



cattec 128 b 1 x cat

Voltmeter  
100 V = 63 kV Messung der verketteten Spannung (Niederspannung), Anzeige der verketteten Spannung (Hochspannung).

## ↪ Leistungsumformer

### • Beispiel

Eichung eines Wirkleistungsumformers: Stromwandler 20 / 5 A, U = 380 V, Dreiphasennetz,  $\cos \varphi = 1$ . Grundeichung:

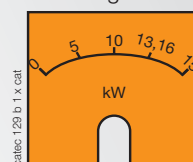
$P' \text{ (Umformer)} = UI \cos \varphi \sqrt{3} = 380 \text{ V} \times 5 \text{ A} \times 1 \times 1,732 = 3290 \text{ W}$  also mit dem Stromwandler von 20 A:  $P = 3290 \text{ W} \times 20 / 5 = 13,16 \text{ kW}$

Umformer-Ausgang: 0 mA = 0 %; 20 mA = 100 % Last.

- Eichung für digitale Anzeigegeräte, Schwellenrelais oder Gebäudeleitsystem: Ein digitales Anzeigegerät kann sich eichen, um 13,16 kW auf 20 mA anzuzeigen. Es ist daher nicht notwendig, die Eichung des Umformers zu ändern.
- Eichung für Zeigeranzeigegeräte (verwendete Maßeinteilung: 0 bis 15 kW) kalibriert auf 20 mA im Hintergrund der Maßeinteilung: Das angeschlossene Gerät ist nicht einstellbar, die Eichung des Umformers muss wie folgt erfolgen:

$$P' \text{ (Umformer)} = \frac{15 \text{ kW}}{13,16 \text{ kW}} \times 3290 \text{ W} = 3750 \text{ W für 20 mA}$$

$$I' \text{ (Umformer-Ausgang)} = \frac{13,16 \text{ kW}}{15 \text{ kW}} \times 20 \text{ mA} = 17,55 \text{ mA}$$



3290 W => 13,16 kW => 17,55 mA  
3750 W => 15 kW => 20 mA

## ↪ Genauigkeitsklasse

- Ein **Analogmessgerät** ist mit einem Klassenzeichen (oder Genauigkeitsklasse) gekennzeichnet. Es stellt den maximalen Fehler dar, ausgedrückt in Hundertstel der höchstmöglichen Anzeige des Geräts.

Beispiel: Ein Amperemeter mit 50 Teilungen, Klasse 1,5

Der Fehler wäre  $\frac{1,5}{100} \times 50 = \text{d. h. } 0,75 \text{ Teilungen}$

- das sind bei einem Amperemeter von 20 A:  $20/50 \times 0,75 = 0,3 \text{ A}$
- das sind bei einem Amperemeter von 400:  $400/50 \times 0,75 = 6 \text{ A}$

- Ein **digitales Messgerät** kann einen Wert von  $\pm 1$  Einheit der letzten Ziffer der angezeigten Zahl anzeigen, zusätzlich zur tatsächlichen Genauigkeit der Komponenten des Geräts.

Beispiel: Ein 3-stelliges-Anzeigeinstrument (999 Punkte), Genauigkeit 0,5 %, verbunden mit einem Stromwandler 400/5 A, Anzeige 400 A.

- (a) Grundfehler  $400 \times \frac{0,5}{100} \text{ d. h. } \pm 2 \text{ A}$
- (b) Anzeigefehler 1 Stelle, entspricht  $\pm 1 \text{ A}$
- Extremwert der Ablesung: (a) + (b) =  $\pm 3 \text{ A}$  (bei Nennlast).

- Ein **Stromwandler** ist mit seiner Genauigkeitsklasse gekennzeichnet.

Dieser Fehler variiert je nach Last wie folgt:

		Fehler ( $\pm$ % von $I_n$ )					
Lastniveau		0,1 $I_n$	0,2 $I_n$	0,5 $I_n$	$I_n$	1,2 $I_n$	5 $I_n$
Klasse	0,5	1,0	0,75		0,5		
	<b>1</b>	<b>2,0</b>	<b>1,50</b>		<b>1,0</b>		
	3			3	3	3	
	<b>5</b>			<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	
	5P5				5		5
	<b>5P10</b>				<b>5</b>		<b>5</b>

Beispiel: Die Stromwandler 5P5 werden bei der Messung des Stroms eines Motorstromkreises verwendet und gewährleisten eine Genauigkeit von  $\pm 5$  % auf 5  $I_n$ .

## ↪ Leistungsaufnahme von Kupferkabeln

Die Leistungsaufnahme der Kabel muss bei der Bestimmung der Leistung des auszuwählenden Stromwandlers oder Umformers berücksichtigt werden, damit das korrekte Funktionieren der Messkette gewährleistet wird (L: einfache Entfernung zwischen Stromwandler und Anzeigeinstrument).

$$\text{Verlust in VA} = \frac{I^2 \text{ (A)} \times 2}{S \text{ (mm}^2\text{)} \times 56} \times L \text{ (m)}$$

Verlust in den Kabeln in VA<sup>(1)</sup> - Für 5 A Stromwandler

L (m)	1	2	5	10	20	50	100
S (mm <sup>2</sup> )							
1,0	0,89	1,79	4,46	8,93	17,9	44,6	89,3
<b>2,5</b>	<b>0,36</b>	<b>0,71</b>	<b>1,79</b>	<b>3,57</b>	<b>7,14</b>	<b>17,9</b>	<b>35,7</b>
4,0	0,22	0,45	1,12	2,23	4,46	11,2	22,3
<b>6,0</b>	<b>0,15</b>	<b>0,30</b>	<b>0,74</b>	<b>1,49</b>	<b>2,98</b>	<b>7,44</b>	<b>14,9</b>
10	0,09	0,18	0,45	0,89	1,79	4,46	8,93

Verlust in den Kabeln in VA<sup>(1)</sup> - Für 1 A Stromwandler

L (m)	1	2	5	10	20	50	100
S (mm <sup>2</sup> )							
1,0	0,04	0,07	0,18	0,36	0,71	1,79	3,57
<b>2,5</b>	<b>0,01</b>	<b>0,03</b>	<b>0,07</b>	<b>0,14</b>	<b>0,29</b>	<b>0,71</b>	<b>1,43</b>
4,0	-	0,02	0,04	0,09	0,18	0,45	0,89
<b>6,0</b>	-	-	<b>0,03</b>	<b>0,06</b>	<b>0,12</b>	<b>0,30</b>	<b>0,60</b>
10	-	-	0,02	0,04	0,07	0,18	0,36

(1) Es wird nur der Wirkanteil der Verluste berücksichtigt.

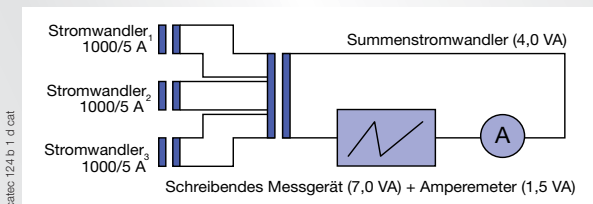


## ➤ Summenstromwandler

Die Summenstromwandler ermöglichen es, die Effektivwerte von mehreren Wechselströmen derselben Phase zusammenzuzählen; diese Ströme können verschiedene  $\cos \varphi$  haben.

Ein Summenstromwandler definiert sich durch:

- die Anzahl der anzuschließenden Stromwandler (Stromwandler mit gleichem Übersetzungsverhältnis);
- die Nennleistung des Gebrauchs.



Beispiel: 3 zu kontrollierende Stromkreise für einen Ausgang über ein schreibendes Messgerät und ein Anzeigeelement:

- (a) Vom Summenstromwandler zu liefernde Leistungsbilanz:  
(Amperemeter + schreibendes Messgerät + Verlust Messkreis)  
 $P' = 1,5 \text{ VA} + 7,0 \text{ VA} + 1,5 \text{ VA} = 10,0 \text{ VA}$ ,
- (b) Vom Stromwandler zu liefernde Leistungsbilanz:  
 $P = P' + \text{Eigenverbrauch des Summenstromwandlers}$ ;  
 $P' = 10,0 \text{ VA} + 4,0 \text{ VA} = 14,0 \text{ VA}$ ; entspricht  $P/3$  pro Stromwandler.

## ➤ Sättigungsstromwandler

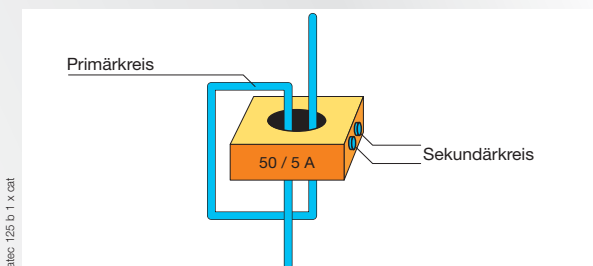
Die Sättigungsstromwandler gewährleisten die Versorgung von Bimetallrelais mit schwacher Leistung, in dem sie diese vor Überströmen schützen, die vom häufigen Anlaufen der Motoren verursacht werden (die Sättigungsstromwandler existieren nur mit 1-A-Ausgang).

SOCOMEc unterscheidet zwischen zwei Typen von Sättigungsstromwandlern:

- Stromwandler, bei denen die Sättigung bei  $4 I_n$  beginnt, für normales Anlaufen (z. B. Pumpen);
- Stromwandler, bei denen die Sättigung bei  $1,5 I_n$  beginnt, für schweres Anlaufen (z. B. Lüfter ohne Schieber).

## ➤ Anpassung der Übersetzungsverhältnisse

Bei Nennströmen unter 50 A ist es möglich, Stromwandler mit durchgeführten Kabeln, die einen höheren Primärstrom haben, an Stelle von Wickelwandlern zu verwenden und zwar indem die Primärleitung mehrmals durch den Stromwandler geführt wird. Diese preisgünstige Alternative ermöglicht die verschiedenen Übersetzungsverhältnisse anzupassen (Leistung und Genauigkeit der Messungen bleiben konstant).



Beispiel: Primärkreis eines 50 A-Stromwandlers.

Zu messender Primärstrom	Anzahl der Durchläufe
50 A	1
25 A	2
10 A	5
5 A	10

## ➤ Allgemeines

Neben den Funktionen in Zusammenhang mit der Messung, der Zählung, der Alarmüberwachung und der Kommunikation bieten DIRIS-Schutzgeräte einen Überstromschutz. Damit diese Funktion ermöglicht wird, verfügt das DIRIS über ein Modul zur Steuerung einer Auslösekurve.

Der Strom  $I_0$  wird durch die vektorielle Summe der drei Phasenströme  $I_1$ ,  $I_2$  und  $I_3$  berechnet oder direkt am vierten Stromeingang gemessen. Der vierte Eingang kann über einen Sekundär-Stromwandler mit dem Neutralleiter oder für die Messung von Erdschlussströmen mit einem gleichpoligen Ringkern verbunden werden.

Die Definition des Schwellwertes erfolgt durch die Auswahl einer zeitabhängigen (inversen, sehr inversen, extrem inversen oder ultrainversen) oder einer zeitunabhängigen Kennlinie DT.

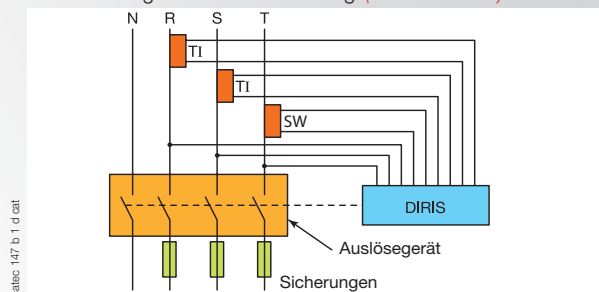
Alle Strommessungen erfolgen in TRMS.

Der Schutz gegen Fehlerströme erfolgt durch den Vergleich der gemessenen Ströme mit der vorher definierten Schutzkurve.

## ➤ Schutzfunktionen

Magnetischer Schutz auf $I_1, I_2, I_3, I_n$ :	$I >>$	ANSI-Code: 50
Thermischer Schutz auf $I_1, I_2, I_3, I_n$ :	$I >$	ANSI-Code: 51
Magnetischer Schutz auf der Nullkomponente $I_0$ :	$I_0 >>$	ANSI-Code: 50 N
Thermischer Schutz auf der Nullkomponente $I_0$ :	$I_0 >$	ANSI-Code: 51 N
Richtungsabhängiger Überstromschutz: $I_{dir}$		ANSI-Code: 67
Logische Selektivität		ANSI-Code: 68
Wirkleistungsrückkehrschutz	$> rP$	ANSI-Code: 37

Die DIRIS-Schutzgeräte gewährleisten den Schutz von Stromkreisen: Sie sind unbedingt zusammen mit einer Abschaltvorrichtung zu verwenden, durch die innerhalb einer festgelegten Zeitspanne die Unterbrechung des Stromkreises erfolgt (siehe Seite 484).



Darstellung des Abschaltsystems.

## ➤ Zeitabhängige Schutzkennlinien

ANSI Code 50, Phasen 50 N, (N-Leiter oder Erde) – nach der Norm IEC 60255-3 und BS 142. Diese Kennlinien werden im Allgemeinen für die Programmierung des unteren **Schwellwertes** (Überlast) verwendet.

Um den unteren Schwellwert zu programmieren, muss eine Kennlinie ausgewählt und einen Schwellwert  $I_s$  (in Prozent) sowie eine Zeit  $T_s$ , die der Abschaltzeit für einen Fehler, der  $10 I_s$  entspricht, definiert werden.

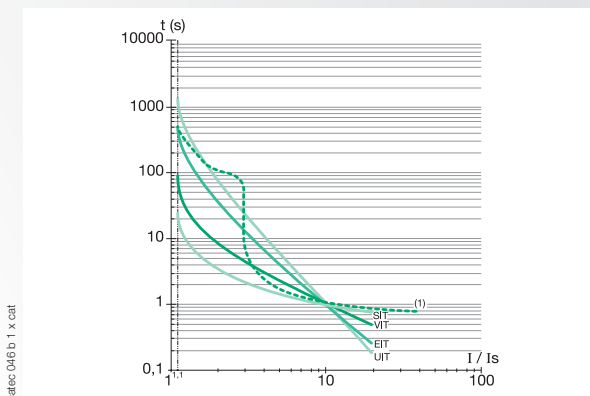
Der Schwellwert  $I_s$  ist der Stromwert, bei dem keine Auslösung erfolgt. Das heißt, dass die Auslösung dann erfolgt, wenn der Strom einen Wert von  $1,1 I_s$  überschreitet und wenn die Verzögerungszeit  $T_s$  abgelaufen ist.

Die Kennlinien, die Schwellwerte und die Verzögerungen sind für die Phasenströme und für den Strom  $I_0$  identisch.

## ➤ Schutzrelais

Wird der Schwellwert überschritten, löst nach Ablauf der Verzögerung ein RT-Relais für einen Phasenfehler aus. Ist die Abschaltvorrichtung ein Lasttrennschalter mit Sicherungen, kann dieser Befehl für das Schließen des Relais unterdrückt werden, so dass das Ausschaltvermögen des Lasttrennschalters mit Sicherungen berücksichtigt wird. Diese Grenze wird auf  $7 I_n$  festgelegt. Der Reset des RT-Relais erfolgt durch die Taste «R» auf der Tastatur.

## ➤ Darstellung der Kennlinien



Konfigurierbare Kennlinie.

## ➤ Kennliniengleichungen

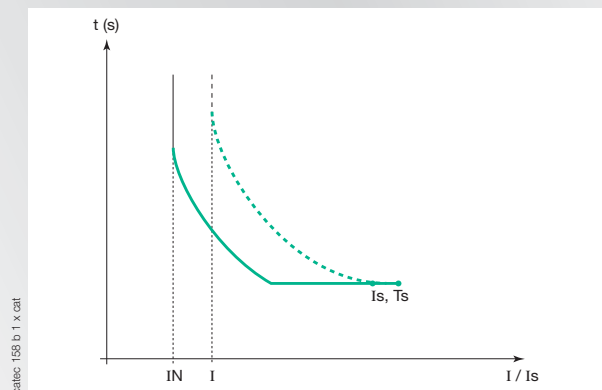
Inverse Zeitkennlinie (SIT):	$t = T_s \times \frac{47,13 \times 10^{-3}}{(I/I_s)^{0,02} - 1}$
Sehr inverse Zeitkennlinie (VIT):	$t = T_s \times \frac{9}{(I/I_s) - 1}$
Extrem inverse Zeitkennlinie (EIT):	$t = T_s \times \frac{99}{(I/I_s)^2 - 1}$
Ultrainverse Zeitkennlinie (UIT):	$t = T_s \times \frac{315,23}{(I/I_s)^{2,5} - 1}$

Die ultrainverse Zeitkennlinie kann vom Benutzer Punkt für Punkt mit Hilfe der RS485-Schnittstelle (DIRIS CP) neu konfiguriert werden.

## ➤ Schutz des Neutralleiters

Der Schutz des Neutralleiters ergibt sich durch die Übertragung der Kennlinie für den Schutz der Phasen:

- die Zeiten  $T_s$  sind identisch;
- die Ströme werden durch den Faktor  $K_N$  geteilt.

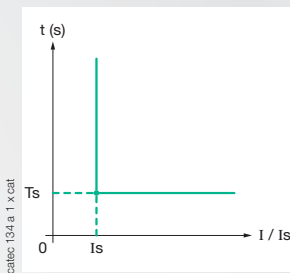


## ➤ Schutz gegen Erdschluss

Die Konfiguration dieses Schutzes erfolgt wie die Konfiguration für die Phasenströme.

Es handelt sich dabei um einen Schutz gegen starke Erdschlussströme. Er stellt keinen Personenschutz dar (direktes oder indirektes Berühren), sondern bedeutet vielmehr einen Schutz gegen Brand oder gegen das Austrocknen der Erdanschlüsse.

## ➤ Zeitunabhängige Schutzkennlinie



ANSI Code 50, Phasen 50 N, Erde – nach der Norm IEC 60255-3 und BS 142. Diese Kennlinie wird für die Programmierung des oberen Schwellwertes verwendet (Kurzschluss). Sie kann auch für die Programmierung des unteren Schwellwertes verwendet werden, wenn die zeitabhängige Kennlinie nicht zur Verfügung steht. Zur Programmierung der unabhängigen Schwellwerte ist die zeitunabhängige Kennlinie (DT) auszuwählen und ein Schwellwert und eine Verzögerung zu definieren.

Unabhängige Zeit (DT) mit:

$$0,1 I_n < I_s < 15 I_n$$

$$0,02s < T_s < 30s$$

$$0,02s < T_s < 300s$$

mit  $I_n$  = Nennstrom.

## ➤ Leistungsrückkehrschutz

### • ANSI Code 37

Hierbei handelt es sich um die Ortung eines mit einer Verzögerung gekoppelten Mindestschwellwertes der negativen Wirkleistung auf den drei Phasen.

Dazu ist es erforderlich, einen Schwellwert in Form eines absoluten Wertes zwischen 5 % und 110 % von  $S_n$  und eine Verzögerung zwischen 1 und 60 s zu programmieren.

Folgende Voraussetzungen müssen erfüllt sein, damit eine Leistungsrückkehr geortet werden kann:

- $P < 0$  und  $IPI > 10\%$  von  $Q$ ; das ergibt einen Winkel zwischen  $96^\circ$  und  $264^\circ$ ;
- $U > 70\%$  der  $U_n$  (Nennspannung) auf den drei Phasen;
- $I > I_n/20$  auf den 3 Phasen (also 250 mA, wenn  $I_n = 5$  A und 50 mA wenn  $I_n = 1$  A);
- $P > rP$  (Schwellwert, programmiert als absoluter Wert).

## ➤ Auswahl des Stromwandlers

Die empfohlene Mindestklasse des SW für den Schutz ist 5P 10 (Genauigkeit zwischen 5 % bei 10  $I_n$ ).

### • Auswahl der Leistung des SW in VA

- Die Klasse des SW (5P 10, 10P 10...) wird für eine maximale in VA angegebene Belastung garantiert.
- Durch das DIRIS ergibt sich eine Last von 1,5 VA, zu der noch die Verluste durch die Verbindungskabel hinzugerechnet werden müssen.

#### Beispiel:

Nennstrom: 275 A.

Die Wahl fällt auf einen SW 300 A/1 A P.

Die Höchstlast dieses SW sei zum Beispiel 4 V.

Der SW wird über Kabel mit folgenden Abmessungen angeschlossen: 2 x 2,5 mm<sup>2</sup>, Länge 10 Meter.

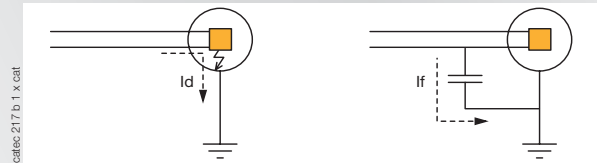
VA-Verlust des Kabels (siehe Seite 523): 3,57 VA.

Gesamtlast: 1,5 VA (DIRIS) + 3,57 VA = 5,07 VA.

Der SW kann so nicht verwendet werden: Entweder ist das Kabel zu verkürzen oder ein Kabel mit größerem Durchmesser zu verwenden oder ein SW zu wählen, dessen Höchstlast über 5,07 VA liegt.

## Allgemeines

Ein Erdfehlerstrom ( $I_d$ ) ist ein Strom, der bei einem Isolationsfehler zur Erde fließt. Ein Erdschlussstrom ( $I_f$ ) ist ein Strom, der ohne vorhandenen Isolationsfehler von den aktiven Teilen der Anlage zur Erde fließt.



Der Zweck einer durch die Norm IEC 60755 definierten Fehlerstrom-Schutzeinrichtung besteht darin, Verlust- oder Fehlerströme zu orten, die im Allgemeinen unterhalb des Einbauortes auftreten.

Die wichtigsten Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen sind:

- Differenzstrom-Leistungsschalter;
- Differenzstrom-Lasttrennschalter;
- Differenzstromrelais, die nicht im Schaltgerät integriert sind.

Als spezialisierter Hersteller bietet SOCOMEC eine komplette Reihe von Differenzstromrelais an, die für alle Einsatzmöglichkeiten geeignet sind.

Die Differenzstromrelais bieten zwei Möglichkeiten an:

- wenn sie mit einem automatisch auslösbaren Schaltgerät verbunden sind, schalten sie die Anlage ab;
- wenn sie als Melderelais verwendet werden, melden sie einen Verlust- oder Fehlerstrom.

### ➤ Melden

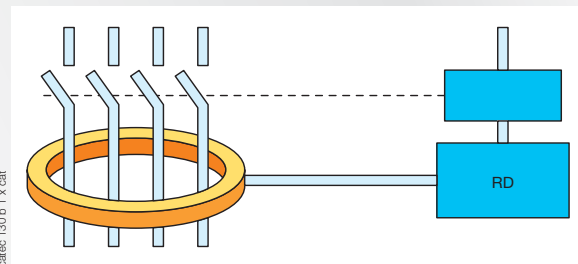
Meldung, wenn ein Erdschluss- oder ein Erdfehlerstrom geortet wird und auf einem Niveau bleibt, das vorbeugende Wartungsmaßnahmen erfordert.

Die Fehlerstromsignalisierung besteht aus:

- einem Ringkern, der die spannungsführenden Leitungen des zu überwachenden Stromkreises umgibt, und der den Reststrom ortet, wenn die Summe der Ströme auf den Leitungen nicht mehr 0 ist;
- einer Vorrichtung zum Analysieren und Messen des Fehlerstroms, die das Bedienungspersonal mit Hilfe ihrer LED-Anzeigen, ihrer Ausgangsrelais oder ihres Digitalausgangs alarmiert.

Manche Anwendungen können es erforderlich machen, dass beide Funktionen - die Abschaltung und die Meldung - zur selben Zeit zur Verfügung stehen.

### ➤ Abschalten der Anlage



Ein Fehlerstromschutz besteht aus:

- einem Ringkern, der die spannungsführenden Leitungen des zu schützenden Stromkreises umgibt und den Reststrom ortet, wenn die Summe der Ströme auf den Leitungen nicht mehr 0 ist;
- einer Vorrichtung zum Analysieren und Messen des Differenzstroms, die das Alarmsignal weitergibt;
- einer durch das Alarmrelais ausgelösten Vorrichtung zum Abschalten der Versorgung.

Bei Gefahr (elektrischer Schlag, Brand, Explosion, Funktionsstörungen einer Maschine...) sorgt eine automatische Abschaltung für eine oder mehrere der folgenden Funktionen:

- Schutz bei indirektem Berühren;
- Begrenzung der Verlustströme;
- zusätzlicher Schutz gegen direktes Berühren;
- Inbetriebhaltung der Geräte oder der Produktion;
- usw.

Die Fehlerstromrelais können unter bestimmten Bedingungen mit Schützen und Leistungsschaltern oder Lasttrennschaltern und Lasttrennschalter mit Sicherungen und Auslösespule der Reihen SIDERMAT und FUSOMAT von SOCOMEC verbunden werden.

## Definitionen

### ↪ Bemessungs-Restfehlerstrom $I_{\Delta n}$

Der mit  $I_{\Delta n}$  bezeichnete Bemessungs-Restfehlerstrom ist der Maximalwert des Fehlerstroms, der zu einer Auslösung der Schutzeinrichtung führen muss. Im Allgemeinen drückt sein Wert die Empfindlichkeit oder die Einstellung der FI-Schutzeinrichtung aus (z. B.: FI-Schutzeinrichtung 30 mA). Nach den Normen für Fehlerstromgeräte kann die Auslösung einer FI-Schutzeinrichtung ab der Hälfte ihres Bemessungs-Restfehlerstroms erfolgen.

Dank der RMS-Messung haben die SOCOMEC-Geräte eine Stromfestigkeit von bis zu 80 % (in der Gruppe A) des Bemessungs-Reststroms. Durch diese Genauigkeit werden bei gleichem Schutz stärkere Verlustströme zugelassen, so dass eine bessere Selektivität erreicht wird.

Die Stromwerte  $I_{\Delta n}$  werden in drei Empfindlichkeitsstufen eingeteilt:

Empfindlichkeiten	$I_{\Delta n}$ -Einstellungen
Geringe Empfindlichkeit	30 A
	10 A
	5 A
	3 A
Mittlere Empfindlichkeit	1 A
	500 mA
	300 mA
	100 mA
Hohe Empfindlichkeit	$\leq 30$ mA

### ↪ Ausschaltzeit


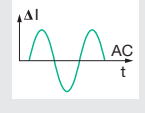

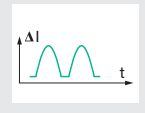

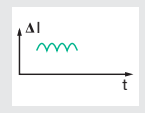
Die zu bevorzugenden Werte für die in Sekunden angegebene maximale Ausschaltzeit der Fehlerstromschutzgeräte zum Schutz gegen elektrische Schläge im Falle eines Fehlers vom Typ des indirekten Berührens werden von der Norm IEC 60755 wie folgt angegeben:

Klasse	$I_n$ (A)	Werte der Ausschaltzeit		
		$I_{\Delta n}$ s	$2 I_{\Delta n}$ s	$5 I_{\Delta n}$ s
TA	alle Werte	2	0,2	0,04
TB	nur $\geq 40$ A	5	0,3	0,15

Die Klasse TB berücksichtigt die gemeinsame Verwendung eines Fehlerstromrelais mit einem getrennten Schaltgerät. Für den Schutz vor indirektem Berühren lässt die Einbaunorm IEC 60 364 für einen Verteilerstromkreis eine Ausschaltzeit von höchstens 1 s zu, wobei die Kontaktspannung im Falle einer für notwendig erachteten Selektivität nicht berücksichtigt wird. Bei einer Endverteilung müssen die für den Schutz von Personen eingesetzten Fehlerstromschutzgeräte eine sofortige Wirkung haben.

### ↪ Klassifizierung der Fehlerstromrelais

Für die FI-Schutzeinrichtungen definiert die Norm IEC 60755 drei Klassen der Verwendung je nach der Art des Netzes:

Fehlerstromrelaistyp	Symbol	Beispiel für einen Fehlerstrom	
Klasse AC			Das Gerät gewährleistet die Auslösung bei Rest-Fehlerströmen vom Typ sinusförmiger Wechselströme.
Klasse A			Das Gerät gewährleistet die Auslösung bei Rest-Fehlerströmen, wenn es sich dabei um sinusförmige Wechselströme oder um pulsierende Gleichströme handelt, deren Gleichstromkomponente unter 6 mA bleibt, für eine Dauer von mindestens 150° der Bemessungsfrequenz.
Klasse B			Das Gerät gewährleistet die Auslösung bei den gleichen Fehlerströmen wie die Geräte der Klasse A, darüber hinaus jedoch auch für Fehlerströme aus Gleichrichterschaltungen: - einfacher Wechsel mit kapazitiver Belastung und glattem Gleichstrom; - dreiphasig mit einfachem oder doppeltem Wechsel; - einphasig mit doppeltem Wechsel zwischen Phasen; - alles, wodurch eine Akkumulatorbatterie geladen wird.



## Definitionen (Fortsetzung)

### ↪ Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

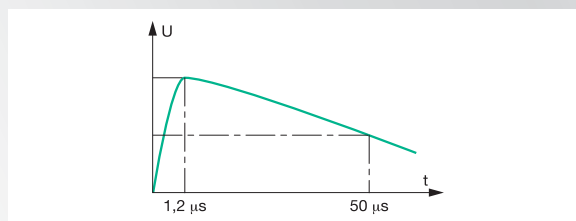
Die Auslösung der FI-Schutzeinrichtungen erfolgt manchmal auch, wenn kein Isolationsfehler vorliegt. Die Gründe hierfür sind unterschiedlich: Gewitter, Betätigung von Hochspannungsgeräten, Kurzschlussströme, Anfahren von Motoren, Einschalten von Leuchtstoffröhren, Einschalten kapazitiver Last, elektromagnetische Felder, elektrostatische Entladungen.



Die FI-Schutzeinrichtungen, die über eine ausreichende Unempfindlichkeit gegenüber diesen Störungen verfügen, werden mit nebenstehenden Symbol gekennzeichnet:

Gemäß NF C 15100 § 531.2.1.4 müssen die FI-Schutzeinrichtungen so gewählt werden, dass das Risiko einer plötzlichen Auslösung aufgrund von EMV-Störungen eingeschränkt wird. Hierfür bieten die Geräte der RESYS SOCOMEC-Palette eine verstärkte EMV-Unempfindlichkeit, insbesondere dank ihres TRMS-Messprinzips.

Die stark unempfindlichen Hilfsversorgungen der Differenzstromrelais von SOCOMEC vermeiden ein überflüssiges Auslösen sowie die Zerstörung von Bestandteilen im Falle von Überspannungen, die auf Gewitter oder auf die Betätigung von Hochspannungsgeräten zurückzuführen sind (siehe nebenstehendes Bild).



catrec 142 b 1 x cat

Das Prinzip der Messung durch digitale Abtastung des Fehlerstromsignals und die Auswahl des Materials für die Ringkerne garantieren ein korrektes Verhalten der Differenzstromrelais im Falle einer Einschwingstromwelle, wie sie beim Schließen stark kapazitiver Stromkreise (Bild a) oder bei einem dielektrischen Durchschlag nach einer Überspannung (Bild b) entsteht.

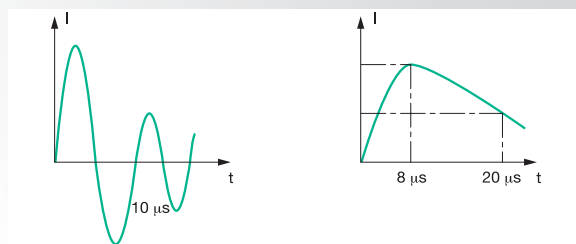


Bild a

Bild b

catrec 143 b 1 x cat

## Anwendungen

### ↪ Schutz einer Anlage

#### • Völlige Selektivität (vertikale Selektivität)

Sie dient dazu, den Fehlerstrom nur in dem Teil der Anlage zu beseitigen, in dem der Fehler auftritt. Hierzu müssen zwei Voraussetzungen erfüllt sein:

1. Die Ansprechzeit der FI-Schutzeinrichtung am Ausgang ( $t_{fB}$  Bild 2) muss kürzer sein als die Zeit des Nichtansprechens der Vorrichtung am Eingang ( $t_{nfA}$ ). Eine einfache Lösung, mit der diese Bedingung erfüllt werden kann, ist die Verwendung einer FI-Schutzeinrichtung der Klasse S (mit einstellbarer Verzögerung). Die Verzögerung der FI-Schutzeinrichtung am Eingang muss größer sein als die Verzögerung der FI-Schutzeinrichtung am Ausgang (siehe Bild 1).
2. Die Empfindlichkeit der FI-Schutzeinrichtung am Ausgang  $I_{\Delta n B}$  muss weniger als die halbe Empfindlichkeit der FI-Schutzeinrichtung am Eingang  $I_{\Delta n A}$  betragen (siehe Bild 1 und 2).

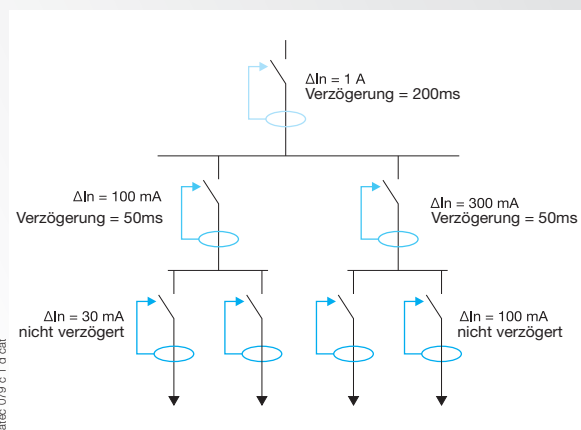


Bild 1

catrec 079 c 1 d cat

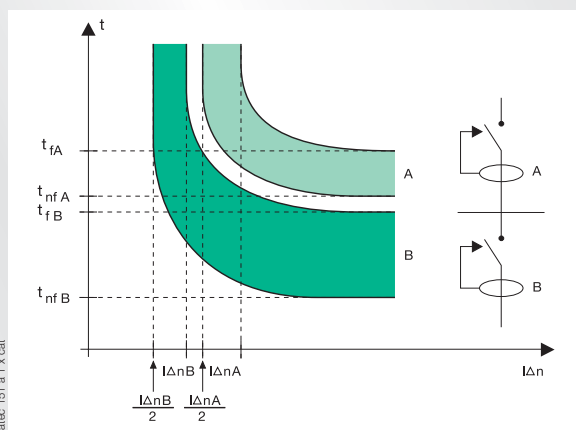


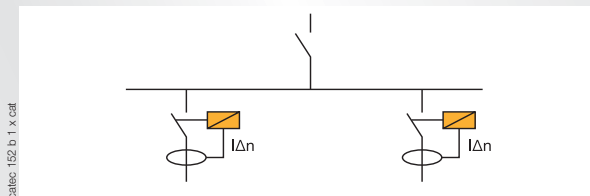
Bild 2

catrec 151 a 1 x cat

## Anwendungen (Fortsetzung)

### ➤ Schutz einer Anlage (Fortsetzung)

#### • Horizontale Selektivität



Bei einer Verteilung vom Typ TT ist eine allgemeine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung ( $I_{\Delta n}$ ) am Eingang der fehlerhaften Teilabgänge nicht erforderlich, da die gesamte Ausführung bis zu den Eingangsklemmen dieser Abgänge den Bestimmungen für die Klasse II entspricht und da bei der Installation eine zusätzliche Isolation angebracht wurde.

### ➤ Schutz von Motoren

Isolationsfehler, von denen die Wicklung eines Motors betroffen ist, können sich auf zwei Arten auswirken:

- Zerstörung der Wicklung; der Motor kann repariert werden;
- Zerstörung des Magnetkreises; der Motor ist zerstört.

Die Verwendung eines Fehlerstromschutzes, der den Fehlerstrom auf wenigstens 5 % des  $I_n$  begrenzt, verhindert den Magnetdurchschlag und die Zerstörung des Motors. Einige große Motoren weisen in der Anlaufphase Stromasymmetrien oder Verlustströme auf. Es kann daher unter bestimmten Bedingungen zulässig sein, das Fehlerstromrelais in dieser Phase auszuschalten.

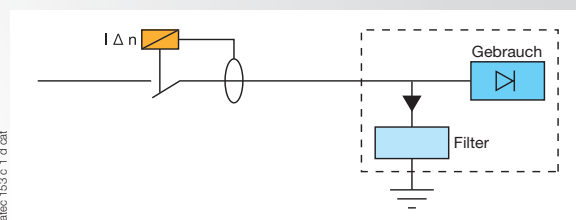
### ➤ Verlustströme der Geräte

Nach den Normen EN und IEC 60950 können von Datenverarbeitungsgeräten aufgrund der besonderen mit ihnen verbundenen Filter Verlustströme ausgehen.

Zulässig sind kapazitive Verlustströme von 3,5 mA bei Steckdosenstromkreisen und 5 % (unter bestimmten Bedingungen) für ortsfeste Stromkreise.

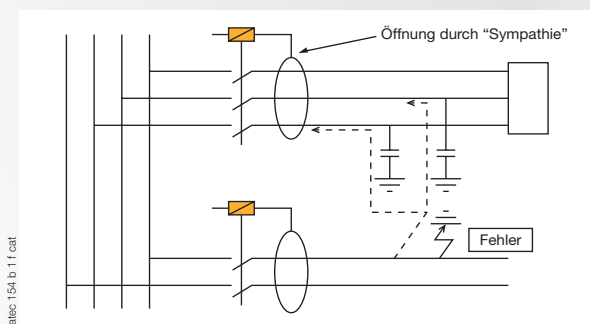
Die Norm EN 50178 über die in Starkstromanlagen verwendeten elektrischen Betriebsmittel gestattet Verlustströme von maximal 3,5 mA AC und 10 mA DC für ein elektrisches Betriebsmittel.

Werden diese Werte überschritten, ist es erforderlich, zusätzliche Maßnahmen zu treffen. Dabei kann es sich z. B. darum handeln, den Schutzleiter zu verdoppeln, die Versorgung im Falle eines PE-Bruchs abzuschalten, einen Transformator einzubauen, der für eine galvanische Trennung sorgt usw.



Anschluss der Isolations-Überwachungsgeräte (allgemeiner Fall).

### ➤ «Sympathieeffekt»



Eine mögliche Lösung zur Begrenzung dieses Effektes ist die Verzögerung der Fehlerstromschutzgeräte.

Es kann vorkommen, dass ein an einem Ausgang auftretender starker Isolationsfehler über die Netzableitkapazitäten eines anderen Ausgangs eine Schleife bildet und so die Auslösung dieses Ausgangs bewirkt, ohne dass eine Beschädigung der Isolation des betroffenen Stromkreises vorliegt.

Besonders häufig erscheint dieses Phänomen auf den Abgängen mit potenziell starker Netzableitkapazität oder auf einer besonders langen Leitung.

## Anwendungen (Fortsetzung)

### ➔ Brandschutz

Zum Schutz von Räumen mit Brandgefahr empfiehlt § 422.1.7 der Norm IEC 60364 die Verwendung einer FI-Schutzeinrichtung mit  $I_{\Delta n} \leq 300 \text{ mA}$  (BE2).

### ➔ Räume mit Explosionsgefahr

Beim TT- oder TN-System bevorzugt die Norm IEC 60364 den Schutz der Leitungen mittels einer FI-Schutzeinrichtung 300 mA in Räumen mit Explosionsgefahr des Typs BE3.

### ➔ Fußbodenheizung

Die Heizungselemente eines Fußbodens müssen durch eine FI-Schutzeinrichtung mit einem  $I_{dn} < \text{oder} = 500 \text{ mA}$  geschützt werden, um die Beschädigung der metallischen Beläge zu vermeiden (Norm IEC 60364).

### ➔ Differentialschutz

#### • Systeme zur Ortung von Restfehlern

Der Isolationswiderstand ist ein wichtiger, ja sogar entscheidender Faktor für die Verfügbarkeit und Betriebssicherheit einer elektrischen Anlage. Er ist in der Tat eine absolute Priorität bei den für elektrische Anlagen vorgeschriebenen Sicherheitsmaßnahmen. Zahlreiche Studien zeigen, dass ca. 90 % aller Isolationsfehler langfristige Isolationsfehler sind und nur 10 % plötzlich auftreten. Die allgemein verwendeten Sicherheitsvorrichtungen wie Differenzstrom-Leistungsschalter berücksichtigen nur diese 10 %, während für sich langsam entwickelnde Isolationsfehler keine vorbeugenden Maßnahmen ergriffen werden.

Die langsame Schädigung der Isolation wird durch die üblichen Faktoren verursacht: Feuchtigkeit, Alterung, Verunreinigung und klimatische Bedingungen.

Die Liste der durch Isolationsfehler potenziell möglichen Vorfälle ist sehr lang und sie haben unterschiedlich schwere Auswirkungen: Sie können nur störend oder ärgerlich, aber durchaus auch gefährlich sein:

- plötzliches Abschalten der Anlage, Unterbrechung wichtiger Produktionsverfahren;
- fehlerhafte Befehle bei mehreren Isolationsfehlern. Das gleichzeitige Auftreten von zwei Isolationsfehlern kann ein Signal eines Steuergeräts simulieren. Die programmierbaren Steuergeräte und die Minirelais sind z. B. sehr empfindlich und reagieren auch auf sehr schwache Ströme;
- Brandrisiko aufgrund von Verlustleistung infolge von Isolationsfehlern mit hohem Widerstand: Eine Verlustleistung von 60 W an einer Fehlerstelle ist ein bereits als gefährlich zu betrachtender Wert, der zu Brandrisiken führen kann;
- lange und mühsame Suche nach dem Isolationsfehler, insbesondere wenn dieser aus mehreren kleinen Fehlern besteht;
- schwache Fehlerströme aufgrund von Isolationsfehlern mit hoher Impedanz werden nicht festgestellt. Dies führt zu einer schrittweisen Verringerung des Isolationswiderstands.

In jedem Fall führen Isolationsfehler jedoch zu Kosten. Studien haben gezeigt, dass die Fehlerhäufigkeit von der Stromquelle, über das Hauptverteilungsnetz und die sekundäre Verteilung bis zu den angeschlossenen Verbrauchern wächst.

Daher erfordern die geltenden Normen eine regelmäßige Kontrolle des Isolationswiderstands. Diese wiederholten Kontrollen müssen jedoch regelmäßig erfolgen und schließen das mögliche Auftreten von Fehlern nicht aus.

Moderne Konstruktionen umfassen daher das Konzept der planmäßigen präventiven Wartung. Hierfür muss das Isolationsniveau intelligent und beständig überprüft werden. Dies ist die einzige präventive Schutzmaßnahme gegen Isolationsfehler.

Das System für die Ortung von Fehlerströmen DLRD 460 wurde speziell hierfür entwickelt. Als Signalanlage – d. h. es ist kein Schaltgerät – für TN-S- und TT-Systeme (geerdete Netze) ergänzt es die klassischen FI-Schutzeinrichtungen.

Das DLRD 460-Gerät überwacht die verschiedenen Abgänge eines Netzes selektiv. Die Erfassungsschwelle für Fehlerströme kann individuell für jeden Abgang eingestellt werden. Zudem kann der Anwender eine Alarmschwelle konfigurieren (Voralarm). Das System meldet jede Überschreitung des voreingestellten Werts automatisch. Diese Geräte können wie folgt verwendet werden zu:

- Präventivwartung durch schnelle Erfassung (gleichzeitig für 12 Abgänge pro Sicherungskasten) von Fehlern aller Art (Strommessung AC, A und B);
- Signalweiterleitung ohne Abschaltung: keine Unterbrechung der Verfahren;
- Reduzierung der Kosten durch schnelle Ortung der Fehler;
- Zentralisierte Information und Steuerung über Profibus DP-, Modbus-, TCP/IP-Kommunikation (über eigene Verbindung);
- Erweiterung zur Weiterentwicklung Ihrer Anlage (bis 1080 Abgänge).

## Anwendung

Jede Anlage weist einen Erdschlussstrom auf, der im Wesentlichen auf die Netzableitkapazität der Leiter und auf die Entstörkondensatoren oder auf die EMV-Filterkondensatoren zurückzuführen ist, wie sie z. B. in Geräten der Klasse I verwendet werden.

Die Summe dieser Verlustströme kann dann zu einer Auslösung hochempfindlicher FI-Schutzeinrichtungen führen. Die Auslösung ist möglich ab  $I_{\Delta n}/2$  ( $I_{\Delta n} \times 0,80$  für Geräte vom Typ SOCOMEC RESYS M und P), ohne dass dadurch die Sicherheit von Personen gefährdet wird.

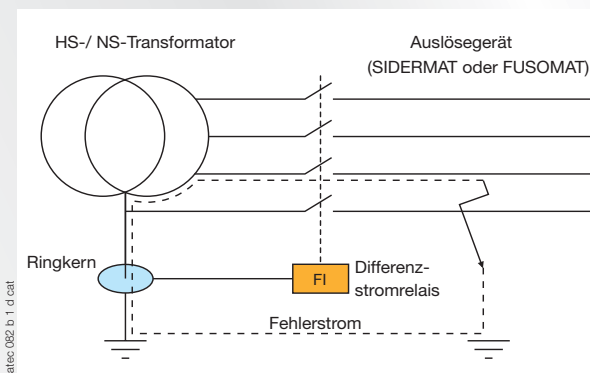
Begrenzt werden können die Verlustströme durch:

- die Verwendung von Geräten der Klasse II;
- Trenntransformatoren;
- die Begrenzung der durch dieselbe FI-Schutzeinrichtung geschützten Verbraucher.

### ➤ Verbesserung der Funktion der FI-Schutzeinrichtung

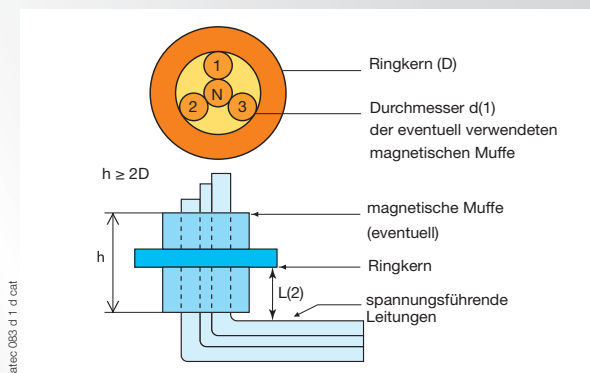
#### • Verwendung am Anfang der TT-Installation

Am Anfang der TT-Installation (und nur dort) ist es möglich, den für die Erfassung eingesetzten Ringkern um die spannungsführenden Leitungen durch einen einzigen Ringkern zu ersetzen, der an dem Leiter angebracht wird, der den Neutralleiter des HS-/ NS-Transformators mit der Erde verbindet. Mit dieser Maßnahme wird eine größere Störungsunempfindlichkeit und eine größere Wirtschaftlichkeit erreicht.



#### • Erhöhte Störungsunempfindlichkeit eines Ringkerns durch:

- symmetrische Anordnung der Phasenleiter um den Neutralleiter;
- Verwendung eines Ringkerns, dessen Durchmesser mindestens zweimal dem Durchmesser des Rings entspricht, der durch die Leiter gebildet wird:  $D \geq 2d$ ,
- **das eventuelle Hinzufügen** einer magnetischen Muffe mit einer Höhe von wenigstens  $2D$ .



(1)  $d$  = Durch die Zentrierung der Kabel in einem Ringkern wird eine lokale Sättigung des Ringkerns verhindert, die zu nicht notwendigen Auslösungen führt.

(2)  $L$  = Abstand zwischen Ringkern und Kabelkrümmung.

### ➤ Angabe der Testbedingungen für Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen

Es ist ein zusätzlicher Hinweis anzubringen, der dem Benutzer mitteilt, dass der Test regelmäßig durchgeführt werden muss (empfohlen wird ein Abstand von 3 bis 6 Monaten).

### ➤ Auswahl einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung nach der Art der gewünschten Absicherung

#### • Die Norm IEC 60364 macht die Auswahl der Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen von der gewünschten Absicherung abhängig:

- Schutz gegen indirektes Berühren (Empfindlichkeit ist je nach zulässigen Kontaktspannungen zu wählen);
- ergänzender Schutz gegen direktes Berühren ( $I_{\Delta n}$  30 mA);
- Schutz gegen Brandrisiken  $I_{\Delta n}$  (300 mA).

### ➤ Auswahl der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung für IT-Systeme

#### • NF C 151 00 § 531.2.4.3

Um eine plötzlich Auslösung von FI-Schutzeinrichtungen mit mittlerer Sensibilität durch indirektes Berühren zu vermeiden, muss der Wert des dem Gerät zugewiesenen Restfehlerstroms ( $I_{\Delta n}$ ) mehr als doppelt so groß wie der Wert des Verluststroms ( $I_f$ ) sein, der beim einem ersten Fehler auftritt  $I_{\Delta n} > 2 \times I_f$ .



## Anwendung (Fortsetzung)

### ➤ Auswahl einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung nach der Art der Hilfsversorgung

Die Norm IEC 60364 macht die Auswahl der Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit ihrer entsprechenden Betriebs- und Versorgungsart von der Qualifikation des Anwenders und dem Zweck der Anlage abhängig.

Art der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung	Mögliche Wahl nach Art der Anlage	
	Nicht sachkundiges Personal (BA1)	Geprüft und getestet von zumindest sachkundigem Personal (BA4)
mit netzunabhängiger Hilfsquelle	NEIN	JA
<b>mit von der Netzspannung unabhängigem Betrieb</b>	<b>JA</b>	<b>JA</b>
mit von der Netzspannung oder von irgendeiner Hilfsquelle mit positiver Sicherheit abhängigem Betrieb	NEIN	JA
<b>mit von der Netzspannung abhängigem Betrieb, ohne positive Sicherheit</b>	<b>NEIN</b>	<b>JA</b> <b>außer Stromkreise PC 16 A</b>
mit von der Spannung einer Hilfsquelle abhängigem Betrieb, ohne positive Sicherheit	NEIN	JA außer Stromkreise PC 16 A und Meldung von Fehlern der Hilfsquelle

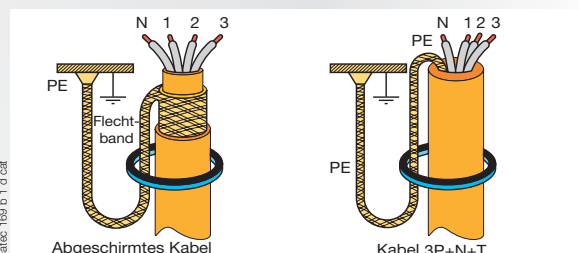
Anmerkung: Ein an das Netz angeschlossener Transformator stellt keine vom Netz unabhängige Hilfsquelle dar.

### ➤ Eigenschaften einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung mit Hilfsquelle

- Von der Spannung des überwachten Stromkreises unabhängige Überwachung.
- Geeignet für Netze mit starken und schnellen Schwankungen.
- Unabhängige Überwachung des Betriebsstroms (nicht ausgeglichener Stromstoß, Kopplung induktiver Lasten).
- Bessere Auslöseempfindlichkeit im Falle vorübergehender Fehler (Integrationszeit von etwa 30 ns, während die Auslösung bei einem Gerät mit eigenem Strom nach einigen ms erfolgen kann).

### ➤ Vorsichtsmaßnahmen in Zusammenhang mit dem Einbau von Ringkernen bei abgeschirmten Kabeln

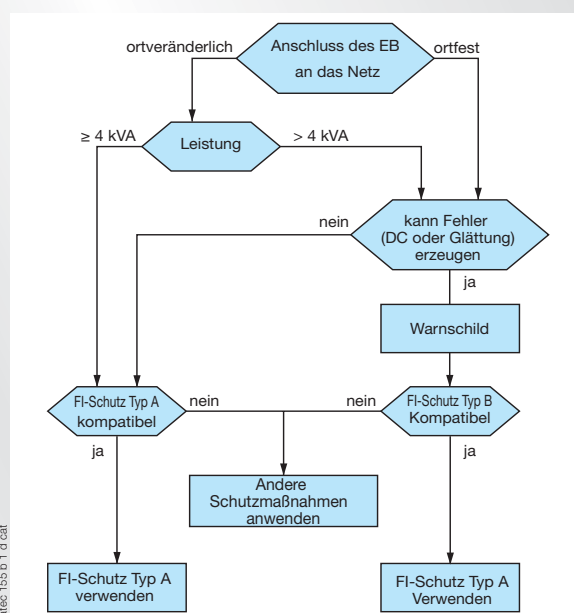
Abgeschirmtes Kabel: den Anschlusskasten elektrisch isolieren und an die Erde anschließen.



### ➤ Auswahl der Klasse der FI-Schutzeinrichtungen je nach Last

Die Geräte werden immer häufiger mit Gleichrichtern ausgestattet (Dioden, Thyristoren...). Die Erdfehlerströme am Ausgang dieser Vorrichtungen enthalten einen Gleichstromanteil, der die FI-Schutzeinrichtungen möglicherweise desensibilisieren kann. Die Klasse der FI-Schutzeinrichtungen muss für die jeweilige Last geeignet sein (siehe Kapitel über die Bestimmung der Klassen). Die Norm EN 50178 legt das folgende Organigramm fest, das die bestehenden Anforderungen bei der Verwendung eines EB hinter einer FI-Schutzeinrichtung definiert (EB: Elektronisches Betriebsmittel). Ortsveränderliche EB, deren Eingangs-Bemessungsscheinleistung nicht 4 kVA übersteigt, müssen so beschaffen sein, dass sie mit der FI-Schutzeinrichtung vom Typ A kompatibel sind (Schutz gegen direktes und indirektes Berühren). EB, die möglicherweise einen Gleichstromanteil im Fehlerstrom erzeugen und dadurch die Funktion der Fehlerstromschutzgeräte beeinträchtigen können, müssen unbedingt mit einem Warnhinweis ausgestattet werden, der auf diese Möglichkeit aufmerksam macht.

Wenn die FI-Schutzeinrichtungen nicht mit den zu schützenden EB kompatibel sein können, müssen andere Schutzmaßnahmen getroffen werden. Diese können z. B. darin bestehen, das EB durch eine doppelte oder verstärkte Isolation von seiner Umgebung zu isolieren oder es mit Hilfe eines Transformators vom Netz zu isolieren.

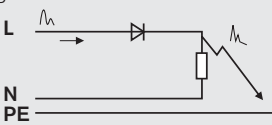
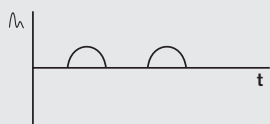

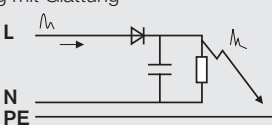

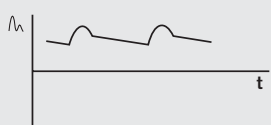
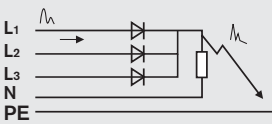

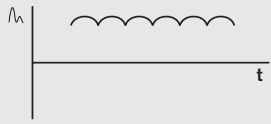
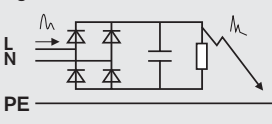
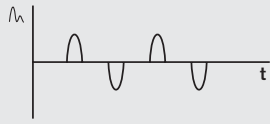

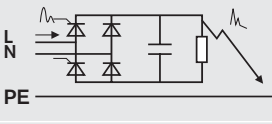
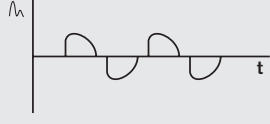

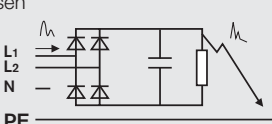
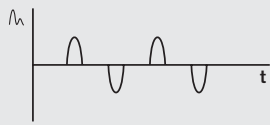

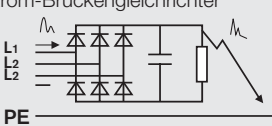
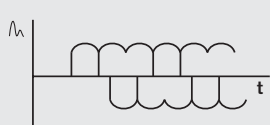
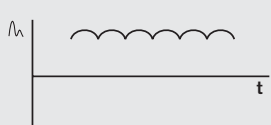

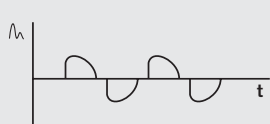
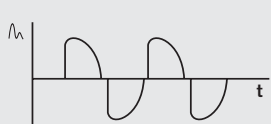
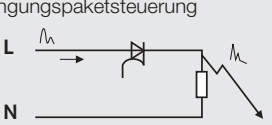






## Anwendung (Fortsetzung)

### ➤ Auswahl der Klasse der FI-Schutzeinrichtungen je nach Last (Fortsetzung)

Die Norm EN 61008-5 bietet eine Auswahl der FI-Schutzeinrichtungen-Klasse der internen Elektronik von Verbrauchern entsprechend.

	Geforderte Klasse	Bauweise	Üblicher Netzstrom	Fehlerstrom zur Erde
1	$\geq A$	Einweg 		
2	B	Einweg mit Glättung 		
3	B	Drehstrom Einweg 		
4	$\geq A$	Brückengleichrichter 		
5	$\geq A$	Geregelter Brückengleichrichter 		
6	B	Geregelter Brückengleichrichter zwischen 2 Phasen 		
7	B	Drehstrom-Brückengleichrichter 		
8	$\geq AC$	Phasenanschnittsteuerung 		
9	$\geq AC$	Schwingungspaketsteuerung 		

## Anwendung (Fortsetzung)

### ➤ «Industrielle» Last

Am weitesten verbreitet sind Geräte der Klasse AC. Die Anforderungen industrieller Anlagen rechtfertigen mindestens eine Verwendung von Geräten der Klasse A.

### ➤ Last vom Typ des Umrichters

Da diese Art der Last sehr schwankend ist, sind strom- und spannungsunabhängige Relais der Klasse B zur Vermeidung des Risikos eines nicht beabsichtigten Auslösens noch besser geeignet.

### ➤ Zusammenstellung von Anwendungen nach Art der Last

Gerätearten, die identische Fehler erzeugen, müssen in den Anlagen zusammengefasst werden.

Lasten, die möglicherweise einen Gleichstromanteil haben, dürfen nicht am Ausgang von Geräten angeschlossen werden, deren Aufgabe darin besteht, Lasten zu schützen, die im Falle eines Fehlers nur Wechselstrom- oder gleichgerichtete pulsierende Anteile erzeugen.

### ➤ Meldung oder Voralarm eines Verluststroms oder eines Fehlers

Im Falle von Anlagen, bei denen ein unterbrechungsfreier Betrieb unbedingt gefordert wird und (oder) bei denen die Sicherheit von Gegenständen und Personen eine besonders wichtige Rolle spielt, stellen Isolationsfehler ein großes Risiko dar, das in besonderem Maße berücksichtigt werden muss.

Die Meldefunktion kann durch zwei Maßnahmen gewährleistet werden:

1. Die automatische Unterbrechung der Stromversorgung zum Zwecke des Schutzes (Schutz gegen direktes oder indirektes Berühren, Begrenzung des Verluststroms) kann durch Fehlerstrom- Schutzeinrichtung gewährleistet werden. Die Meldefunktion wird dabei durch Voralarm-Relais sichergestellt, die in bestimmte Differenzstromrelais eingebaut werden. Diese Voralarmprodukte entsprechen der Empfehlung des § 531.2.1.3 zur Begrenzung der Summe der Verlustströme auf ein Drittel des zugewiesenen Auslösestroms.
2. Die automatische Unterbrechung der Stromversorgung zum Zwecke des Schutzes (Schutz gegen direktes oder indirektes Berühren, Begrenzung des Verluststroms) wird durch andere Vorrichtungen – wie z. B. Geräte zum Schutz gegen Überspannung – gewährleistet. Der Alarmkontakt der Relais wird dann ausschließlich zur Anzeige eines Fehlerstroms verwendet.

Die vorsorgliche Meldung eines Isolationsfehlers bietet unzählige Möglichkeiten für die Optimierung einer elektrischen Anlage.

- Rechtzeitige Reparatur der Maschine, bevor es zu einer Unterbrechung der Produktion kommt.
- Entdeckung von Isolationsfehlern in einem TN-S-Netz.
- Schutz vor Brandgefahr, Explosionsgefahr...
- Rechtzeitiges Ansprechen eines Gerätes zum Schutz gegen Überspannung, so dass der Austausch der Sicherung oder die Alterung des Leistungsschalters vermieden werden kann.
- Kontrolle der Verlustströme, so dass Nullströme in den Schutzstromkreisen und die Entstehung von besonders störenden Magnetfeldern reduziert werden können.
- usw.

## Allgemeines

### ➔ Einleitung

Die Norm IEC 60364 schreibt in IT-Netzen die Verwendung eines Isolations-Überwachungsgerätes vor:

«Es ist ein Isolations-Überwachungsgerät vorzusehen, das das Auftauchen eines ersten Körperdefektes oder Erdschlusses eines spannungsführenden Teils anzeigt; das Isolations-Überwachungsgerät muss dann ein akustisches oder visuelles Signal auslösen.» Isolations-Überwachungsgeräte müssen gemäß der Norm IEC 60364 ausgeführt sein.

Im Rahmen der Produktpalette ISOM bietet SOCOMEC eine große Auswahl an Isolations-Überwachungsgeräten an.

Die Messprinzipien der Isolations-Überwachungsgeräte sind gemäß den zu überwachenden Schaltkreisen zu wählen:

- bei Geräten mit einem Gleichstrom als Messstrom bei reinen Wechselstromgeräten (keine Gleichrichter, die bei Ausgangsfehlern einen Gleichstromanteil erzeugen können);
- bei Geräten mit einem Wechselstrom als Messstrom bei Geräten mit Wechsel- und Gleichströmen (Gleichrichter ohne galvanische Isolation am Eingang).

Bestimmte SOCOMEC-Isolations-Überwachungsgeräte sind mit einem AMP-Messgerät ausgestattet (mit kodierten Pulsen), das eine Überwachung in allen Messfällen und insbesondere bei Anlagen erlaubt, bei denen die Anlage oder die Anwendungen Anteile erzeugen, die die Messsignale der Isolations-Überwachungsgeräte hemmen. Diese Anwendungen sind z. B. Drehzahlregler oder alle anderen Geräte mit elektronischer Leistungsverorgung.

### ➔ Funktionsprinzip

Die meisten Isolations-Überwachungsgeräte speisen einen Messstrom in die aus den spannungsführenden Leitern und der Erde gebildete Schleife ein (Bild 1). Ein Ansteigen dieses Messstroms zeigt dann eine verminderte Isolierung im Stromkreis an. Der Messstrom wird mit der Alarmschwelle der Isolations-Überwachungsgeräte abgeglichen.

Die Isolations-Überwachungsgeräte der Produktpalette ISOM benötigen für ihr ordnungsgemäßes Funktionieren keinen hohen Messstrom.

Die traditionell zwischen dem zu überwachenden Stromkreis und der Erde eingefügte Impedanz von 1 kΩ (IT-Netz) ist bei den Isolations-Überwachungsgeräten von SOCOMEC praktisch überflüssig.

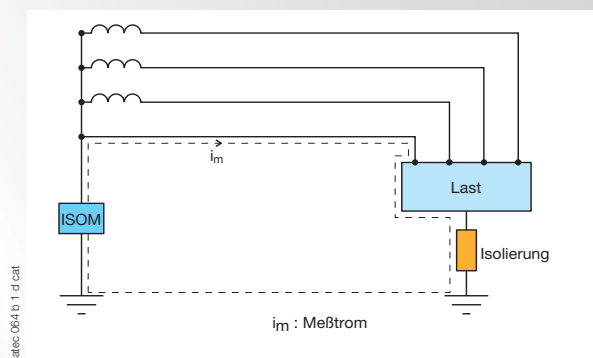


Bild 1: Messung des Isolationswiderstandes einer Anlage durch ein Isolations-Überwachungsgerät.

### ➔ Einstellungen

Die Norm NF C 15100 § 537.1.3 sieht eine Präventionsschwelle von 50 % der Isolierung der Anlage und eine Alarmschwelle von mindestens 1 kΩ vor.

Die Wahl höherer Isolationsschwellen garantiert eine bessere Steuerung des kontinuierlichen Betriebs.

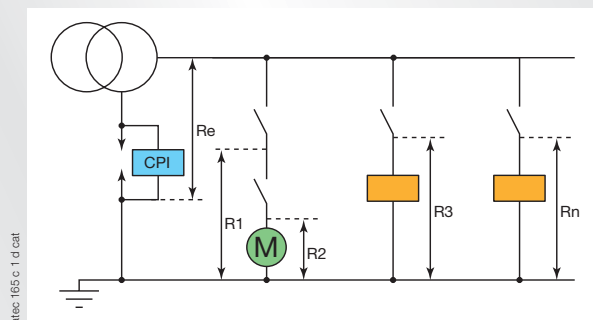
Die Wahl feiner eingestellter Regelungen erlaubt:

- Vorwegnahme von Fehlersuche ab einigen Dutzend kΩ und Gewährleistung eines besseren präventiven Managements der Fehler;
- Begrenzung der vorhandenen Verlustströme, die hochempfindliche Fehlerstromschutzeinrichtungen auslösen können.

Bei der Inbetriebnahme eines Isolations-Überwachungsgerätes in einer Anlage muss berücksichtigt werden, dass dieses Gerät die gesamte Isolierung der ganzen Anlage, also die Summe der einzelnen Ableitwiderstände (bzw. Parallelwiderstände) eines jeden Abgangs misst.

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_n} \quad (R_1, R_2, R_n \geq 0,5 \text{ M}\Omega)$$

Anmerkung: es kann vorkommen, dass das Isolations-Überwachungsgerät einen verminderten Isolationswiderstand anzeigt, ohne dass ein klar erkennbarer Fehler vorhanden ist (z. B. bei vorhandener Feuchtigkeit nach einer längeren Abschaltung). Durch Einschalten der Anlage kann das Isolationsniveau dann wieder erhöht werden (IEC 60364).



## Definitionen

### ↪ Netz im Inselbetrieb

Die Merkmale eines Netzes im Inselbetrieb sind:

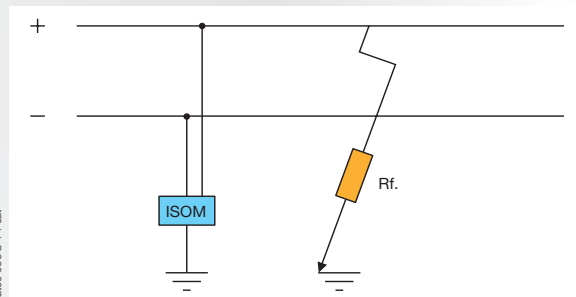
- ein einziger Verbraucher oder mehrere Verbraucher der gleichen Art (Motoren, Sicherheitsbeleuchtung...);
- ein nicht besonders umfangreicher Stromkreis (geringe Netzableitkapazität), der lokal begrenzt ist (Anlage, Bedieneinheit...);
- ein genau definierter Stromkreis (Last entweder nur Gleichstrom oder nur Wechselstrom).

### ↪ Globales Netz

Ein globales Netz hingegen zeichnet sich durch eine Vielzahl von Verbrauchern und Gleichrichtern aus (gleichzeitiges Vorhandensein von Gleichstrom und Wechselstrom). Das Netz ist häufig sehr umfangreich (hohe Netzableitkapazität).

### ↪ Asymmetrischer Fehler (im Wechselstromnetz)

Ein asymmetrischer Fehler betrifft nur eine Polarität des Netzes.

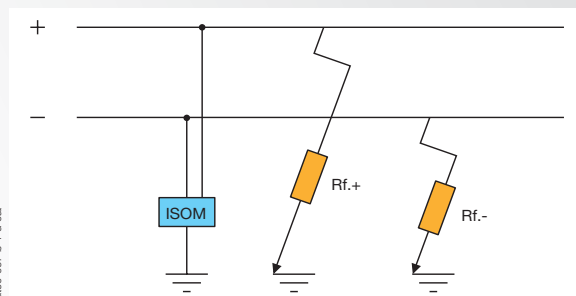


cattec 066 b 1 f cat

### ↪ Symmetrischer Fehler (im Gleichstromnetz)

Ein symmetrischer Fehler betrifft beide Polaritäten des Netzes. Diese Art von Fehler entsteht häufig in einem Stromkreis, in dem die Längen der Plus- und Minusleiter vergleichbar sind.

Seit Ende des Jahres 1997 verlangen die beiden Normen IEC 51557-8 und EN 61557-8 die Überwachung von Gleichstromkreisen durch Isolations-Überwachungsgeräte, die dazu in der Lage sind, symmetrische Fehler zu orten.



cattec 067 b 1 f cat

### ↪ Isolationswiderstand der elektrischen Anlage

Hierbei handelt es sich um das Isolationsniveau der Anlage gegenüber der Erde. Die Kontrollgeräte müssen diesen Wert, der über den Werten der Norm IEC 60364 liegen muss, regelmäßig messen.

Tabelle A: Minimalwerte des Isolationswiderstandes (IEC 60364) ohne Spannung

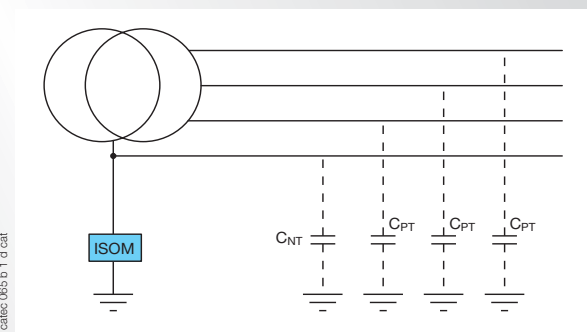
Nennspannung des Schaltkreises (V)	Prüfspannung bei Gleichstrom (V)	Isolationswiderstand (MΩ)
Sicherheits- & Schutzkleinsp.	250	≥ 0,25
≤ 500 V	500	≥ 0,5
> 500 V	1000	≥ 1,0

### ↪ Isolierung der Verbraucher

- $R_f \text{ Motor} > 0,5 \text{ M}\Omega$
- $R_f > x \text{ M}\Omega$  entsprechend Produktnorm.

### ↪ Netzableitkapazität

Wenn zwei Leiter einen Potenzialunterschied besitzen (Spannung), weisen sie untereinander einen Kapazitätseffekt auf, der von ihrer geometrischen Beschaffenheit (Länge, Form), von der Art der Isolierung (Luft, PVC...) und dem Abstand zwischen den beiden Leitern abhängt. Diese physikalische Eigenschaft bewirkt einen kapazitiven Verluststrom zwischen den Leitern eines Netzes und der Erde. Die Stärke dieses Stroms wächst mit dem Ausmaß des Netzes.

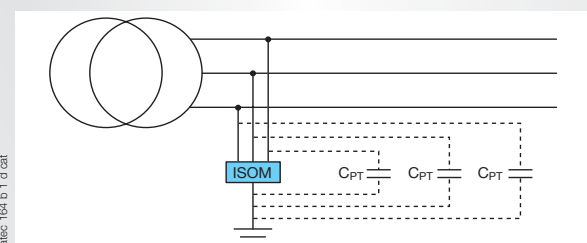


cattec 065 b 1 d cat

Erdschlusskapazität eines Wechselstromnetzes.

### ↪ Maximale Netzableitkapazität

Die maximale Netzableitkapazität ist die Summe aus der Erdschlusskapazität eines Netzes und der Kapazität der Kondensatoren in den elektrischen Geräten, EDV-Geräten usw. Die maximale Netzableitkapazität ist ein wichtiger Parameter für die Auswahl eines Isolations-Überwachungsgerätes. Es sollte noch angemerkt werden, dass die gesamte Netzableitkapazität auf Grund der EMV-Filter beträchtlich zugenommen hat (um einige hundert nF pro Filter).



cattec 164 b 1 d cat



## Anwendungsbeispiele

### ➤ Medizinisch genutzte Räume – Isolations-Überwachungsgeräte HL

Diese Räume stellen besonders strenge Anforderungen an einen unterbrechungsfreien Betrieb des Stromnetzes und an den Schutz der Patienten und Verwender von medizinischen Geräten.

#### • Norm NF C 15211

Diese Norm beschreibt die Vorschriften zur Sicherstellung der elektrischen Sicherheit von Personen in medizinisch genutzten Räumen, wobei die besonderen Risiken aufgrund der dort durchgeführten Behandlungen und die Vorschriften zur Stromversorgung dieser Räume berücksichtigt werden.

#### Gültigkeit

Die Bestimmungen dieser Norm gelten für alle Anlagen, deren Baubewilligung nach dem 31. Januar 2007 liegt.

#### • Medizinische IT-Systeme

Die Norm legt die Bestimmung von Kritikalitätsstufen für bestimmte medizinische Tätigkeiten fest. Hierfür ist eine Klassifizierung der Räume in die Gruppen 0, 1 und 2 vorgesehen. Wird von der Klinikleitung ein bestimmter Raum in die Gruppe 2 eingestuft, wird die Stromversorgung nach den Regeln des IT-Systems umgesetzt.

#### Direkt betroffene Räume

- Operationssaal;
- Reanimationseinheit;
- Operations-Bildgebungsanlagen.

#### • Konsequenzen des medizinischen IT-Systems

• **Installation eines Isolationstransformators** gemäß Norm NF EN 61558-2-15 mit einer eingeschränkten Leistung von maximal 10 kVA. Diese Systeme sind im Allgemeinen Systeme mit 230 VAC, wobei die verkettete Spannung 250 V bei dreiphasiger Sekundärspannung nicht übersteigen darf. Die **ISOM TRM**-Transformatoren stellen diese Trennung zwischen allgemeinem Stromversorgungssystem der Einrichtung und der elektrischen Versorgung für Räume sicher, in denen die Patientensicherheit bei Isolationsfehlern nicht beeinträchtigt werden darf.

• **Installation eines speziellen Isolations-Überwachungsgeräts** mit den folgenden Merkmalen:

- interner Widerstand AC  $\geq 100 \text{ k}\Omega$ ;
- Messspannung  $\leq 25 \text{ VDC}$ ;
- Messstrom  $\leq 1 \text{ mA}$ ;
- Anpassung des Messprinzips an die Art der Verbraucher, insbesondere bei Gleichstromanteilen (elektronische Lasten);
- Einstellung des Isolations-Überwachungsgeräts auf 150 kW.

Es ist besonders wichtig, Isolations-Überwachungsgeräte zu wählen, die nach dem Prinzip der Messung nach kodierten Impulsen arbeiten. Sie gewährleisten eine optimale Messung, insbesondere in Operationssälen, die im Allgemeinen mit Schaltgeräten ohne Transformatoren mit galvanischer Trennung ausgestattet sind.

• **Überwachung von Überlasten und Temperaturspitzen** des Transformators (Pflicht).

Das HL-Isolations-Überwachungsgerät umfasst Strom- und Temperatureingänge – sowie Alarmmeldung bei Isolationsfehler – zur zentralen Meldung von Überlast und Überhitzung des Isolationstransformators. Die Informationen stehen über den RS485 am Ausgang des Isolations-Überwachungsgeräts zur Verfügung.

• **Alarmierung des medizinischen Personals** durch Warnton und -leuchte und Meldung dieses Alarms an eine ständig überwachte Station (Pflicht). Die Alarmberichte des **ISOM RA** erlauben die Erfassung der Informationen des HL-Isolations-Überwachungsgeräts (Isolationsfehler, Überlast und Übertemperatur des Transformators) und die lesbare Klartext-Anzeige der Informationen im OP. Sie können auch an die technische Steuerzentrale (Kommunikation über RS485-Bus) übertragen werden.

#### • Andere Lösungen in diesem Kontext

Im IT-System empfiehlt die Norm NF C 15100 § 537.3 stark die Verwendung eines Fehlerortungssystems mit dem Isolations-Überwachungsgerät. Diese Logik gilt auch für medizinische IT-Systeme, ja sogar in besonderem Maße, wenn man den kritischen Kontext des Einsatzes in der Medizin und die dabei durchgeführten Verfahren bedenkt. Das Fehlerortungssystem **ISOM DLD** in Verbindung mit dem fest installierten Spezialextraktor für das medizinische IT-System **ISOM INJ** mit einem auf 1 mA begrenzten Erfassungstrom gewährleistet eine rasche Ortung des fehlerhaften Abgangs. SOCOMEC bietet zusätzlich **die Lieferung eigener Verteilerschränke für den Einsatz im medizinischen Umfeld an**. In die Leistungen eingeschlossen sind umfassende Planung, Umsetzung, Lieferung der Hauptkomponenten (Transformatoren, Wechselrichter, Quellenumschaltssysteme, Mess- und Schutzgeräte und Gehäuse) bis zur Inbetriebnahme und zugehörigen Schulung.

### ➤ Überwachung von Sonderanlagen und an besonderen Standorten

- In explosionsgefährdeten Umgebungen (BE3) gemäß NF C 15100 § 424.8 können Isolations-Überwachungsgeräte verwendet werden, um die Isolation der Sicherheitsschaltkreise zu überwachen, die über Kabel vom Typ CR1 versorgt werden. Diese Überwachung kann unter Spannung oder spannungsfrei erfolgen.
- An einem Standort mit IT-System gemäß § 704.312.2 ist die Isolationsüberwachung verpflichtend vorgeschrieben.
- Um einen Schutz gegen Fehlerströme von Heizanlagen zu gewährleisten, sind die Impedanz des Isolations-Überwachungsgeräts und die Merkmale der FI-Schutzeinrichtungen so auszuwählen, dass die Abschaltung beim ersten Fehler erfolgt (gemäß § 753.4.1).



## Anwendungsbeispiele (Fortsetzung)

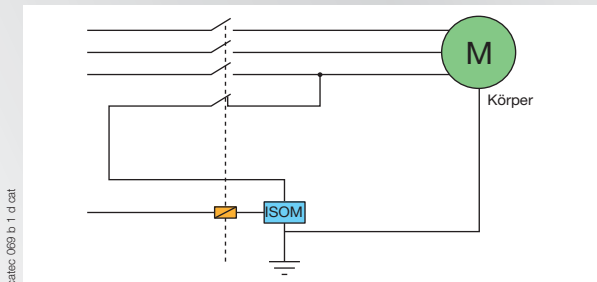
### ➤ Überwachung der Isolierung von abgeschalteten Motoren (z. B. Isolations-Überwachungsgeräte SP 003)

Die Überwachung der Isolierung von abgeschalteten Motoren ist eine vorbeugende Maßnahme, die in den Fällen zum Einsatz kommt, in denen die Anforderungen an die Sicherheit und an die Verfügbarkeit der Geräte besonders hoch sind:

- kritische Arbeitsabläufe in industriellen Verarbeitungsprozessen;
- strategisch wichtige Motoren oder große Motoren.

In sogenannten Sicherheitsanlagen muss das Isolations-Überwachungsgerät (gemäß NF C 15100 § 561.2) die Überwachung der Isolierung der Komponenten sicherstellen:

- Sicherheitsanlagen: Pumpenmotoren für den Brandfall;
- Rauchabzugsanlage.



Einbauprinzip: Wenn der Motor versorgt wird, ist das Isolations-Überwachungsgerät abgeschaltet.

#### • Einstellung eines Isolations-Überwachungsgerätes zur Überwachung von abgeschalteten Motoren

Die Alarmschwelle liegt im Normalfall über 1 MW. Dies kann der Wert des ersten Grenzwerts des Isolations-Überwachungsgeräts sein. Der Motor darf nicht mehr betrieben werden, wenn der Wert des Isolationswiderstandes auf unter 300 kW fällt. In diesem Fall kann der zweite Wert des Isolations-Überwachungsgeräts vom Typ SP die präventive Abschaltung auslösen, um das Anlaufen eines schadhaften Motors zu vermeiden. Die Isolations-Überwachungsgeräte vom Typ SP sind speziell für die Kontrolle einer Isolierung im abgeschalteten Zustand entwickelt worden. Auf Grund ihrer Speicherfunktion sind sie auch ein geeignetes Mittel für die Ortung flüchtiger Fehler (zum Beispiel: Weichenmotoren, prozessschnelle Hafenkräne).

### ➤ Überwachung von Umrichtern

Die Überwachung von Umrichtern muss die von diesen Geräten erzeugten niedrigen Frequenzen berücksichtigen. Ihr ordnungsgemäßes Funktionieren können auf Dauer nur Isolations-Überwachungsgeräte und Ortungsgeräte gewährleisten, deren Messverfahren codierte Signale verwenden oder die auf Signale zurückgreifen, die sich von denen unterscheiden, die von den Umrichtern erzeugt werden.

### ➤ Mobile Generatorgruppen

Der Schutz von Stromkreisen, die von mobilen Generatorgruppen versorgt werden, ist häufig schwer zu gewährleisten. Der Grund liegt darin, dass die Einrichtung eines Erdanschlusses entweder nicht möglich ist (tragbare Einheiten, Geräte zum Einsatz in Notfällen...) oder dass der Erdanschluss unbrauchbar ist (keine Möglichkeit den Widerstand zu messen...).

Dieser Schutz wird häufig durch die 30-mA-FI-Schutzeinrichtungen gewährleistet, die den Nachteil besitzen, dass sie zu fehlerhaften Auslösungen führen können (siehe Seite 393). In den Fällen, in denen ein unterbrechungsfreier Betrieb aus Gründen der Sicherheit eine zwingende Voraussetzung ist, können Isolations-Überwachungsgeräte verwendet werden (siehe Bild 1). Die Körper der Einheit werden nicht mit dem Mittelpunkt des Generators verbunden, sondern mit dem Netz, das aus den miteinander vernetzten Geräten gebildet wird. Das Isolations-Überwachungsgerät schaltet sich dann zwischen diesem Körper und einer Phase. Diese Vorrichtung entspricht Artikel 39 des Dekrets vom 14.11.88 zur Trennung von Schaltkreisen und dem Kapitel 413.2.3. der Norm NF C 15100. Klassische Geräte können problemlos verwendet werden, wenn bei ihrem Einbau die Anforderungen der Umgebung (Vibration, Tropenfestausrüstung, Kohlenwasserstofffestigkeit...) berücksichtigt werden.

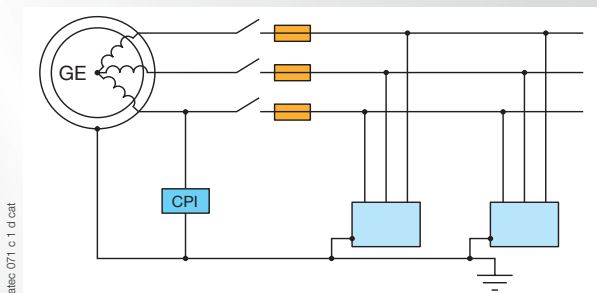


Bild 1: Verwendung eines Isolations-Überwachungsgerätes für einen von einer Generatorgruppe versorgten Stromkreis.

### ➤ Überwachung störungsstarker Abgänge mit Ortungsgerät

#### • Niedrige Frequenzen

§ 537.3 der Norm NF C 15100 empfiehlt dringend die Verwendung eines Ortungsgeräts zur Feststellung des Fehlers und zur Minimierung der Suchzeit. Die geltende Norm ist die NF EN 61557-9. Die DLD von SOCOMEC (DLD 460-12) entsprechen dieser Norm. Sie verfügen über eine Synchronisierungsvorrichtung über RS485-Bus, die eine rasche Ortung erlaubt, selbst bei stark gestörten Netzen. In dieser Art von Stromkreisen wird die Ortung von Fehlern dadurch sichergestellt, dass die Einspeisung des Ortungsstroms mit den Analysen der Ortungsgeräte synchronisiert wird.

#### • Hohe Frequenzen

Das zentrale Ortungsgerät verfügt über eine Funktion zur Bestätigung der Messungen, die auf Anfrage den Analysezyklus wiederholt.

#### • Starke Nullströme

Die Ringkerne der Ortungsgeräte sind standardmäßig mit Begrenzerdioden ausgestattet, die eventuelle Überspannungen der Sekundärseite unter Kontrolle bringen.

## Anwendungsbeispiele (Fortsetzung)

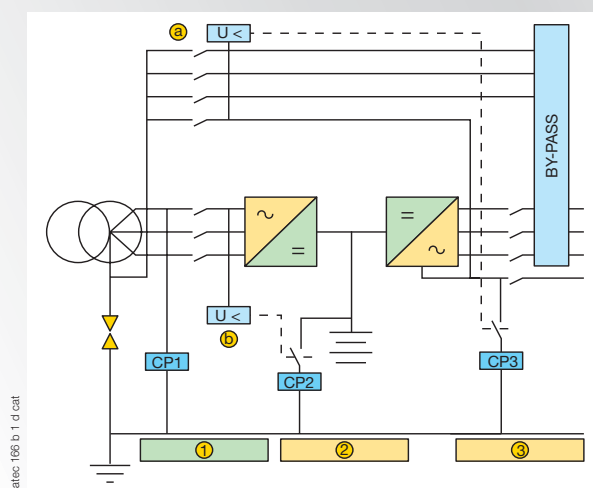
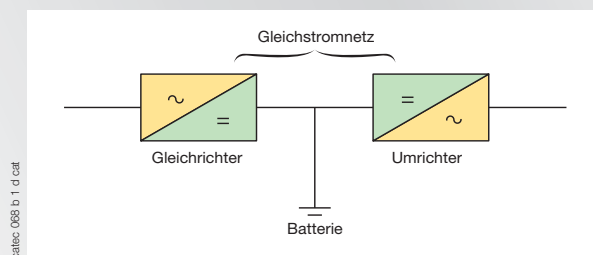
### ↪ Netze mit unterbrechungsfreier Versorgung

Die Systeme zur statischen unterbrechungsfreien Versorgung enthalten einen Gleichstromanteil. Es ist erforderlich (UTE C 15402), die mit Gleichstrom versorgte Anlage im selben Raum unterzubringen, damit der Schutz durch das ausgeglichene Potenzial der Körper gewährleistet ist. In den Fällen, in denen die Einhaltung dieser Anforderung nicht möglich ist, ist der Einbau eines Isolations-Überwachungsgerätes erforderlich, das die ordnungsgemäße Isolation der durch den Gleichstrom versorgten Anlage überwacht.

#### • Andere allgemeine Kriterien für die Einrichtung einer unterbrechungsfreien Versorgung

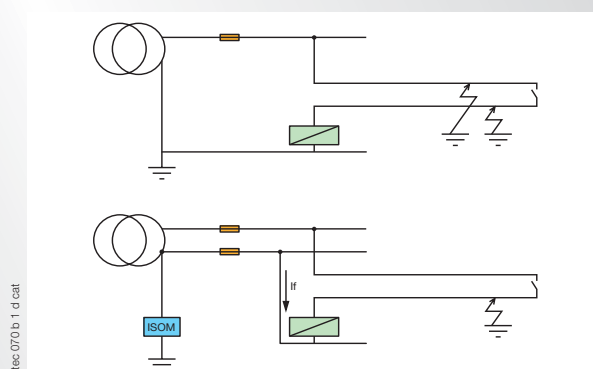
- Zur selben Zeit dürfen nicht zwei Isolations-Überwachungsgeräte zur Überwachung galvanisch vernetzter Netze eingesetzt werden (insbesondere gilt dies während der BYPASS-Phasen).
- Es muss ein Isolations-Überwachungsgerät verwendet werden, das für das überwachte Netz geeignet ist.

1. Isolations-Überwachungsgerät, das Stromkreise mit Gleichstromanteilen und starken Netzableitkapazitäten überwachen kann.
2. Isolations-Überwachungsgerät, das Gleichstromkreise mit symmetrischen Fehlern überwachen kann.
3. Isolations-Überwachungsgerät, das Wechselstromkreise (siehe (a) und (b)) überwachen kann, eine Regeleinrichtung, mit der die Parallelschaltung des Isolations-Überwachungsgerätes in nicht galvanisch getrennten Netzen vermieden wird.



### ↪ Überwachung in Steuer- und Signalstromkreisen

Diese im Allgemeinen durch Trenntransformatoren versorgten Stromkreise verhindern das fehlerhafte Einschalten von Starkstromkreisen. Eine klassische Lösung, wie sie auch durch die Normen und Bestimmungen vorgesehen wird, ist ein Verteilernetz vom Typ TN (Gemeinsamkeit: Erdschlusspule). Eine andere Anordnung erfüllt dieselbe Aufgabe, indem das Sekundärteil nicht an die Erde angeschlossen und gleichzeitig ein Isolations-Überwachungsgerät eingebaut wird. Durch diese Lösung wird einer Parallelschaltung der Steuerorgane nach einem Isolationsfehler vorgebeugt. Dieser Fehler kann zugleich stark genug sein, um die Stellglieder zu steuern und zu schwach, um den Überspannungsschutz auszulösen.



Bei neuen Geräten sind diese Risiken aus zwei Gründen höher:

- die verwendeten Spannungen sind gering und begünstigen keine Auslösung von Fehlern;
  - die Ansprechschwellen der Steuerhilfsgeräte nähern sich einem Wert von einigen 10 mA (Mikrorelais, Automaten, Optokoppler...).
- Im Vergleich zur Lösung durch eine Erdung bietet die Verwendung eines isolierten Netzes, das gemeinsam mit einem Isolations-Überwachungsgerät verwendet wird, den doppelten Vorteil, nicht beim ersten Fehler auszulösen und dabei zugleich eine Überwachung zu gewährleisten, die der Alterung der Einheit vorbeugt.

#### • Einstellung des Isolations-Überwachungsgerätes

$$Z_m = \frac{U}{i_r}$$

U: Maximale Versorgungsspannung des Steuerstromkreises.

i<sub>r</sub>: Abfallstrom des kleinsten Relais.

Z<sub>m</sub>: Einstellungsimpedanz des Isolations-Überwachungsgerätes

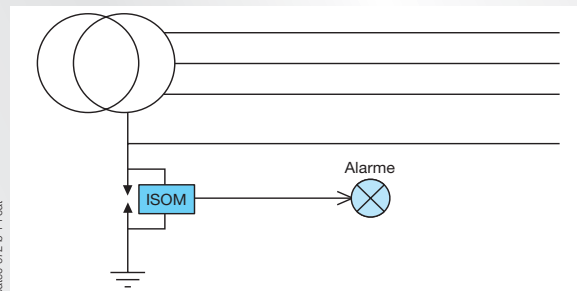
Dank eines auf 1 mA begrenzten Ortungsstroms gestatten die Fehlerortungssysteme vom Typ DLD 204 und die transportablen Systeme vom Typ DLD 3204 eine präventive Ortung von Isolationsfehlern, ohne dabei den Zustand der Steuerorgane oder die Funktion zu verändern.

## Anschluss der Isolations-Überwachungsgeräte

### ➤ Allgemeiner Fall

Der Anschluss eines Isolations-Überwachungsgerätes erfolgt normalerweise zwischen dem Nullpunkt des Transformators am Eingang der IT-Anlage und der Erde. Die Anlage muss durch eine Alarmanlage und einen Überspannungsschutz vervollständigt werden (bei einem HS-/NS-Transformator).

Die Verwendung eines Isolations-Überwachungsgerätes vom Typ ISOM setzt keine parallele Impedanz von 1 kW voraus (siehe Funktionsprinzip Seite 536).

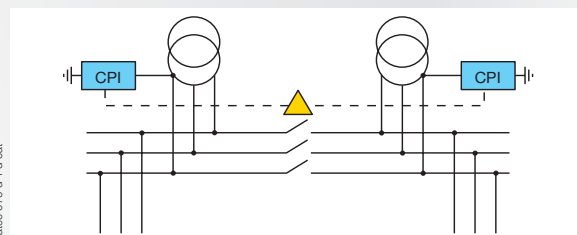


### ➤ Versorgung durch mehrere parallel geschaltete Transformatoren

Die Verwendung eines gemeinsamen Isolations-Überwachungsgerätes für zwei Quellen ist ab Norm NF C 15100 § 537.1.2 nicht mehr zulässig.

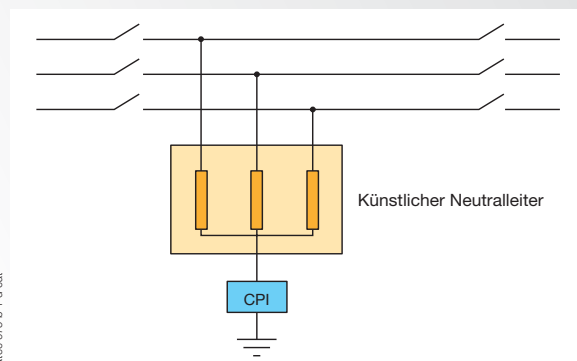
Für jede Quelle muss ein Isolations-Überwachungsgerät installiert werden und dabei ist ihre elektrische Vernetzung sicherzustellen.

Die Isolations-Überwachungsgeräte von SOCOMEC haben hierfür Ein-/Ausgänge und/oder Busse (je nach Modell), um im jeweiligen Betriebsmodus das gewünschte Isolations-Überwachungsgerät auszuschalten.



### ➤ Überwachung eines spannungsfreien Netzes

Verwendung eines künstlichen Neutralleiters.



### ➤ Anschluss und Schutz der Messkreise der Isolations-Überwachungsgeräte

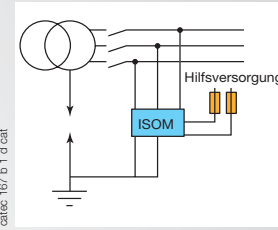


Bild 1: Anschluss des Isolations-Überwachungsgerätes hinter dem Hauptschalter.

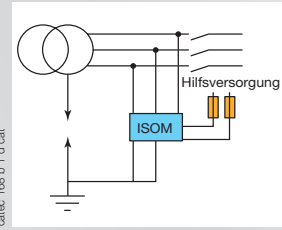


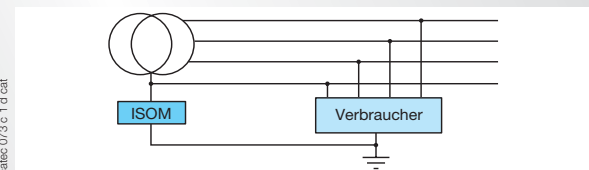
Bild 2: Anschluss des Isolations-Überwachungsgerätes vor dem Hauptschalter.

Die aktuelle Fassung der IEC 60364 lässt einen Kurzschlussschutz nicht zu, um das Risiko einer nicht durchgeführten Messung zu vermeiden. Sie geht jedoch von einer Anordnung aus, die die Gefahr von Kurzschlüssen verhindern soll (keine Verlegung von Leitern über scharfen Kanten von Sammelschienen und überisolierte Leiter). Die Selbstüberwachung des Netzanschlusses der meisten Isolations-Überwachungsgeräte von SOCOMEC macht die oben genannte Bestimmung überflüssig.

- Der Anschluss des Isolations-Überwachungsgerätes vor dem Kopplungsschalter des Transformators verhindert im Falle einer Netzkopplung eine Regelung der Isolations-Überwachungsgeräte untereinander (Bild 2).
- Der Anschluss des Isolations-Überwachungsgerätes hinter dem Kopplungsschalter des Transformators ermöglicht eine präventive Messung des spannungsfreien Netzes (Messsignal auf den Phasen, das keine Schleifenverbindung über die Wicklung des Transformators benötigt) (Bild 1).

### ➤ Zugänglichkeit des Neutralleiters

In diesem Fall wird das Isolations-Überwachungsgerät zwischen dem Nullpunkt des Transformators und dem nächstgelegenen Erdanschluss der Körper oder, wenn dies nicht möglich ist, des Neutralleiters eingebaut.

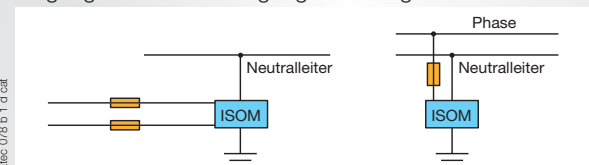


Anschluss der Isolations-Überwachungsgeräte: Erde nicht zugänglich.

Durch diese Art des Anschlusses wird auch der Einbau eines Schutzes auf dem Messleiter des Isolations-Überwachungsgerätes vermieden (da eine Überspannung in Form eines Kurzschlusses wenig wahrscheinlich ist).

### ➤ Anschluss der Hilfsversorgung

Manche Isolations-Überwachungsgeräte sind mit einer Hilfsversorgung ausgestattet. Dank dieser Hilfsversorgung sind sie für Spannungsänderungen unempfindlich. Die Eingänge der Hilfsversorgung müssen geschützt werden:





# Überspannungsbegrenzer

## ➤ Allgemeines

Der Überspannungsbegrenzer entspricht den Anforderungen der Artikel 5 und 34 der Verordnung vom 14.11.88. Seine Funktion besteht darin, für den Abfluss von Überspannungen und Fehlerströmen in die Erde zu sorgen.

## • Überspannungsschutz

Der Überspannungsbegrenzer gewährleistet den Abfluss von Überspannungen aus dem Hochspannungsnetz in die Erde. Die Überströme sind auf fehlerhaftes Einschwingen zwischen den Hochspannungs- und Niederspannungskreisen zurückzuführen. Dabei besteht die Gefahr, dass das Potenzial der Niederspannungsanlage sich bis auf einen gegenüber der Erde gefährlichen Wert erhöht. Wird ein solcher Fehler geortet, schließt der Überspannungsbegrenzer den Neutraleiter und die Erde kurz, um so das Niederspannungsnetz zu schützen. Nach dem Einsatz als Überstrombegrenzer muss der Überspannungsbegrenzer – vor allem in einem IT-Netz ausgewechselt werden, damit der Isolierwächter seine Überwachung wieder korrekt durchführen kann.

## ➤ Strombegrenzungs-drossel

Trotz eines Kurzschlussstrom-Vermögens von 40 kA / 0,2 s der Überspannungsbegrenzer ist es immer vorzuziehen, in Anlagen mit großen Leistung den Kurzschlussstrom auf 10 bis 15 kA zu begrenzen. Dies gilt insbesondere im Falle eines Fehlers im Schienensystem, denn der Kurzschlussstrom zwischen dem Neutraleiter und die Phasen würde 20 kA überschreiten. Diese Begrenzung erfolgt dank spezifischer Drosseln.

## ➤ Effektives Schutzniveau eines Überspannungsbegrenzers

Nennspannung der Anlage (V)	Zulässige Spannungsbelastung $U_0 + 1200$ (V)	Begrenzer zwischen Neutraleiter und Erde.		Begrenzer zwischen Phase und Erde.	
		Nennspannung des Begrenzers (V)	Effektives Schutzniveau (V)	Nennspannung des Begrenzers (V)	Effektives Schutzniveau (V)
127/220	1330	250	880	250	970
230/400	1430	440	1330	(*)	(*)
400/690	1600	440	1500	(*)	(*)
580/1000	1780	440	1680	(*)	(*)

(\*) Nennspannungsbegrenzer bieten keinen Spannungsschutz.

## ➤ Durchschlagsnennspannungen bei Industriefrequenz

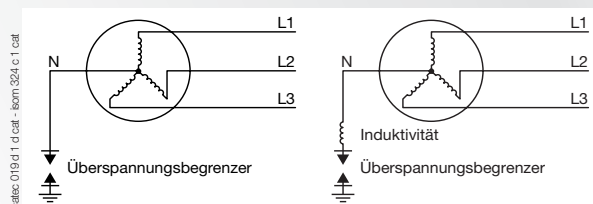
Nennspannung des Begrenzers (V)	Nennspannung ohne Durchschlag (V)	Durchschlagsnennspannung 100 % (V)
250	400	750
440	700	1100

Die Durchschlagsnennspannungswerte der Überspannungsbegrenzer entsprechen der Norm NF C 63-150.

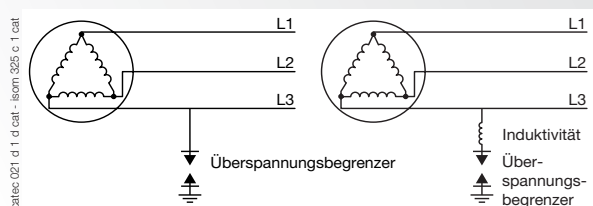
## ➤ Anschluss von Überspannungsbegrenzer und Induktanz

Die Erdklemme wird entweder mit:

- sämtlichen vernetzten Körpern und leitenden Elementen der Anlage oder mit
- einem entfernten Erdanschluss mit geeignetem Wert verbunden.

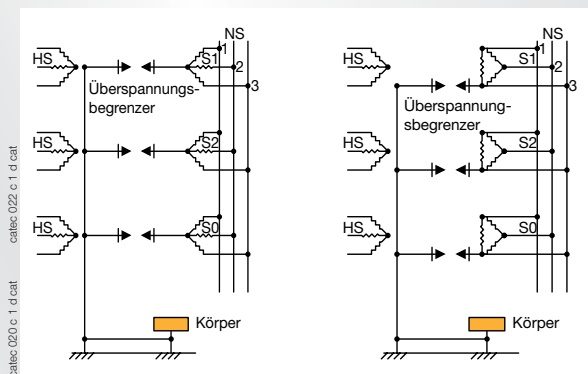


Ein einziger Transformator – Neutraleiter zugänglich.

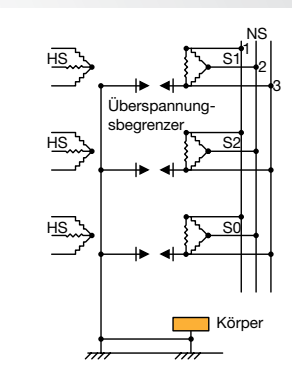


Ein einziger Transformator – Neutraleiter nicht zugänglich.

Wenn mehrere Transformatoren parallel geschaltet sind, ist für jeden Transformator ein Überspannungsbegrenzer vorzusehen. Im Falle der Anlagen mit einem nicht zugänglichen Neutraleiter ist darauf zu achten, dass alle Überspannungsbegrenzer an derselben Phase angeschlossen werden.



«n» Transformatoren parallel geschaltet – Neutraleiter zugänglich.



«n» Transformatoren parallel geschaltet – Neutraleiter nicht zugänglich.

## Überspannungsschutz gegen Spannungssprünge

Die gute Qualität der Niederspannungsversorgung eines Industrie- oder Dienstleistungsunternehmens ist entscheidend, da sie von allen Anlagen verwendet wird.

Ein umfassender Ansatz hinsichtlich der Störquellen ist somit von größer Bedeutung für die allgemeine Zuverlässigkeit der Anlage.

Unter den Phänomenen, die die Funktion der ans Netz angeschlossenen Geräte beeinträchtigen können, sind insbesondere Überspannungen zu berücksichtigen, da diese zu sekundären Auswirkungen führen können, die besonders störend sind und sogar zu Beschädigungen führen können.

Neben Überspannungen aufgrund von Blitzschlag sind industrielle Überspannungen ebenfalls eine Realität.

Ein systematischer Schutz gegen Überspannungen wird daher für alle elektrischen Anlagen empfohlen. Dies wird durch zahlreiche Schäden oder wiederholt auftretende Pannen bei Betriebsmitteln nahegelegt.

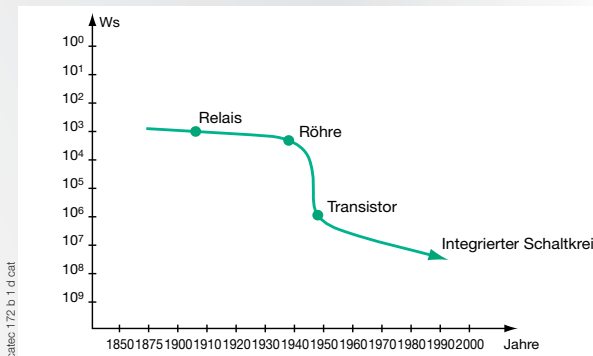
### ↪ Betriebseinschränkungen und Empfindlichkeit der Geräte

Die Sicherstellung eines systematischen Schutzes kann anhand der folgenden Faktoren begründet werden:

- wachsende Empfindlichkeit der Geräte;
- größere Verbreitung empfindlicher Geräte;
- minimale Toleranzen für Betriebsunterbrechungen;
- hohe Kosten bei Betriebsausfällen;
- wachsende Sensibilität der Versicherungsunternehmen bei Überspannungsvorfällen.

### ↪ Auswirkungen auf elektronische Komponenten

Die unten angeführte Kennlinie zeigt die zunehmende Verringerung der Widerstandsfähigkeit der Komponenten aufgrund der technologischen Entwicklung: Folglich wachsen die Probleme mit der Zuverlässigkeit bei vorübergehenden Störungen.



Zulässige Leistung angesichts der technischen Vorgaben.

- Zerstörung (ganz oder teilweise):
  - der Metallisierung der Komponenten;
  - der Triacs/Thyristoren;
  - der sensiblen integrierten Schaltkreise (MOSFET).
- Funktionsstörungen: abstürzende Programme, Übertragungsfehler, Betriebsunterbrechungen.
- Raschere Alterung oder verfrühte Zerstörung: beträchtliche Reduzierung der Lebensdauer der Komponenten.

### ↪ Spannungssprünge

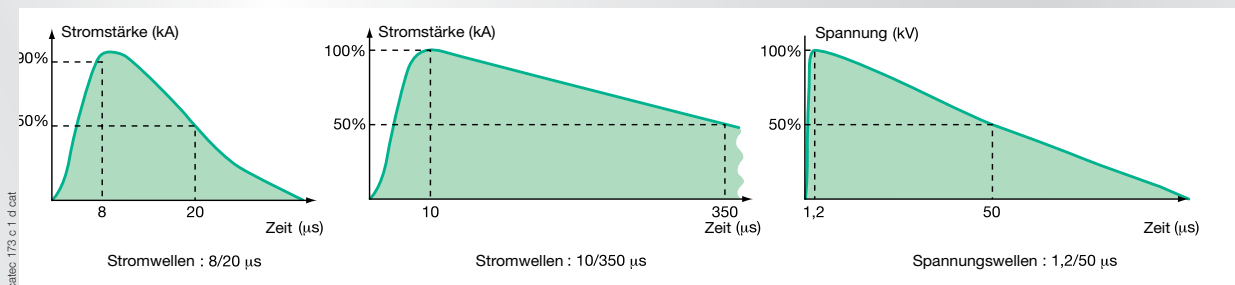
Die SURGYS®-Überspannungsableiter sind Vorrichtungen, die einen Schutz der elektrischen Komponenten und der Anlage durch Begrenzung der Spannungssprünge sicherstellen sollen.

Ein Spannungssprung ist eine Erhöhung der Spannung, normalerweise mit großer Amplitude (mehrere kV) und kurzer Dauer (einige Mikro- bis Millisekunden) im Vergleich zur Nennspannung eines Stromnetzes oder -kreises.



## Überspannungsschutz gegen Spannungssprünge (Fortsetzung)

### ➔ Normwellen



Definition von transitorischen Spannungs- oder Stromwellen.

Spannungssprünge in Niederspannungsnetzen und Schwachstromkreisen (Kommunikationsnetze, Stromschleifen, Telefonleitungen) sind auf verschiedene Ursachen zurückzuführen und können in zwei Hauptgruppen eingeordnet werden:

- industrielle Überspannungen (d. h. mit menschlicher Aktivität verbundene oder im Zusammenhang stehende Überspannungen);
- Überspannungen durch Blitzschlag.

### ➔ Industrielle Spannungssprünge

Die bei den heutigen Netzen immer häufiger auftretenden industriellen Spannungssprünge können wie folgt eingeteilt werden:

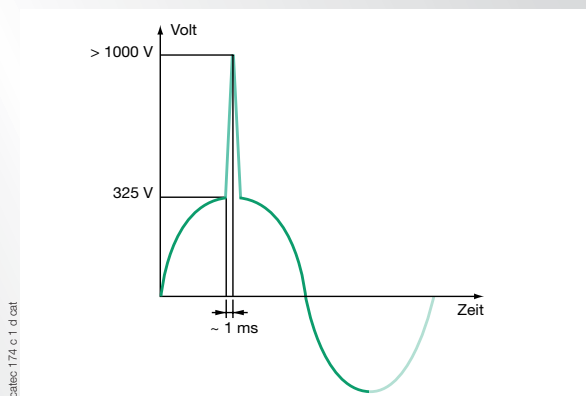
- Überspannungen aufgrund von Befehls- und Schaltvorgängen;
- Überspannungen aufgrund der Interaktion zwischen Netzen.

### ➔ Ursachen von Überspannung bei Schalthandlungen

Manche Überspannungen sind auf beabsichtigte Handlungen am Leistungsnetz zurückzuführen, wie z. B. beim Schalten einer Last oder einer Kapazität, oder sie sind mit automatischen Funktionen verbunden wie:

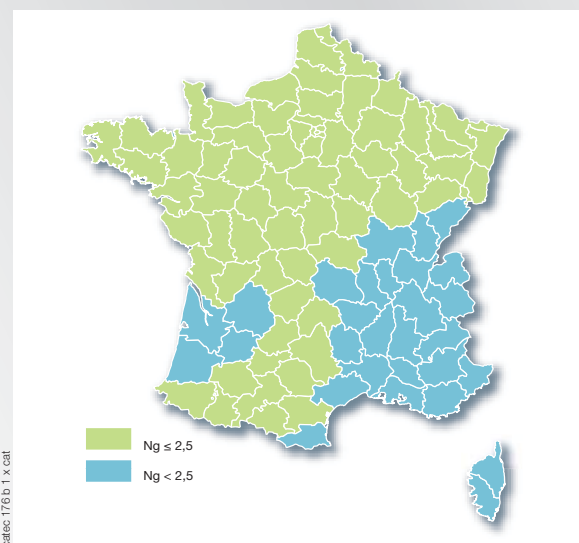
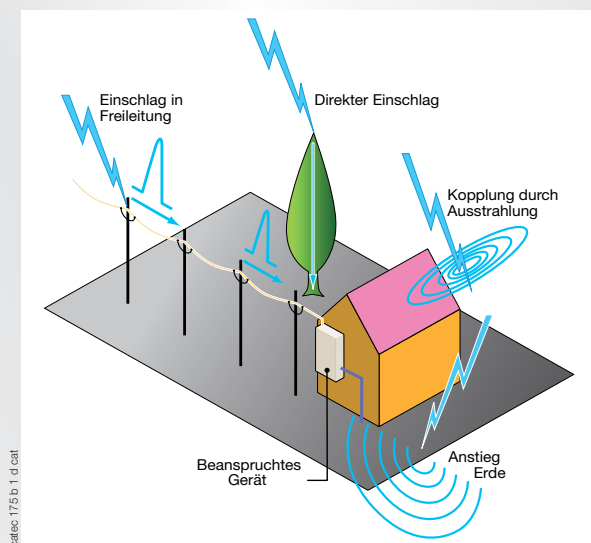
- Öffnen/Schließen der Schaltkreise durch die Stellorgane;
- Funktionsphasen (Anlaufen, plötzliche Haltevorgänge, Einschalten der Beleuchtungsanlagen etc.);
- Überspannungen beim Umschalten der Elektronik (Leistungselektronik).

Andere Überspannungen sind auf nicht beabsichtigte Vorfälle wie Fehler in der Anlage und ihre Eliminierung durch automatisches Öffnen der Schutzeinrichtungen (Fehlerstrom-Schutzeinrichtung, Sicherungen und andere Schutzvorrichtungen gegen Überspannung) zurückzuführen.



Überspannung nach Schmelzen einer Sicherung.

## Überspannungen wegen Blitzschlag



Blitzeinschlagdichte  $N_g$ .

Überspannungen atmosphärischen Ursprungs entstehen aus nicht kontrollierbaren Quellen und ihr Schweregrad am Nutzungspunkt ist von zahlreichen Parametern abhängig, die sich je nach Einschlagspunkt und der Struktur der Netze unterscheiden.

Die Auswirkungen eines Blitzschlags auf eine Struktur führen zu spektakulären Zerstörungen, die jedoch meist räumlich stark beschränkt sind. Der Schutz gegen die direkten Auswirkungen eines Blitzschlags wird durch Blitzableiter gewährleistet und wird in diesem Dokument nicht behandelt. Ein Blitzschlag erzeugt Überspannungen, die sich über alle elektrischen Leitungen (Stromnetze, Telefonleitungen, Kommunikationsbusse etc.), Metallrohre oder leitende Elemente mit ausreichender Länge fortpflanzen. Die Folgen eines Blitzschlags, d. h. die an den Anlagen und Komponenten induzierten Überspannungen, können bis zu einem Umkreis von 10 km spürbar sein. Diese Überspannungen können je nach Einschlagsort eingestuft werden: direkte Einschläge, Einschläge in der Nähe oder entfernte Einschläge. Bei direkten Blitzeinschlägen sind die Überspannungen auf das Abfließen des Stroms des Blitzes über die betroffene Struktur und ihre Erdungen zurückzuführen. Bei Blitzeinschlägen in der Nähe werden die Überspannungen in den Schleifen induziert und sind teilweise mit dem erhöhten Erdpotenzial aufgrund des Abfließens des Stroms des Blitzschlags verbunden.

Bei entfernten Blitzschlägen sind die Überspannungen auf die in Schleifen induzierten Überspannungen beschränkt. Die Verteilung und die Merkmale der Blitzeinschläge sind statistischer Natur und zahlreiche Parameter sind hier unbekannt.

Nicht alle Regionen sind gleichermaßen betroffen und im Allgemeinen gibt es für alle Länder Karten, in denen die Blitzeinschlagdichte angegeben ist ( $N_g$  = Anzahl der Blitzeinschläge in den Boden pro Jahr pro  $\text{km}^2$ ,  $T_d$  = keraunischer Pegel,  $N_g = T_d/10$ ).

In Frankreich liegt die Anzahl der jährlich in den Boden einschlagenden Blitze zwischen 1 und 2 Millionen. Die Hälfte dieser direkt in den Boden einschlagenden Blitze haben eine Amplitude von weniger als 30 kA und weniger als 5 % überschreiten 100 kA.

### ➤ Schutz gegen die direkten Auswirkungen von Blitzschlag

Der Schutz erfolgt, indem versucht wird, den Einschlagspunkt zu bestimmen, indem der Blitz durch einen oder mehrere bestimmte Punkte angezogen wird (Blitzableiter), die von den zu schützenden Bereichen entfernt liegen. Diese leiten die Hochspannungen zur Erde ab. Es gibt unterschiedliche verfügbare Blitzableiterlösungen: Stangen, Netzkäfige, gespannte Kabel oder Durchschlagsvorrichtungen. Das Vorhandensein von Blitzableitern an einer Anlage erhöht das Risiko von Impulsströmen im Erdnetz. Die Installation von Überspannungsableitern ist daher erforderlich, um größere Schäden an Anlage und Geräten zu vermeiden.

### ➤ Schutz gegen indirekte Auswirkungen durch Überspannungsableiter

Die SURGYS®-Überspannungsableiter schützen gegen Spannungssprünge und somit gleichzeitig gegen die indirekten Auswirkungen von Blitzschlägen.

### ➤ Zusammenfassung

Unabhängig von statistischen Überlegungen zu Blitzen und den entsprechenden Empfehlungen der sich entwickelnden Installationsnormen ist ein systematischer Schutz gegen Überspannungen durch Überspannungsableiter für alle Tätigkeitsbereiche, sei es in Industrie oder im Dienstleistungsbereich, unabdingbar. Im letzteren sind elektrische und elektronische Geräte von strategischer Bedeutung und beträchtlichem Wert und nicht etwa optional wie bestimmte Geräte im Privatleben.

## Wichtigste Vorschriften und Normen (Auszug)

### ➔ Vorbemerkung

Der vorliegende technische Anhang ersetzt in keiner Weise die geltenden Vorschriften und Normen, die in jedem Fall zurate zu ziehen sind.

### ➔ Vorschriften oder Empfehlungen zur Installation eines Blitzschlagschutzes

#### • Pflicht

- Zum Schutz der Umwelt eingestufte Anlagen (Installations Classées pour la Protection de l'Environnement, ICPE) mit Genehmigungspflicht (Erlass vom 15. Januar 2008 und Rundschreiben vom 24. April 2008 zum Blitzschlagschutz bei bestimmten Klassen von Anlagen)\*
- Neue Lager für einfache feste Düngemittel auf Nitratgrundlage (Erlass vom 10. Januar 1994)
- Sortierzentren für vorsortieren Hausmüll sowie Industrie- und Gewerbeabfälle (Rundschreiben DPPR 95-007 vom 5. Januar 1995)
- Auf Verbrennung von bestimmten Industrieabfällen und die Mitverbrennung spezialisierte Anlagen (Erlass vom 10. Oktober 1996)
- Kühlanlagen, die Ammoniak als Kühlmittel einsetzen (Erlass vom 16. Juli 1997)
- Atomgrundanlagen (Installations Nucléaires de Base, INB) (Erlass vom 31. Dezember 1999)
- Silos und Lager für Getreide, Körner, Lebensmittel und andere organische Produkte, die entzündliche Stäube freisetzen (Erlass vom 15. Juni 2000)
- Religiöse Orte: Kirchtürme, Türme und Minarette (Erlass vom 16. September 1959)
- Gebäude großer Höhe (Erlasse vom 24. November 1967 und vom 18. Oktober 1977)
- Pyrotechnische Anlagen (Verordnung vom 28. September 1979)
- Hotel-Restaurants in großer Höhe (Erlass vom 23. Oktober 1987)

\* Dieser Erlass nennt klar die Verpflichtung zur Einhaltung und die durchzuführenden Maßnahmen:

- Durchführung einer Risikoanalyse für Blitzeinschläge zur Identifizierung der Anlagen und Installationen, die eines Schutzes bedürfen;
- Umsetzung der Schlussfolgerungen einer technischen Studie;
- Schutz der Installation gemäß Studie;
- Überprüfung der umgesetzten Schutzvorrichtungen gegen Blitzschlag;
- Genehmigung durch eine technische Prüfungsbehörde für diesen Bereich.

#### • Anlagen mit empfohlener Installation von Schutzvorrichtungen

- Vorführräume vom Multiplexkinotyp
- Offene Metallstrukturen für Personen in touristischen Bereichen
- Versammlungen aller Art mit größerer öffentlicher Beteiligung während mehrerer Tage unter offenem Himmel
- Tagungszentren (Rundschreiben vom 29. Januar 1965 und 1. Juli 1965)
- Verschiedene militärische Einrichtungen (zum Beispiel Norm MIL/STD/1 957A)
- Mit brennbaren, toxischen oder explosiven Abdeckungen bedeckte Lager (Rundschreiben vom 4. Februar 1987 und Erlass Nr. 183 ter)
- Ölgewinnungswerke (Anweisung vom 22. Juni 1988)
- Erdölindustrie (Leitfaden GESIP 94/02)
- Chemiewerke (Dokument UIC vom Juni 1991)

## Wichtigste Vorschriften und Normen (Auszug) (Fortsetzung)

### ➤ Normen zu Überspannungsableitern

#### • Installationsnormen

Bis 2002 war die Verwendung von Überspannungsableitern zum Schutz an ein Niederspannungsnetz angeschlossener Komponenten nicht verpflichtend und es gab nur bestimmte Empfehlungen.

#### • Norm NF C 15100 (Dezember 2002)

- Abschnitt 4-443 «Überspannungen atmosphärischen Ursprungs oder aufgrund von Schalthandlungen». Dieser Abschnitt legt die Verpflichtungen und die Verwendung von Überspannungsableitern fest.
- Abschnitt 7-771.443: «Schutz gegen Überspannungen atmosphärischen Ursprungs (Überspannungsableiter)». Dieser Abschnitt ähnelt Abschnitt 4-443, bezieht sich jedoch auf Wohngebäude.
- Abschnitt 5-534: «Schutzvorrichtungen gegen Spannungsstörungen»: Enthält allgemeine Regeln für Auswahl und Umsetzung von NS-Überspannungsableitern.

#### • Verwendungsleitfaden UTE C 15443

Dieser Leitfaden bietet umfassendere Informationen für Auswahl und Umsetzung von Überspannungsableitern und präsentiert eine Methode zur Beurteilung der Risiken mit daraus folgenden Empfehlungen für Überspannungsableiter. Er enthält auch einen Abschnitt über Überspannungsableiter für Kommunikationsnetzwerke.

#### • Leitfaden für fotovoltaische Anlagen UTE C 15712

Der Leitfaden präzisiert über die NF C 15100 hinaus die Schutz- und Installationsbedingungen für fotovoltaische Generatoren. U. a. werden praktische Ratschläge zur Auswahl und Installation der Überspannungsableiter gegeben.

### ➤ Pflichten und Empfehlungen zur Verwendung von Überspannungsableitern

Die Abschnitte 4-443 und 7-771.443 der NF C 15100 legen die Situationen fest, in denen Überspannungsableiter verpflichtend zu verwenden sind:

- 1 - Die Installation ist mit einem Blitzableiter ausgestattet: Überspannungsableiter am Eingang der Anlage ist Pflicht. Er muss vom Typ 1 mit einem Mindeststrom von  $I_{imp}$  12,5 kA sein.
- 2 - Die Installation wird von einem Niederspannungsnetz mit Freileitungen versorgt und der keraunische Pegel Td am Standort ist größer als 25 (oder Ng größer als 2,5): Überspannungsableiter am Eingang der Anlage ist Pflicht. Er muss vom Typ 2 mit einem Mindeststrom von  $I_n$  de 5 kA sein.
- 3 - Die Installation wird von einem Niederspannungsnetz mit Freileitungen versorgt und der keraunische Pegel Td am Standort ist kleiner als 25 (oder Ng kleiner als 2,5): Überspannungsableiter keine Pflicht.\*
- 4 - Die Anlage wird von einem Niederspannungsnetzwerk mit Erdkabeln versorgt: Überspannungsableiter keine Pflicht.\*

(\*) Die Norm bestimmt genauer: «... ein Schutz gegen Überspannungen kann erforderlich sein, wenn eine größere Zuverlässigkeit erforderlich oder ein größeres Risiko zu erwarten ist.»

#### • Abschnitte 443 und 534 der NF C 15100

Sie basieren auf den folgenden Konzepten:

- Überspannungsableiter müssen gemäß technischem Standard installiert werden. Sie sind aufeinander und auf die Schutzgeräte der Anlage abzustimmen;
- Überspannungsableiter müssen NF EN 61643-11 entsprechen, um insbesondere den risikofreien Schutz von Anlage und Personen beim Lebensende (EoL) gewährleisten.

Bei komplexen Industrieanlagen oder bei besonderen Blitzeinschlagsrisiken ausgesetzten Anlagen können zusätzliche Maßnahmen erforderlich sein.

Für Anlagen mit Genehmigungspflicht (ICPE) gemäß Erlass vom 15. Januar 2008 und Rundschreiben vom 24. April 2008 ist vorab eine Blitzeinschlagsrisikostudie durchzuführen.

#### • Auszüge aus dem Leitfaden UTE C 15443

Der Leitfaden UTE C 15443 legt die Regeln für Auswahl und Installation von Überspannungsableitern fest.

#### • Vorbemerkung

«Elektrische Geräte, die elektronische Komponenten enthalten, werden heutzutage umfassend in Industrieanlagen, im Dienstleistungsbereich und in Haushalten eingesetzt. Zudem bleibt ein Großteil dieser Geräte im Standby-Modus ständig eingeschaltet und übernimmt Kontroll- oder Sicherheitsfunktionen. Die Empfindlichkeit dieser Geräte gegenüber Überspannungen hat dem Schutz der elektrischen Niederspannungsanlagen und insbesondere der Verwendung von Überspannungsableitern zu ihrem Schutz gegen Überspannungen aufgrund von Blitzeinschlägen, die über das Stromnetz weitergeleitet werden, wachsende Bedeutung verliehen.»



## Technologie

### ➤ Überspannungsableiter: Terminologie

Das Wort «Überspannungsableiter» beschreibt die Gesamtheit der Schutzvorrichtungen für Anlagen gegen Spannungssprünge, unabhängig davon, ob sie durch Blitzschlag verursacht werden oder von den Netzen ausgehen (Überspannungen durch Schalthandlungen).

Die Überspannungsableiter sind an verschiedene Netztypen angepasst, die in die Anlagen eingebunden sind:

- Stromnetze;
- Kommunikationsleitungen und -netze;
- EDV-Netze;
- Funkkommunikation.

### ➤ Definitionen

#### • Folgestrom

Der vom Stromnetz gelieferte Strom, der nach Auftreten eines Entladungsstroms über den Überspannungsableiter abläuft. Dies betrifft nicht die Überspannungsableiter mit Folgestrom (z. B. Überspannungsableiter mit Luft- oder Gasfunkenstrecke).

#### • Verluststrom

Elektrischer Strom der unter normalen Funktionsbedingungen über die Erde oder leitende Komponenten abgeleitet wird.

#### • Transitorische Überspannung ( $U_T$ )

Maximaler effektiver Wert, der vom Überspannungsableiter abgeleitet werden kann. Er entspricht einer Überspannung mit industrieller Frequenz aufgrund von Fehlern des Niederspannungsnetzes.

#### • Schutzniveau ( $U_P$ )

Scheitelspannung an den Anschlussklemmen des Überspannungsableiters unter normalen Betriebsbedingungen. Diese Schutzleistung des Überspannungsableiters muss geringer als die Stoßspannungsfestigkeit der zu schützenden Komponente sein.

#### • Maximalspannung bei offenem Schaltkreis ( $U_{oc}$ )

Zulässige Maximalspannung der Gesamtweite (max. = 20 kV/nur Überspannungsableiter Typ 3).

#### • Kurzschlussfestigkeit (allgemein $I_{cc}$ )

Maximaler Kurzschlussstrom, den der Überspannungsableiter ableiten kann.

#### • Entladungsstrom ( $I_n$ )

Scheitelwert eines Stroms mit Wellenform 8/20, der vom Überspannungsableiter abgeleitet wird. Der Strom kann mehrere Male ohne Beschädigung abgeleitet werden. Dieses Merkmal ist ein Auswahlkriterium für Überspannungsableiter vom Typ 2.

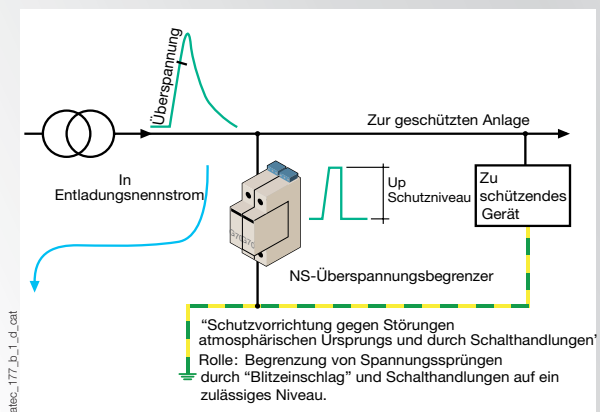
#### • Stoßstrom ( $I_{imp}$ )

Allgemein in der Form 10/350, für den Überspannungsableiter des Typs 1 getestet werden.

#### • Maximaler Entladungsstrom ( $I_{max}$ )

Scheitelwert eines Stroms mit der Wellenform 8/20, der durch den Überspannungsableiter vom Typ 2 ohne Änderung der Merkmale und ohne erforderliche Absicherung des Schutzniveaus  $U_P$  und somit der zu schützenden Komponenten abgeleitet werden kann. Dieser Wert beruht auf der Wahl von  $I_n$  und ist in den technischen Daten des Herstellers angegeben.

### ➤ Funktionsprinzip und Rolle der Überspannungsableiter

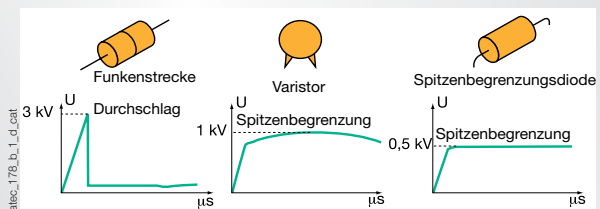


### ➤ Technologie der Überspannungsableiter

Um wirksam auf die durch verschiedene Netze bedingten Einschränkungen eingehen zu können, stehen mehrere Überspannungsableitertechnologien zur Verfügung. So können die Überspannungsableiter verschiedene Komponenten enthalten:

- Funkenstrecken;
- Varistoren;
- Spitzenbegrenzungsdioden.

Ziel dieser Komponenten ist die rasche Begrenzung der an ihren Anschlussklemmen auftretenden Spannungen: Dies wird durch eine radikale Änderung ihrer Impedanz auf einen voreingestellten Spannungswert erzielt.



Funktion der Überspannungsableiter-Komponenten.

Zwei Verfahrensweisen sind möglich:

- Durchschlag: Die Komponente schaltet von einem sehr hohen Impedanzzustand fast auf einen Kurzschluss um. Dies ist bei Funkenstrecken der Fall.
- Spitzenbegrenzung: Ab einer voreingestellten Spannungsschwelle schaltet die Komponente auf schwache Impedanz und begrenzt die Spannung an ihren Anschlussklemmen (Varistoren und Spitzenbegrenzungsdioden).






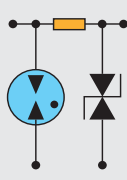
## Technologie (Fortsetzung)

### Wichtigste Technologien

Diese Produktfamilien umfassen verschiedene Varianten und können miteinander kombiniert werden, um eine optimierte Leistung zu erzielen.

In der Folge werden die wichtigsten eingesetzten Technologien (bzw. Technologiekombinationen) beschrieben.

Luftfunkenstrecke	Verkapselte Funkenstrecke	Gasfunkenstrecke	Varistor
			
Vorrichtung, die im Allgemeinen aus zwei Elektroden besteht, die einander gegenüber positioniert sind und zwischen denen ein Durchschlag erfolgt (gefolgt von einem Folgestrom), sobald die Überspannung einen bestimmten Wert erreicht. In Stromnetzen wird zur raschen Unterbrechung des Folgestroms das Prinzip der Lichtbogenlöschung eingesetzt. Hierdurch wird ein Ausstoß heißer Gase nach außen bewirkt: Hierfür sind besondere Maßnahmen erforderlich.	Luftfunkenstrecke mit Unterbrechung des Folgestroms ohne Gasausstoß: Dies hat im Allgemeinen negative Auswirkungen auf die Trennleistung des Folgestroms.	Funkenstrecke in einem hermetisch abgeschlossenen Gehäuse, das mit einer unter kontrolliertem Druck stehenden Gasmischung gefüllt ist. Diese Komponente wird allgemein eingesetzt und ist gut für den Schutz von Telekommunikationsnetzen geeignet. Sie zeichnet sich insbesondere durch ihren sehr schwachen Verluststrom aus.	Nichtlineare Komponente (variabler Widerstand je nach Spannung) auf Zinkoxidbasis (ZnO) mit Begrenzung der Spannung an den Anschlussklemmen: Diese Funktion der Spitzenbegrenzung verhindert den Folgestrom, was die Komponente besonders für den Schutz von Stromnetzen geeignet macht (Hoch- und Niederspannung).

Varistor mit thermischer Trennung	Funkenstrecke/Varistor	Spitzenbegrenzungsdiode	Funkenstrecke/Spitzenbegrenzungsdiode
			
Varistor, der mit einem Hilfsmittel ausgestattet ist, das die Netzkomponente bei Überhitzung ausschaltet: Diese Vorkehrung ist unabdingbar, um ein kontrolliertes Lebensende der an das Stromnetz angeschlossenen Varistoren zu erlauben.	Serienschaltung der Komponenten zur Nutzung der Vorteile beider Technologien: kein Verluststrom, schwache Up (Funkenstrecke) und kein Folgestrom (Varistor).	Zenerdiode (Spannungsbegrenzung) mit einer besonderen Struktur zur Optimierung des Verhaltens bei Spitzenbelastung durch Spannungssprünge. Diese Komponente zeichnet sich durch eine besonders rasche Reaktionszeit aus.	Parallelschaltung von Gasfunkenstrecken und Spitzenbegrenzungsdioden; dies erlaubt die Ableitungsfähigkeit der Funkenstrecke und die rasche Reaktionszeit der Diode zu nutzen. Für diese Verbindung muss ein Serienentkopplungsgerät zum Einsatz kommen, um die Koordination der Funktion der Schutzkomponenten zu gewährleisten.

### Technologien der SURGYS®-Produktpalette

Typ	Varistor	Gasfunkenstrecke	Spitzenbegrenzungsdiode
G140-F	•		
<b>G40-FE</b>	•	•	
G70	•		
<b>D40</b>	•		
E10	•		
<b>RS-2</b>		•	•
mA-2		•	•
<b>TEL-2</b>		•	•
COAX		•	

## Innere Zusammensetzung

### ↪ Trenngeräte

Gemäß den Normen für Niederspannungs-Überspannungsableiter sind die SURGYS®-Überspannungsableiter mit thermischen Sicherheitsvorrichtungen ausgestattet, die den Netzschutz ausschalten, wenn eine Funktionsstörung auftritt (Überhitzung aufgrund einer Überschreitung der Produktparameter). In diesem Fall wird der Benutzer durch das Umschalten der Anzeigelampe vom am schadhafte Modell auf rot informiert, dass es nun ausgetauscht werden muss. Um zudem Fehler wie Kurzschlussströme oder Spannungssprünge abzudecken, müssen Überspannungsableiter unbedingt über externe und speziell für die Überspannungsableiter vorgesehene Trennvorrichtungen an das Niederspannungsnetz angeschlossen werden.

Diese externe Trennung ist mit Socomec-Sicherungen vorzunehmen, die auf den entsprechenden Produktseiten des vorliegenden Katalogs angegeben sind.

Der Einbau der Sicherungen in Lasttrennschaltern mit Sicherungen von Socomec erhöht die Sicherheit und erleichtert beim Betrieb verschiedene Eingriffe, wie z. B. Isolationsmaßnahmen.

### ↪ Fernanzeige

Die Mehrheit der SURGYS®-Überspannungsableiter ist mit einem Fernanzeigekontakt ausgestattet. Diese Funktion, die die Fernsteuerung des Zustands des Überspannungsableiters gestattet, ist insbesondere in den Fällen interessant, in denen die Geräte schwer zugänglich oder nicht anderweitig überwacht sind.

Das System besteht aus einem Hilfsschalter (Umkehrschalter), der bei einer Änderung des Zustands des Schutzmoduls aktiviert wird.

Der Betreiber kann somit folgende Faktoren stets überwachen:

- ordnungsgemäße Funktion der Überspannungsableiter;
- Vorhandensein von Einsteckmodulen;
- Lebensende (Trennung) der Überspannungsableiter.

Diese Fernanzeigefunktion erlaubt die Auswahl eines Anzeigesystems (Anzeige von Betrieb oder Fehler), das über verschiedene Komponenten (wie Leuchte, Tonsignal, Automatik oder Übertragung) an die Anlage angepasst werden kann.

## Wichtigste Merkmale von Überspannungsableitern

### ↪ Definition der Merkmale

DiewichtigstendurchdieNormenfürÜberspannungsableiter festgelegten Parameter erlauben es dem Benutzer des Produkts die Leistungswerte und die Nutzung des Überspannungsableiters festzulegen:

- maximale Spannung bei ständiger Verwendung ( $U_c$ ): maximale für den Überspannungsableiter zulässige Spannung;
- Entladungsstrom ( $I_n$ ): Impulsstrom mit Wellenform 8/20  $\mu$ s, der ohne Veränderung bei Funktionstest 15 Mal durch den Überspannungsableiter laufen kann;
- Maximaler Entladungsstrom ( $I_{max}$ ): Impulsstrom mit Wellenform 8/20  $\mu$ s, der ohne Veränderung bei Funktionstest einmal durch den Überspannungsableiter vom Typ 2 laufen kann;
- Stoßstrom ( $I_{imp}$ ): Impulsstrom mit Wellenform 10/350  $\mu$ s, der ohne Veränderung bei Funktionstest einmal durch den Überspannungsableiter vom Typ 1 laufen kann;
- Schutzniveau ( $U_p$ ): Spannung, die die Wirksamkeit des Überspannungsableiters darstellt. Dieser Wert liegt über der Restspannung ( $U_{res}$ ), die beim Auftreten des Entladungsstroms ( $I_n$ ) an den Anschlussklemmen des Überspannungsableiters auftritt;
- interner zulässiger Kurzschlussstrom ( $I_{cc}$ ): maximaler Stromwert bei 50 Hz, der bei einer Störung durch den Überspannungsableiter geleitet werden kann.

Diese verschiedenen Parameter erlauben die Auslegung des Überspannungsableiters in Bezug auf das Netz, an das er angeschlossen werden soll ( $U_c$  und  $I_{cc}$ ), in Bezug auf das Risiko ( $I_n$  und  $I_{max}$ ) sowie unter Berücksichtigung der gewünschten Wirksamkeit und / oder des zu schützenden Gerätetyps ( $U_p$ ).

### ↪ Überprüfung von $U_c$

Der Norm NF C 15100 Abschnitt 534 zufolge muss die maximale Betriebsspannung  $U_c$  des im Normalmodus angeschlossenen Überspannungsableiter wie folgt gewählt werden:

- Im TT- oder TN-System:  $U_c > 1,1 \times U_n$ ;
- Im IT-System:  $U_c > \sqrt{3} \times U_n$ .

Die SURGYS®-Überspannungsableiter sind mit allen Neutralleitertypen kompatibel, ihre Spannung  $U_c$  im Normalmodus ist 440 VAC.

### ↪ Überprüfung von $U_p$ , $I_n$ , $I_{max}$ und $I_{imp}$

Das Schutzniveau  $U_p$  muss so niedrig wie möglich angesetzt werden, wobei die vorgeschriebene Spannung  $U_c$  zu berücksichtigen ist.

Die Entladungsströme  $I_n$ ,  $I_{max}$  und  $I_{imp}$  werden in Abhängigkeit vom Risiko gewählt: Siehe Auswahlleitfaden des Katalogs für SURGYS®-Überspannungsableiter.

## Auswahl und Einbau von Eingangs-Überspannungsableitern

### ➤ Typen von Niederspannungs-Überspannungsableitern

Die Überspannungsableiter werden von der Norm NF EN 61643-11 in 2 Produkttypen aufgeteilt, die den Prüfklassen entsprechen. Diese spezifischen Einschränkungen sind im Wesentlichen von der Position des Überspannungsableiters in der Anlage und den Umgebungsbedingungen abhängig.

#### • Überspannungsableiter vom Typ 1

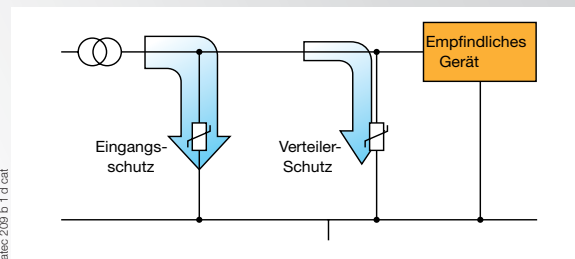
Diese Vorrichtungen wurden zur Verwendung in Anlagen konzipiert, in denen das Blitzeinschlagsrisiko sehr hoch ist, insbesondere bei Blitzableitern am Standort. Die Norm NF EN 61643-11 verlangt, dass diese Überspannungsableiter Tests der Klasse 1 unterzogen werden. Hierbei werden Stromwellen vom Typ 10/350  $\mu$ s ( $I_{imp}$ ) angelegt, die den bei einem direkten Einschlag entstehenden Blitzstrom simulieren. Diese Überspannungsableiter müssen also besonders leistungsfähig sein, um diese sehr energiegeladene Welle ableiten zu können.

#### • Überspannungsableiter vom Typ 2

Diese sind für die Installation am Eingang einer Anlage, im Allgemeinen am Hauptverteiler-Schrank, bestimmt, wo das Risiko eines direkten Einschlags als praktisch nicht vorhanden betrachtet wird. Die Aufgabe dieser «primären» Überspannungsableiter vom Typ 2 ist der Schutz der gesamten Anlage. Diese Überspannungsableiter werden Tests mit einer Stromwelle von 8/20  $\mu$ s ( $I_{max}$  und  $I_n$ ) unterzogen. Wenn die zu schützenden Komponenten von der Stromquelle der Anlage entfernt positioniert sind, müssen Überspannungsableiter vom Typ 2 in der Nähe dieser Komponenten installiert werden (siehe Abschnitt «Koordination zwischen Eingangs- und Verteiler-Überspannungsableitern», Seite 554).

### ➤ Eingangs-Überspannungsableiter in Niederspannungsanlagen

Die Überspannungsableiter der SURGYS®-Palette können in Eingangs- und Verteiler-Überspannungsableiter aufgeteilt werden. Die Eingangs-Überspannungsableiter schützen die gesamte Niederspannungsanlage, indem sie den Großteil der Ströme durch direkte Ableitung der Überspannungen an die Erde ableiten. Die Verteiler-Überspannungsableiter gewährleisten den Schutz der Geräte, indem sie den verbleibenden Strom an die Erde ableiten.



### ➤ Auswahl von Eingangs-Überspannungsableitern

In allen Fällen müssen Eingangs-Überspannungsableiter direkt am Eingang des allgemeinen Steuergeräts installiert werden.

Die Entladungsströme, die diese Überspannungsableiter bei Überspannungen ableiten können müssen, können sehr groß sein und die Geräte werden im Allgemeinen ausgewählt, nachdem überprüft ist, ob diese Entladungsströme ( $I_n$ ,  $I_{max}$ ,  $I_{imp}$ ) den durchgeführten theoretischen Risikobewertungen angemessen sind, wie sie z. B. durch einige spezialisierte Ingenieurbüros durchgeführt werden. Die folgende Auswahltablette bietet praktische Hinweise, die die direkte Auswahl des Eingangs-Überspannungsableiters unter Berücksichtigung der Leistungswerte der SURGYS® erlauben.

Beispiele für Anlagenarten		Eingangs-Überspannungsableiter SURGYS®
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Blitzableiter installiert</li> <li>• Exponierter Standort (Höhe etc.)</li> <li>• Wasserfläche</li> <li>• Starkstromleitungen</li> <li>• Gebäude mit umfassenden Metallstrukturen oder in der Nähe von Kaminen oder anderen aufragenden Strukturen</li> </ul>	Typ 1	SURGYS G140F
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Blitzableiter installiert und Hauptverteiler-Schrank mit einer Länge von weniger als 2 m sowie Ausrüstung mit empfindlichen Komponenten</li> </ul>	Typ 1	SURGYS G40-FE
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eingang per Erdkabel</li> <li>• Nicht exponierter Standort</li> <li>• Überspannungen aufgrund von Schaltmanövern</li> </ul>	Typ 2	SURGYS G70

### ➤ Installation von Eingangs-Überspannungsableitern

Eingangs-Überspannungsableiter werden installiert:

- am Hauptverteiler-Schrank (Bild 1);
- an der Hauptschalttafel des Gebäudes bei Blitzen ausgesetzten Freileitungen.

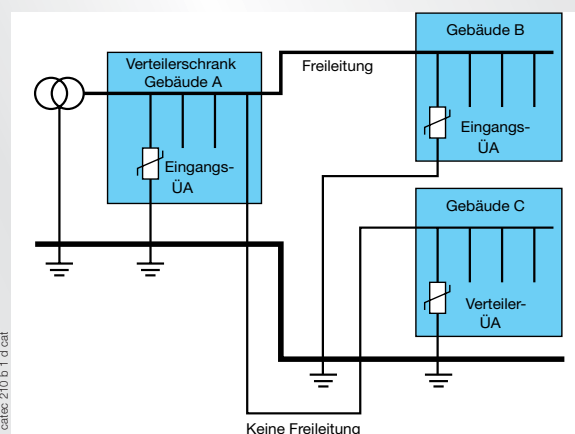


Bild 1: Auswahl von Eingangs- oder Verteiler-Überspannungsableitern

## Auswahl und Einbau von Eingangs-Überspannungsableitern (Fortsetzung)

### ➤ Vorhandensein von Blitzableitern und Eingangs-Überspannungsableiter

Das Vorhandensein von Blitzableitern (Struktur zur Anziehung von Blitzschlägen und ihrer Ableitung über einen bestimmten Weg zur Erde) an oder in der Nähe einer Anlage trägt zur Erhöhung der Impulsstromamplituden bei: Bei einem direkten Einschlag in den Blitzableiter steigt das Erdpotenzial stark und ein Teil des Blitzstroms wird auf das Niederspannungsnetz umgeleitet, wenn er durch den Blitzableiter abfließt.

Daher müssen Blitzableiter vom Typ 1 stets gleichzeitig mit Überspannungsableitern verwendet werden (Norm NF C 15100). Die Verbindung mit dem Erdnetz muss durch einen Leiter mit einem Mindestleiterquerschnitt von 10 mm<sup>2</sup> erfolgen.

### ➤ Koordination mit dem Hauptsteuer- und -schutzgerät

Das Hauptsteuer- und -schutzgerät der Anlage (Anschlusschalter) befindet sich immer nach dem Überspannungsableiter. Es muss auf den Überspannungsableiter abgestimmt sein, um plötzliche Auslösungen während seinem Betrieb zu vermeiden. Bei einem TT-System bestehen die Verbesserungsmaßnahmen v. a. in der Auswahl einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung vom Typ S (selektiv), die die Ableitung von mehr als 3 kA in Wellen von 8/20 µs ohne Auslösung erlaubt.

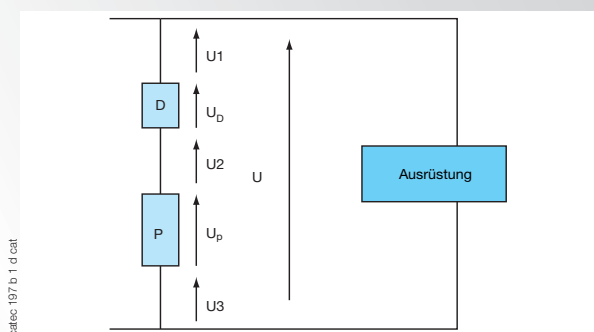
Bei Lebensende des Überspannungsableiters muss der Weiterbetrieb der Anlage im Vordergrund stehen, d. h. die Selektivität zwischen Hauptsteuer- und -schutzgerät und Trenngerät des Überspannungsableiters muss gewahrt bleiben.

*Anmerkung: Der Schutz des möglichen Neutralleiters ist vorzusehen. Wird die Schmelzung einer Neutralleitersicherung festgestellt, muss dies nicht zu einer Trennung der entsprechenden Phasen führen, da im Fall eines Überspannungsableiters die Last ausgeglichen ist und nicht die Gefahr einer funktionalen Überspannung bei Trennung des Neutralleiters besteht.*

### ➤ Anschlussqualität der Überspannungsableiter

Die Anschlussqualität des Überspannungsableiters an das Netz ist von entscheidender Bedeutung, um einen effektiven Schutz zu gewährleisten.

Beim Abfließen des Entladungsstroms wird der gesamte Parallelzweig, an den der Überspannungsableiter angeschlossen ist, belastet: Die Restspannung (U) an den Anschlussklemmen der zu schützenden Komponenten ist gleich der Summe der Restspannung des Überspannungsableiters (U<sub>p</sub>) + Spannungsabfall (U<sub>1</sub> + U<sub>2</sub> + U<sub>3</sub>) in den Anschlussleitern + Spannungsabfall (U<sub>p</sub>) im entsprechenden Trenngerät.



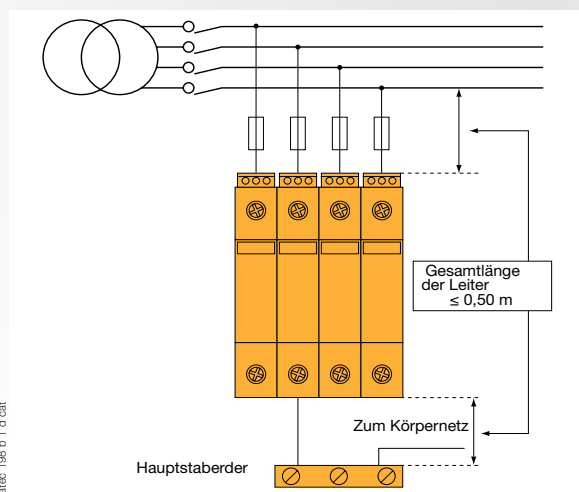
Spannung an den Komponentenklemmen.

### ➤ Anschlussquerschnitte

Die Erdleiter der Überspannungsableiter müssen einen Mindestleiterquerschnitt von 4 mm<sup>2</sup> haben (534.1.3.4 Norm NF C 15100). In der Praxis wird derselbe Leiterquerschnitt für die Verbindungsleiter zum Netz gewählt.

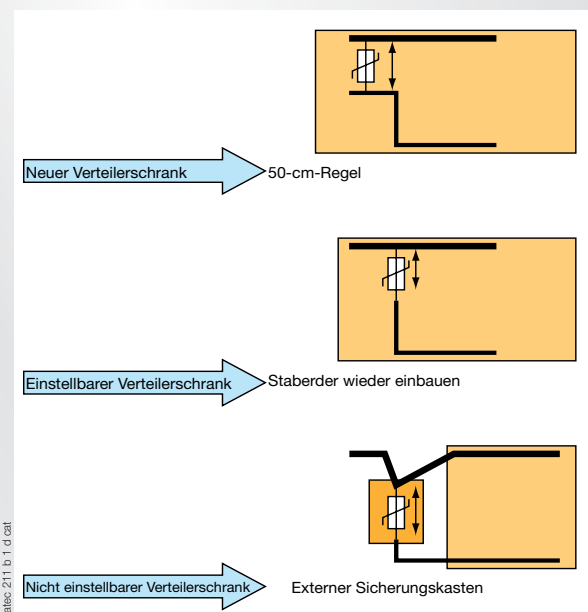
### ➤ 50-cm-Regel

Um die Spannung (U) zu begrenzen, müssen die Anschlussleitungen so kurz wie möglich sein; der empfohlene Wert (L<sub>1</sub> + L<sub>2</sub> + L<sub>3</sub>) ist maximal 0,50 m.



Abstand SURGYS®/Hauptverteiler-Schrank.

### ➤ Einbau von Eingangs-Überspannungsableitern



Umsetzung gemäß Installationsbedingungen.



## Schutz von Geräten und Verteiler-Überspannungsableitern

### ➔ Schutz von Geräten und Auswahl des Überspannungsableiters

Zur Sicherstellung eines wirksamen Schutzes der Geräte vor Überspannungen muss ein Verteiler-Überspannungsableiter SURGYS® möglichst nahe an den zu schützenden Geräten installiert werden.

Die Verteiler-Überspannungsableiter, die möglichst nahe an den zu schützenden Geräten installiert sind, müssen in ihrem Schutzniveau an die Stoßspannungsfestigkeit des zu schützenden Materials angepasst werden:

$U_p$  des Überspannungsableiters < Stoßspannungsfestigkeit des zu schützenden Materials\*.

\* Vorbehaltlich einer korrekten Umsetzung (siehe vorherige Seite).

### ➔ Dielektrische Spannungsfestigkeit der Geräte

Die verschiedenen Komponententypen sind in vier Kategorien aufgeteilt. Sie entsprechen vier verschiedenen Stoßspannungsfestigkeiten, die für die Geräte zulässig sind.

Drehstromnetze	Beispiele für Komponenten mit f. Stoßspannungsfestigkeit:			
	sehr hoch	hoch	normal	gering
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tarifzähler</li> <li>Fernmessgeräte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verteilergeräte: Leistungsschalter, Lastschalter</li> <li>Industriegeräte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Haushaltsgeräte</li> <li>Tragbare Werkzeuge</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Geräte mit elektronischen Schaltkreisen</li> </ul>
Nennspannung der Anlage (V)	Stoßspannungsfestigkeit (kV)			
230/440	6	4	2,5	1,5
400/690/1000	8	6	4	2,5

### ➔ Normal- und Fehlerstrommodus

#### • Normalmodus

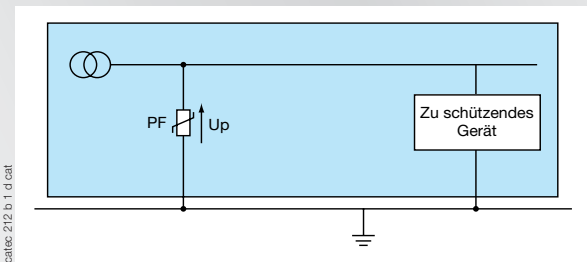
Die Überspannungen entstehen zwischen jedem aktiven Leiter und der Masse. Die Ströme verlaufen in beiden Leitungen in derselben Richtung und fließen über die Erdung erneut zur Erde zurück (Ph/T, N/T).

Die Überspannungen im Normalmodus sind aufgrund des Risikos dielektrischen Durchschlags gefährlich.

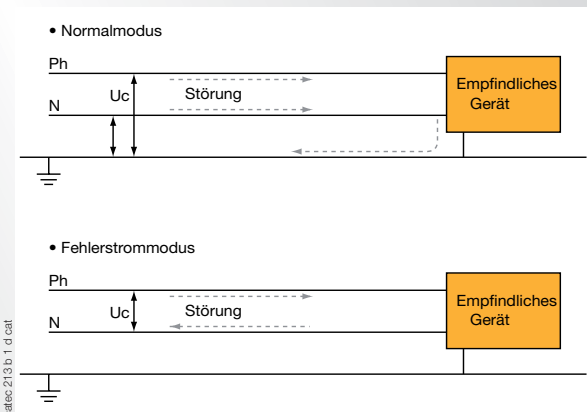
#### • Fehlerstrommodus

Die Überspannungen treten zwischen aktiven Leitern auf (Ph/N, Ph/Ph). Der Strom fließt über den Verbraucher und kehrt durch den Neutraleiter zurück.

Diese Überspannungen sind besonders für elektronische Geräte gefährlich.



cat.ec 212 b 1 d cat



cat.ec 213 b 1 d cat

### ➔ Schutz im Normalmodus

Allgemein werden Überspannungsableiter zwischen aktiven Leitern (Phasen und Neutraleiter) und dem geeigneten allgemeinen Staberder oder Schutzleiter (PE) angeschlossen.

Die Verteiler-Überspannungsableiter SURGYS® D40 und E10 gewährleisten den Schutz der Geräte im Normalmodus.

Dieser Schutzmodus gilt allgemein für die folgenden Erdungssysteme:

- TN-C-Netz;
- IT-System mit verbundenen Körpern.



## Schutz von Geräten und Verteiler-Überspannungsableiter (Fortsetzung)

### ➔ Schutz im Fehlerstrommodus

Zum Überspannungsschutz im Fehlerstrommodus, d. h. zum Schutz gegen Überspannungen zwischen Phasen und Neutralleiter, sind zwei Lösungen möglich:

- Verwendung von einpoligen Überspannungsableitern zusätzlich zu den für den Normalmodus verwendeten und Anschluss dieser zwischen den Phasen und den Neutralleitern;
- Verwendung von Überspannungsableitern mit einem integrierten Fehlerstromschutzmodus wie SURGYS® Typ D40 MC/MD oder E10 MC/MD.

Dieser Schutzmodus ist insbesondere in den folgenden Fällen zu empfehlen:

#### • TT-Netz

Überspannungen im Fehlerstrommodus können aufgrund eines möglichen Ungleichgewichts zwischen der Erdung des Neutralleiters und den Niederspannungswerten entstehen. Dies gilt insbesondere, wenn der Widerstand der Erde des Verbrauchers ( $> 100 \text{ Ohm}$ ) in Bezug auf die Erdung des Nullpunkts hoch ist.

#### • TN-S-Netz

Überspannungen im Fehlerstrommodus können auch aufgrund der Länge des Kabels zwischen Transformator und Eingang der Niederspannungsanlage auftreten.

### ➔ Koordination zwischen Eingangs- und Verteiler-Überspannungsableitern

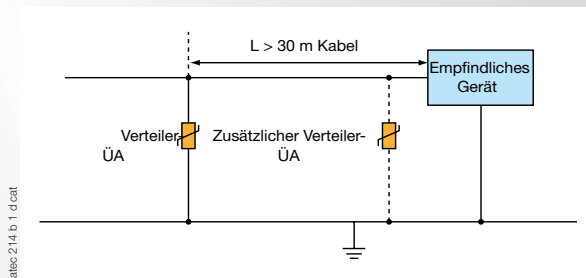
Um sicherzustellen, dass jeder Überspannungsableiter seine ableitende Funktion erfüllt, leitet der Eingangs-Überspannungsableiter den größten Teil der Energie ab, während der Verteiler-Überspannungsableiter den Durchschlag der Spannung in der Nähe der zu schützenden Vorrichtung gewährleistet.

Diese Koordination ist nicht möglich, wenn die Aufteilung der Energie zwischen den beiden Überspannungsableitern über die Impedanz kontrolliert wird. Diese Impedanz kann entweder durch 10-m-Leitungen oder durch die Induktanz der Kopplung L1 für geringere Abstände sichergestellt werden.

### ➔ Abstand zwischen Überspannungsableiter und Gerät

Die Länge der Leitung zwischen Überspannungsableiter und der zu schützenden Komponente beeinflusst die Wirksamkeit des Schutzes. In der Tat führt eine zu große Länge zu Schwankungen (Reflexionen der vorliegenden Überspannungswelle). Im schlimmsten Fall führt dies zur Verdoppelung des Schutzniveaus  $U_p$  für die Klemmen der zu schützenden Komponenten.

Es wird somit empfohlen, die Leitung zwischen Überspannungsableiter und Komponente unter 30 m zu halten oder eine Koordination der Überspannungsableiter vorzusehen (siehe Abschnitt «Koordination zwischen Überspannungsableitern»).



Fall eines entfernt installierten Geräts.

## Regeln zu und Auswahl der Überspannungsableiter

Genau wie Niederspannungseingänge sind Schwachstromeingänge (Telekommunikation, Modemleitungen, Datenübertragung, EDV-Netzwerke, Stromschleifen etc.) bei Spannungssprüngen extrem empfindlich. Die starke Empfindlichkeit der an eine Schwachstromleitung angeschlossenen Komponenten ist auf zwei Phänomene zurückzuführen:

- Durchschlagsfestigkeit der Stromkreise, die deutlich schwächer als die der Niederspannungsstromkreise ist;
- zusätzliche Überspannung, die zwischen Schwachstromkreisen und Niederspannungsstromkreisen auftritt, insbesondere durch Kopplung.

Zur Sicherstellung einer zuverlässigen Funktion der Systeme müssen also neben den Stromeingängen auch diese Art von Verbindungen geschützt werden.

### ☞ Normen für Schwachstrom-Überspannungsableiter

#### • Produktnorm

Norm NF EN 61643-21: Dieses Dokument legt die Tests fest, die für Schwachstrom-Überspannungsableiter durchzuführen sind.

Die getesteten Parameter ähneln denen für Niederspannungs-Überspannungsableiter mit Ausnahme der typischen Tests für Niederspannungsnetze mit 50 Hz (Kurzschlussstrom, transitorische Überspannungen etc.). Zusätzliche Tests zur Übertragungsqualität (Abschwächung...) sind jedoch erforderlich.

#### • Auswahl- und Installationsnorm

Norm IEC-61643-22: Information über die Technologie der Überspannungsableiter für Schwachströme, Auswahlmethoden und die Installationsempfehlungen.

### ☞ SURGYS®-Schwachstrom-Überspannungsableiter

SOCOMEc bietet eine Überspannungsableiter-Palette zum Anschluss an Schwachstromkreise in modularem Format für die vereinfachte Installation in genormten Schaltschränken an. Die Überspannungsableitungsfunktion ist als Einsteckkomponente vorhanden, um Wartung und Kontrolle zu erleichtern.

Die in den SURGYS®-Überspannungsableitern verwendeten Systeme für Schwachstromleitungen basieren auf der Verwendung von dreipoligen Gasfunkenstrecken und rasch auslösenden Spitzenbegrenzungsdioden. Somit sind die folgenden Merkmale möglich:

- Nennentladungsstrom (ohne Zerstörung) mit Welle 8/20  $\mu$ s > 5 kA;
- Ansprechzeit der Schutzvorrichtung < 1 ns;
- an die Festigkeit des Geräts angepasste Restspannung;
- Ausschluss von Betriebsunterbrechungen;
- Betriebssicherheit durch Kurzschlusschaltung bei bleibenden Fehlern.

Die systematische Verwendung von dreipoligen Gasfunkenstrecken gewährleistet aufgrund des gleichzeitigen Durchschlags an den drei Polen einen verbesserten Schutz.

Diese Merkmale zusammen sind unabdingbar, um eine optimale Zuverlässigkeit der geschützten Geräte zu gewährleisten, unabhängig von der vorliegenden Störung.

### ☞ Risikoabschätzung

Überspannungsableiter sind bei Schwachstromverbindungen nicht vorgeschrieben, obwohl das Risiko steigt. Daher muss das Risiko abgeschätzt werden, indem einige einfache Parameter analysiert werden:

	Verwendung von SURGYS®-Überspannungsableitern	
	empfohlen*	optional
Telekommunikationsverbindungen		
Leitungen	Freileitungen	Erdkabel
<b>Frühere Vorfälle</b>	<b>&gt; 1</b>	<b>0</b>
Gerät	Versorgung 50 Hz	Keine Versorgung
<b>Bedeutung des Geräts</b>	<b>kritisch</b>	<b>sekundär</b>
Datenübertragung		
Leitungen	extern	intern
<b>Frühere Vorfälle</b>	<b>&gt; 1</b>	<b>0</b>
Leitungslänge	> 30 m	< 30 m
<b>Elektromagnetische Umgebung</b>	<b>dicht</b>	<b>schwach</b>
Bedeutung des Geräts	kritisch	sekundär

\* Empfohlen, wenn die Anlage mindestens eines dieser Kriterien erfüllt.

## Umsetzung und Wartung

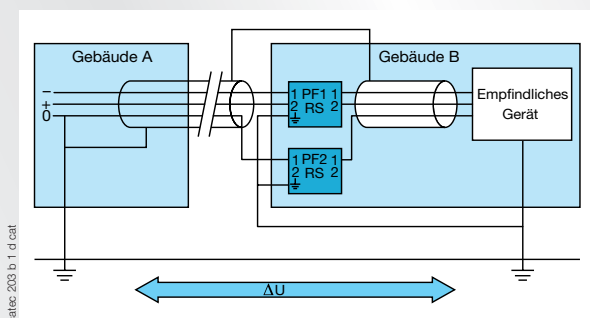
### ➔ Installation

#### • Position

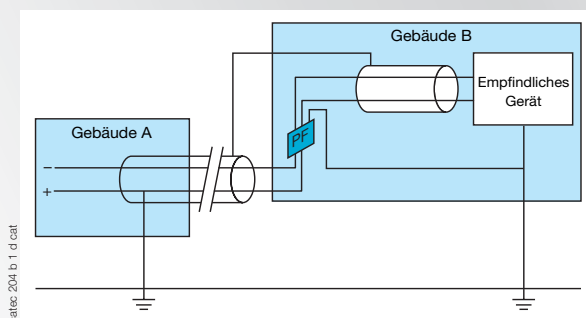
Zur Optimierung der Schutzwirkung müssen die Überspannungsableiter korrekt positioniert sein. Die korrekte Position ist:

- im Fall einer externen Leitung: am Anlageneingang, d. h. am Eingangs-Verteiler oder -Anschlusskasten zur möglichst raschen Ableitung der Impulsströme;
- bei internen Verbindungen: in der unmittelbaren Nähe der zu schützenden Geräte (Beispiel: am Anschlusskasten des Geräts).

In jedem Fall muss sich das geschützte Gerät in der Nähe des Überspannungsableiters befinden (Länge der Leitung «Überspannungsableiter/Gerät» unter 30 m). Wenn diese Regel nicht eingehalten werden kann, muss ein «sekundärer Schutz» in der Nähe des Geräts installiert werden (Überspannungsableiterkoordination).



RS-Verbindung mit 3 Leitern (mit 0 V-Leiter).



RS-Verbindung mit 2 Leitern.

#### • Anschluss an das Körpernetz

Die Länge der Verbindung des Überspannungsableiters an das Körpernetz der Anlage muss so kurz wie möglich sein (unter 50 cm), um zusätzliche Spannungsabfälle zu begrenzen, die die Schutzwirkung beeinträchtigen. Der Leiterquerschnitt dieses Leiters muss mindestens 2,5 mm<sup>2</sup> betragen.

#### • Verkabelung

Die gegen Überspannungen geschützten Kabel (nach dem Überspannungsableiter) und die nicht geschützten Kabel (vor dem Überspannungsableiter) müssen physisch z. B. wie folgt getrennt werden: keine Parallelschaltung an derselben Schiene, um Kopplungen einzuschränken.

### ➔ Wartung

Die Überspannungsableiter für Schwachstromnetze SURGYS® sind wartungsfrei und müssen nicht regelmäßig ausgetauscht werden. Daher sind sie darauf ausgelegt, mehrfach starke Stoßwellen ohne Zerstörung abzuleiten.

### ➔ Lebensende

Trotzdem kann eine Zerstörung vorkommen, wenn die Höchstwerte des Überspannungsableiters überschritten werden. Die Sicherheitsabschaltung erfolgt in den folgenden Fällen:

- längerer Kontakt mit einer Stromleitung;
- besonders starker Blitzschlag.

In diesem Fall schließt sich der Überspannungsableiter kurz und schützt so die Geräte (durch Erdung) und meldet seine Zerstörung (Leitungsunterbrechung): Der Benutzer muss dann das Steckmodul des Überspannungsableiters SURGYS® austauschen.

In der Praxis wird das Lebensende eines TEL-Überspannungsableiters in einer Telefonleitung dem Anwender durch eine Telefonleitung angezeigt, die immer besetzt scheint.

Der Betreiber (Telekom) überprüft die Erdung der Leitung und informiert den Kunden.

## Kompensationsprinzip

Die Verbesserung des Leistungsfaktors einer Anlage ist durch die Installation einer Kondensatorbatterie als Blindleistungsquelle möglich.

Die Kondensatorbatterie senkt die von der Stromquelle gelieferte Blindleistung.

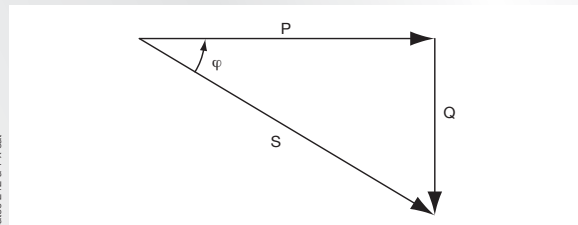
Die zu installierende Leistung der Kondensatorbatterie wird auf Grundlage der Wirkleistung und der Phasenverschiebung (Spannung/Wirkleistung) vor und nach Kompensation berechnet.

### Wirkende Kräfte bei einer Anlage ohne harmonische Oberschwingungen

Herkömmliche Stromverbraucher verwenden zwei Leistungsarten:

- die Wirkleistung (P), die in mechanische, thermische oder Lichtenergie umgewandelt wird;
- die Blindleistung (Q), die der Funktion einer elektrischen Maschine inhärent ist (Magnetisierung eines Motors oder Transformators...).

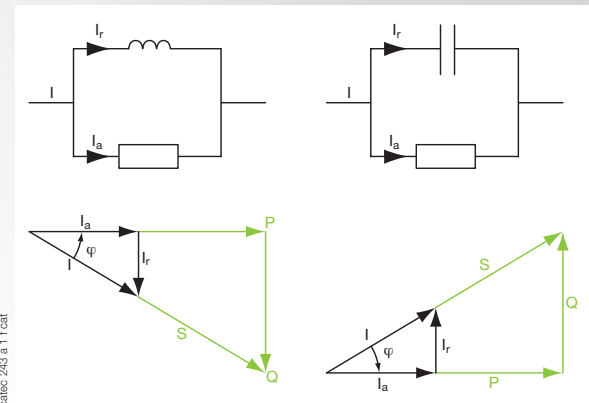
Die Vektorsumme dieser Leistungen wird als Scheinleistung (S) bezeichnet. Sie wird von den Versorgungsquellen der Anlage geliefert.



cattec 242 a 1 x cat

Der Scheinstrom (I), der von einer elektrischen Installation verbraucht wird, kann also in zwei Komponenten aufgeteilt werden:

- eine phasengleiche Komponente ( $I_a$ ) mit der Wirkleistung;
- eine phasenverschobene Komponente ( $I_r$ ) mit einer Phasenverschiebung von  $90^\circ$  in Bezug auf den Wirkanteil; um  $90^\circ$  nach hinten verschoben für eine induktive Last und um  $90^\circ$  nach vorn verschoben für eine kapazitive Last.



cattec 243 a 1 f cat

### Leistungsfaktor

Dies ist die Beziehung der Wirkleistung zur Scheinleistung:

Wenn die Installation keine oder wenig harmonische Oberschwingungen hat, liegt dieses Verhältnis nahe  $\cos \varphi$ .

Diese Beziehung kann auch als  $\tan \varphi$  ausgedrückt werden.

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P}$$

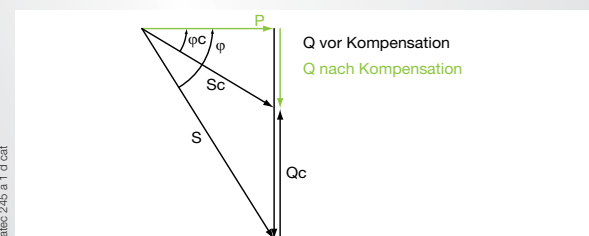
Dieses Verhältnis gibt den Anteil der Blindleistung an, die ein Transformator für eine bestimmte Wirkleistung liefern muss.

### Blindleistungskompensation

Die Blindleistung kann direkt geliefert werden:

- an der Anlage;
- an den einzelnen Verbrauchern.

Die Blindleistung kann von Kondensatorbatterien geliefert werden, die direkt an die Anlage des Anwenders angeschlossen sind.



cattec 245 a 1 d cat

### Technisch-wirtschaftliche Wahl der Kompensation

Die Optimierung des Leistungsfaktors erlaubt:

- die Vermeidung von Strafzahlungen an das EVU;
- die Steigerung der verfügbaren Transformatorleistung;
- die Reduzierung der Leiterquerschnitte;
- die Reduzierung der Leitungsverluste;
- die Reduzierung von Spannungsabfällen.

## Kompensationsprinzip (Fortsetzung)

### ➤ Technologie der Niederspannungs-Kompensation

Die Kompensation wird im Allgemeinen durch Kondensatorbatterien gewährleistet.

#### • Batterie mit fester Kompensation

Dieser Batterietyp wird dann verwendet, wenn die zu kompensierende Blindleistung konstant ist. Diese Konfiguration ist insbesondere für individuelle Kompensationen geeignet.

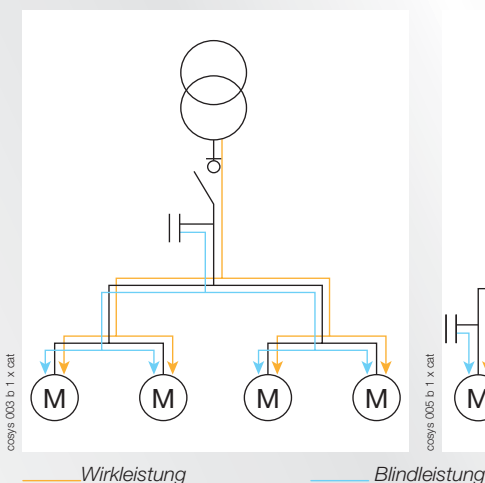
#### • Batterie mit automatischer Kompensation

Dieser Batterietyp erlaubt die Anpassung der Kompensation je nach Variation der elektrischen Energie der Anlage.

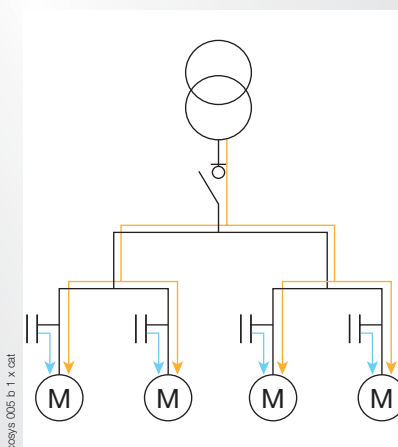
Dieser Kompensationstyp vermeidet die Bereitstellung einer Blindleistung, die den Bedarf der Anlage übersteigt, wenn diese nur eine geringe Last hat. In der Tat wird von einer Überkompensation abgeraten, da dies die Betriebsspannung der Anlagen erhöht.

### ➤ Ort der Kompensation

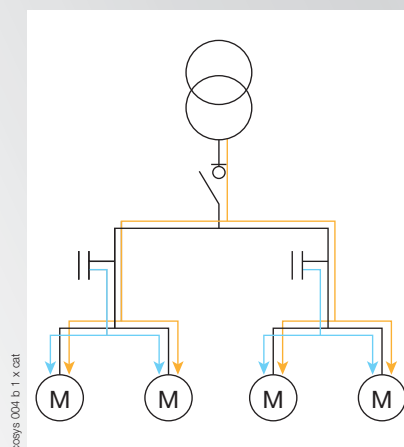
#### • Allgemeine Kompensation



#### • Individuelle Kompensation



#### • Kompensation per Sektor



#### Anmerkungen

- Die allgemeine oder sektorweise Kompensation ist oft wirtschaftlicher und erlaubt die Vermeidung von Problemen mit harmonischen Oberschwingungen.
- Die individuelle Kompensation ist die Lösung, die global die Leitungsverluste am stärksten reduziert.

### ➤ Kompensation und harmonische Oberschwingungen

Die Leistung einer Kompensationsbatterie wird stets auf die Kompensation des Grundschwingungsstroms der Anlage ausgelegt, d. h. der Strom mit derselben Frequenz wie das Verteilersystem.

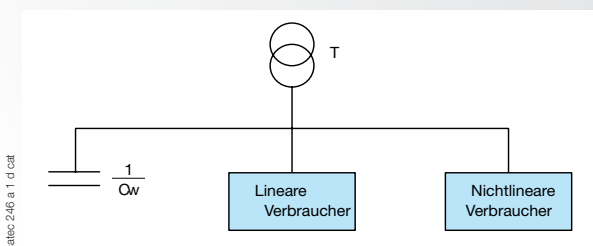
Die meisten elektrischen Anlagen haben jedoch auch harmonische Oberschwingungen. Diese harmonischen Oberschwingungen können im Allgemeinen bedeutende Frequenzen zwischen 150 Hz und 450 Hz umfassen.

Die Kondensatorbatterien, die an diese Netze angeschlossen sind, sind für diese Ströme empfindlich.

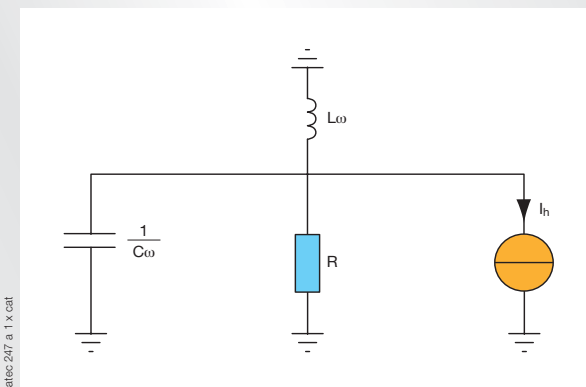
### ➤ Resonanzphänomen

#### • Betrachten wir als Beispiel einer elektrischen Anlage mit folgenden Komponenten:

- Transformator T;
- feste Kondensatorbatterie ( $Z = 1/C\omega$ );
- lineare Verbraucher, die keine harmonischen Oberschwingungen verursachen;
- nichtlineare Verbraucher, die harmonische Oberschwingungen verursachen.



#### • Vom Standpunkt der harmonischen Oberschwingungen ist die modellhafte Darstellung der Anlage wie folgt:

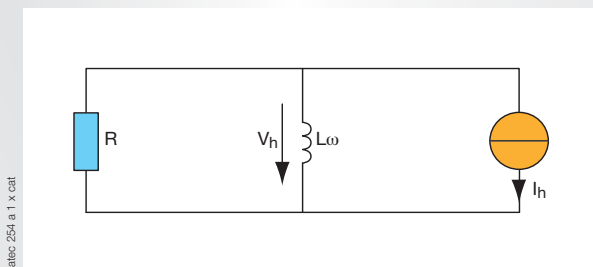




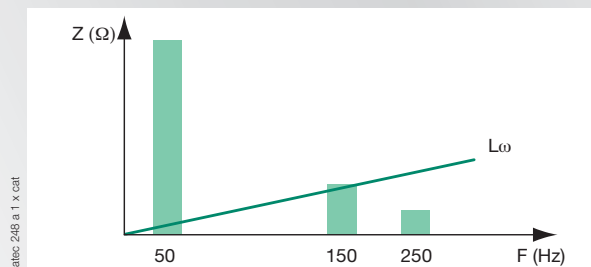
## Kompensationsprinzip (Fortsetzung)

### ➤ Resonanzphänomen (Fortsetzung)

#### • Modellhafte Darstellung der Installation ohne Kompensationsbatterie



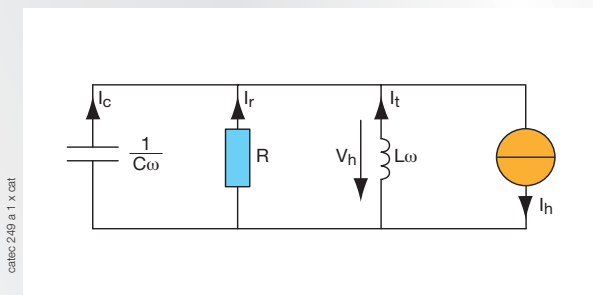
Äquivalentes einphasiges System.



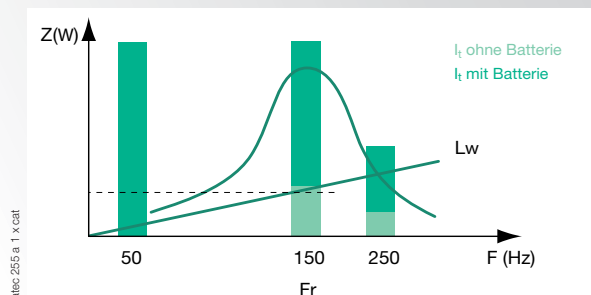
Äquivalente Impedanz der elektrischen Anlage ohne Kompensationsbatterie.

Anmerkung: Die von den nichtlinearen Lasten erzeugten harmonischen Oberschwingungen führen zu Spannungsabfällen  $V_h$  bei der Transformatorimpedanz. Diese harmonischen Oberschwingungen führen zu einer Verformung der Versorgungsspannung der Verbraucher. Dies erklärt die Verbreitung der harmonischen Störung der Netze.

#### • Modellhafte Darstellung der Installation mit Kompensationsbatterie



Äquivalentes einphasiges System mit Kompensationsbatterie.

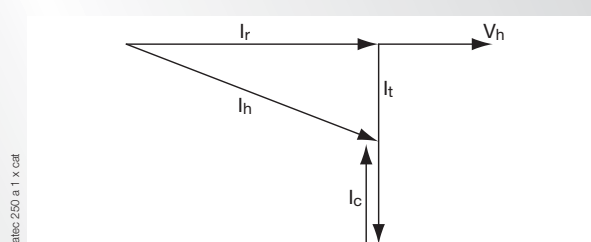


Äquivalente Impedanz der elektrischen Anlage mit Kompensationsbatterie.

#### • Äquivalente Impedanz der Anlage

Dies entspricht einer Impedanzspitze. Die Frequenz, die dieser Spitze entspricht, wird als Resonanzfrequenz bezeichnet.

Bei der Resonanzfrequenz kann die Impedanz der Anlage bedeutend werden. So kann gezeigt werden, dass bei von den nichtlinearen Lasten erzeugten harmonischen Oberschwingungen mit einer Frequenz nahe der Resonanz der Anlage sich diese Ströme verstärken und durch die Kondensatoren und den Transformator fließen.



Vektordarstellung der Ströme durch verschiedene Komponenten der elektrischen Anlage.

### ➤ Verstärkung einer harmonischen Oberschwingung

Beispiel einer harmonischen Oberschwingung der nten Ordnung, deren Frequenz mit der Resonanzfrequenz der Anlage übereinstimmt (Berechnung der Gesamtimpedanz des Systems, das einem RLC-Schaltkreis in Parallelschaltung entspricht).

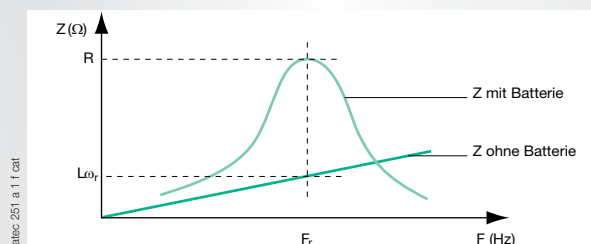
$$Z = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{R^2} + \left(C\omega - \frac{1}{L\omega}\right)^2}}$$

Bei Resonanzfrequenz ( $\omega_r$ ):  $C\omega_r = \frac{1}{L\omega_r}$

#### • Mit $Z = R$



$$V_h = R I_h$$



## Kompensationsprinzip (Fortsetzung)

### ↪ Verstärkung einer harmonischen Oberschwingung (Fortsetzung)

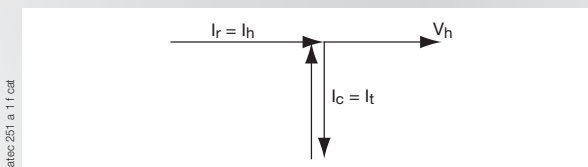
Wenn Transformator und Batterie immer vorhanden sind, können wir die Ströme zwischen diesen Komponenten berechnen.

#### • Berechnung der Ströme zwischen dem Transformator und der Kompensationsbatterie

$$I_t = \frac{V_h}{L\omega_r} = \frac{I_h R}{L\omega_r} = K I_h$$

Verstärkungsfaktor der Resonanz:  $K = R/L\omega_r$ .

#### • Harmonische Oberschwingungen der Frequenz $F_r$



$$I_c = C\omega_r V_h = RC\omega_r I_h = K I_h$$

So ist eine Verstärkung der harmonischen Oberschwingung der nten Ordnung des Transformators und der Kondensatoren festzustellen. Je nach Verstärkungsfaktor K kann das Resonanzphänomen diese Folgen haben:

- Strom, der durch die Kondensatoren fließt, der den Nennstrom der Kapazität übersteigen und zu einer Schädigung der Kapazitäten durch Überhitzung führen kann;
- anomale Überlastung des Transformators und der Kabel, die die Anlage versorgen;
- Degradierung der Sinusform der Spannung, die ihrerseits zu Verbraucherstörungen führen kann.

Der Resonanzgrad kann wie folgt berechnet werden (vereinfachte Formel):

$$N = \frac{F_r}{F_0} = \sqrt{\frac{S_{cc}}{Q_c}}$$

$S_{cc}$  Kurzschlussleistung des Transformators.

$Q_c$  eingeschaltete kapazitive Leistung.

$F_r$  Resonanzfrequenz.

$F_0$  Frequenz des Stromnetzes.

$$N = \frac{F_r}{F_0} = \sqrt{\frac{S_n \times 100}{U_{cc}}}$$

$S_{cc} = S_n \times 100/U_{cc}$

$S_n$  Transformatorleistung.

$U_{cc}$  Kurzschlussspannung des Transformators.

Die harmonischen Oberschwingungen der Frequenz  $F_r$  an der Anlage werden in den Kondensatoren und im Transformator vervielfacht:

$$K = \sqrt{\frac{S_{cc} Q_c}{P}}$$

$S_{cc}$  Kurzschlussleistung des Transformators.

$Q_c$  eingeschaltete kapazitive Leistung.

$P$  Wirkleistung der linearen Verbraucher.

In der Praxis übersteigt N den Wert 10 nicht, da die Kabelimpedanzen in diesem Modell nicht berücksichtigt sind. Es ist wichtig zu berücksichtigen, dass die an eine Anlage angeschlossenen Kondensatoren die bestehenden harmonischen Oberschwingungen verstärken können, aber diese nicht erzeugen.

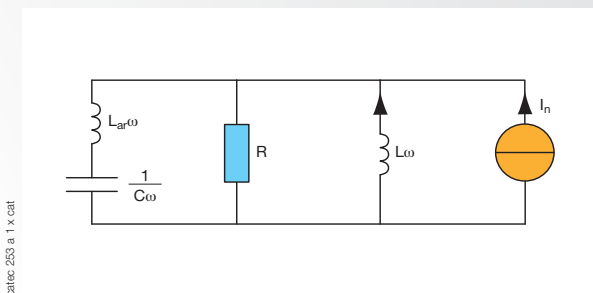
Anmerkung: Die Verstärkung einer harmonischen Oberschwingung gleich der Resonanzfrequenz entspricht dem Maximum.

Die anderen harmonischen Oberschwingungen werden mit einem geringeren Anteil verstärkt.

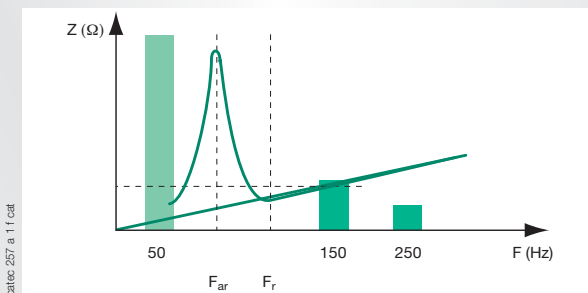
Bei einer umfassenden Studie der Resonanz ist die Verstärkung für jede Ordnung der harmonischen Oberschwingungen zu berechnen und der tatsächliche fließende Gesamtwert zwischen Transformator und Kondensator abzuziehen.

### ↪ Schutz der Kompensationsbatterien gegen die Resonanzwirkungen

Es ist eindeutig, dass bei harmonischen Oberschwingungen die Kompensationsbatterien gegen die Auswirkungen der Resonanz geschützt werden müssen. Hierfür werden anti-harmonische Strombegrenzungsdröseln mit den Kapazitäten in Serie geschaltet. Ziel ist die Etablierung eines Induktanzwerts, so dass die Resonanzspitze sich nicht in den bestehenden harmonischen Oberschwingungsströmen befindet.



Äquivalente Impedanz der Anlage mit Kompensationsbatterie, die gegen die Auswirkungen von harmonischen Oberschwingungen geschützt ist.



Äquivalente Impedanz der Anlage und Spektrum der in der Anlage vorhandenen harmonischen Oberschwingungen.

## Berechnung der Kondensatorleistung

### ➤ Koeffizient K

Die unten aufgeführte Tabelle gibt – je nach dem  $\cos \varphi$  des Netzes vor der Kompensation und dem gewünschten  $\cos \varphi$  des Netzes nach der Kompensation – einen durch Multiplikation auf die Wirkleistung anzuwendenden Koeffizienten an, mit dem die erforderliche Kondensatorleistung berechnet werden kann. Darüber hinaus ermöglicht er es, die Werte der Abhängigkeit zwischen  $\cos \varphi$  und  $\tan \varphi$  herauszufinden.

$$Q_c = P \text{ (kW)} \times K$$

Vor der Kompensation		Auf die Wirkleistung anzuwendender Koeffizient K zur Erhöhung des Leistungsfaktors $\cos \varphi$ oder $\tan \varphi$ auf die folgenden Werte													
$\tan \varphi$	$\cos \varphi$	$\tan \varphi$	0,75	0,59	0,48	0,46	0,43	0,40	0,36	0,33	0,29	0,25	0,20	0,14	0,0
		$\cos \varphi$	0,80	0,86	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1
2,29	0,40		1,557	1,691	1,805	1,832	1,861	1,895	1,924	1,959	1,998	2,037	2,085	2,146	2,288
<b>2,22</b>	<b>0,41</b>		<b>1,474</b>	<b>1,625</b>	<b>1,742</b>	<b>1,769</b>	<b>1,798</b>	<b>1,831</b>	<b>1,840</b>	<b>1,896</b>	<b>1,935</b>	<b>1,973</b>	<b>2,021</b>	<b>2,082</b>	<b>2,225</b>
2,16	0,42		1,413	1,561	1,681	1,709	1,738	1,771	1,800	1,836	1,874	1,913	1,961	2,022	2,164
<b>2,10</b>	<b>0,43</b>		<b>1,356</b>	<b>1,499</b>	<b>1,624</b>	<b>1,651</b>	<b>1,680</b>	<b>1,713</b>	<b>1,742</b>	<b>1,778</b>	<b>1,816</b>	<b>1,855</b>	<b>1,903</b>	<b>1,964</b>	<b>2,107</b>
2,04	0,44		1,290	1,441	1,558	1,585	1,614	1,647	1,677	1,712	1,751	1,790	1,837	1,899	2,041
<b>1,98</b>	<b>0,45</b>		<b>1,230</b>	<b>1,384</b>	<b>1,501</b>	<b>1,532</b>	<b>1,561</b>	<b>1,592</b>	<b>1,628</b>	<b>1,659</b>	<b>1,695</b>	<b>1,737</b>	<b>1,784</b>	<b>1,846</b>	<b>1,988</b>
1,93	0,46		1,179	1,330	1,446	1,473	1,502	1,533	1,567	1,600	1,636	1,677	1,725	1,786	1,929
<b>1,88</b>	<b>0,47</b>		<b>1,130</b>	<b>1,278</b>	<b>1,397</b>	<b>1,425</b>	<b>1,454</b>	<b>1,485</b>	<b>1,519</b>	<b>1,532</b>	<b>1,588</b>	<b>1,629</b>	<b>1,677</b>	<b>1,758</b>	<b>1,881</b>
1,83	0,48		1,076	1,228	1,343	1,370	1,400	1,430	1,464	1,497	1,534	1,575	1,623	1,684	1,826
<b>1,78</b>	<b>0,49</b>		<b>1,030</b>	<b>1,179</b>	<b>1,297</b>	<b>1,326</b>	<b>1,355</b>	<b>1,386</b>	<b>1,420</b>	<b>1,453</b>	<b>1,489</b>	<b>1,530</b>	<b>1,578</b>	<b>1,639</b>	<b>1,782</b>
1,73	0,50		0,982	1,232	1,248	1,276	1,303	1,337	1,369	1,403	1,441	1,481	1,529	1,590	1,732
<b>1,69</b>	<b>0,51</b>		<b>0,936</b>	<b>1,087</b>	<b>1,202</b>	<b>1,230</b>	<b>1,257</b>	<b>1,291</b>	<b>1,323</b>	<b>1,357</b>	<b>1,395</b>	<b>1,435</b>	<b>1,483</b>	<b>1,544</b>	<b>1,686</b>
1,64	0,52		0,894	1,043	1,160	1,188	1,215	1,249	1,281	1,315	1,353	1,393	1,441	1,502	1,644
<b>1,60</b>	<b>0,53</b>		<b>0,850</b>	<b>1,000</b>	<b>1,116</b>	<b>1,144</b>	<b>1,171</b>	<b>1,205</b>	<b>1,237</b>	<b>1,271</b>	<b>1,309</b>	<b>1,349</b>	<b>1,397</b>	<b>1,458</b>	<b>1,600</b>
1,56	0,54		0,809	0,959	1,075	1,103	1,130	1,164	1,196	1,230	1,268	1,308	1,356	1,417	1,559
<b>1,52</b>	<b>0,55</b>		<b>0,769</b>	<b>0,918</b>	<b>1,035</b>	<b>1,063</b>	<b>1,090</b>	<b>1,124</b>	<b>1,156</b>	<b>1,190</b>	<b>1,228</b>	<b>1,268</b>	<b>1,316</b>	<b>1,377</b>	<b>1,519</b>
1,48	0,56		0,730	0,879	0,996	1,024	1,051	1,085	1,117	1,151	1,189	1,229	1,277	1,338	1,480
<b>1,44</b>	<b>0,57</b>		<b>0,692</b>	<b>0,841</b>	<b>0,958</b>	<b>0,986</b>	<b>1,013</b>	<b>1,047</b>	<b>1,079</b>	<b>1,113</b>	<b>1,151</b>	<b>1,191</b>	<b>1,239</b>	<b>1,300</b>	<b>1,442</b>
1,40	0,58		0,665	0,805	0,921	0,949	0,976	1,010	1,042	1,076	1,114	1,154	1,202	1,263	1,405
<b>1,37</b>	<b>0,59</b>		<b>0,618</b>	<b>0,768</b>	<b>0,884</b>	<b>0,912</b>	<b>0,939</b>	<b>0,973</b>	<b>1,005</b>	<b>1,039</b>	<b>1,077</b>	<b>1,117</b>	<b>1,165</b>	<b>1,226</b>	<b>1,368</b>
1,33	0,60		0,584	0,733	0,849	0,878	0,905	0,939	0,971	1,005	1,043	1,083	1,131	1,192	1,334
<b>1,30</b>	<b>0,61</b>		<b>0,549</b>	<b>0,699</b>	<b>0,815</b>	<b>0,843</b>	<b>0,870</b>	<b>0,904</b>	<b>0,936</b>	<b>0,970</b>	<b>1,008</b>	<b>1,048</b>	<b>1,096</b>	<b>1,157</b>	<b>1,299</b>
1,27	0,62		0,515	0,665	0,781	0,809	0,836	0,870	0,902	0,936	0,974	1,014	1,062	1,123	1,265
<b>1,23</b>	<b>0,63</b>		<b>0,483</b>	<b>0,633</b>	<b>0,749</b>	<b>0,777</b>	<b>0,804</b>	<b>0,838</b>	<b>0,870</b>	<b>0,904</b>	<b>0,942</b>	<b>0,982</b>	<b>1,030</b>	<b>1,091</b>	<b>1,233</b>
1,20	0,64		0,450	0,601	0,716	0,744	0,771	0,805	0,837	0,871	0,909	0,949	0,997	1,058	1,200
<b>1,17</b>	<b>0,65</b>		<b>0,419</b>	<b>0,569</b>	<b>0,685</b>	<b>0,713</b>	<b>0,740</b>	<b>0,774</b>	<b>0,806</b>	<b>0,840</b>	<b>0,878</b>	<b>0,918</b>	<b>0,966</b>	<b>1,007</b>	<b>1,169</b>
1,14	0,66		0,388	0,538	0,654	0,682	0,709	0,743	0,775	0,809	0,847	0,887	0,935	0,996	1,138
<b>1,11</b>	<b>0,67</b>		<b>0,358</b>	<b>0,508</b>	<b>0,624</b>	<b>0,652</b>	<b>0,679</b>	<b>0,713</b>	<b>0,745</b>	<b>0,779</b>	<b>0,817</b>	<b>0,857</b>	<b>0,905</b>	<b>0,966</b>	<b>1,108</b>
1,08	0,68		0,329	0,478	0,595	0,623	0,650	0,684	0,716	0,750	0,788	0,828	0,876	0,937	1,079
<b>1,05</b>	<b>0,69</b>		<b>0,299</b>	<b>0,449</b>	<b>0,565</b>	<b>0,593</b>	<b>0,620</b>	<b>0,654</b>	<b>0,686</b>	<b>0,720</b>	<b>0,758</b>	<b>0,798</b>	<b>0,840</b>	<b>0,907</b>	<b>1,049</b>
<b>1,02</b>	<b>0,70</b>		<b>0,270</b>	<b>0,420</b>	<b>0,536</b>	<b>0,564</b>	<b>0,591</b>	0,625	0,657	0,691	0,729	0,769	0,811	0,878	1,020
<b>0,99</b>	<b>0,71</b>		<b>0,242</b>	<b>0,392</b>	<b>0,508</b>	<b>0,536</b>	<b>0,563</b>	<b>0,597</b>	<b>0,629</b>	<b>0,663</b>	<b>0,701</b>	<b>0,741</b>	<b>0,783</b>	<b>0,850</b>	<b>0,992</b>
0,96	0,72		0,213	0,364	0,479	0,507	0,534	0,568	0,600	0,634	0,672	0,712	0,754	0,821	0,963
<b>0,94</b>	<b>0,73</b>		<b>0,186</b>	<b>0,336</b>	<b>0,452</b>	<b>0,480</b>	<b>0,507</b>	<b>0,541</b>	<b>0,573</b>	<b>0,607</b>	<b>0,645</b>	<b>0,685</b>	<b>0,727</b>	<b>0,794</b>	<b>0,936</b>
0,91	0,74		0,159	0,309	0,425	0,453	0,480	0,514	0,546	0,580	0,618	0,658	0,700	0,767	0,909
<b>0,88</b>	<b>0,75</b>		<b>0,132</b>	<b>0,282</b>	<b>0,398</b>	<b>0,426</b>	<b>0,453</b>	<b>0,487</b>	<b>0,519</b>	<b>0,553</b>	<b>0,591</b>	<b>0,631</b>	<b>0,673</b>	<b>0,740</b>	<b>0,882</b>
0,86	0,76		0,105	0,255	0,371	0,399	0,426	0,460	0,492	0,526	0,564	0,604	0,652	0,713	0,855
<b>0,83</b>	<b>0,77</b>		<b>0,079</b>	<b>0,229</b>	<b>0,345</b>	<b>0,373</b>	<b>0,400</b>	<b>0,434</b>	<b>0,466</b>	<b>0,500</b>	<b>0,538</b>	<b>0,578</b>	<b>0,620</b>	<b>0,687</b>	<b>0,829</b>
0,80	0,78		0,053	0,202	0,319	0,347	0,374	0,408	0,440	0,474	0,512	0,552	0,594	0,661	0,803
<b>0,78</b>	<b>0,79</b>		<b>0,026</b>	<b>0,176</b>	<b>0,292</b>	<b>0,320</b>	<b>0,347</b>	<b>0,381</b>	<b>0,413</b>	<b>0,447</b>	<b>0,485</b>	<b>0,525</b>	<b>0,567</b>	<b>0,634</b>	<b>0,776</b>
0,75	0,80			0,150	0,266	0,294	0,321	0,355	0,387	0,421	0,459	0,499	0,541	0,608	0,750
<b>0,72</b>	<b>0,81</b>			<b>0,124</b>	<b>0,240</b>	<b>0,268</b>	<b>0,295</b>	<b>0,329</b>	<b>0,361</b>	<b>0,395</b>	<b>0,433</b>	<b>0,473</b>	<b>0,515</b>	<b>0,582</b>	<b>0,724</b>
0,70	0,82			0,098	0,214	0,242	0,269	0,303	0,335	0,369	0,407	0,447	0,489	0,556	0,698
<b>0,67</b>	<b>0,83</b>			<b>0,072</b>	<b>0,188</b>	<b>0,216</b>	<b>0,243</b>	<b>0,277</b>	<b>0,309</b>	<b>0,343</b>	<b>0,381</b>	<b>0,421</b>	<b>0,463</b>	<b>0,530</b>	<b>0,672</b>
0,65	0,84			0,046	0,162	0,190	0,217	0,251	0,283	0,317	0,355	0,395	0,437	0,504	0,645
<b>0,62</b>	<b>0,85</b>			<b>0,020</b>	<b>0,136</b>	<b>0,164</b>	<b>0,191</b>	<b>0,225</b>	<b>0,257</b>	<b>0,291</b>	<b>0,329</b>	<b>0,369</b>	<b>0,417</b>	<b>0,478</b>	<b>0,620</b>
0,59	0,86				0,109	0,140	0,167	0,198	0,230	0,264	0,301	0,343	0,390	0,450	0,593
<b>0,57</b>	<b>0,87</b>				<b>0,083</b>	<b>0,114</b>	<b>0,141</b>	<b>0,172</b>	<b>0,204</b>	<b>0,238</b>	<b>0,275</b>	<b>0,317</b>	<b>0,364</b>	<b>0,424</b>	<b>0,567</b>
0,54	0,88				0,054	0,085	0,112	0,143	0,175	0,209	0,246	0,288	0,335	0,395	0,538
<b>0,51</b>	<b>0,89</b>				<b>0,028</b>	<b>0,059</b>	<b>0,086</b>	<b>0,117</b>	<b>0,149</b>	<b>0,183</b>	<b>0,230</b>	<b>0,262</b>	<b>0,309</b>	<b>0,369</b>	<b>0,512</b>
0,48	0,90					0,031	0,058	0,089	0,121	0,155	0,192	0,234	0,281	0,341	0,484

**Beispiel:** Leistung der Anlage = 653 kW; in der Anlage gemessener  $\cos \varphi$ :  $\cos \varphi = 0,70$  ergibt  $\tan \varphi = 1,02$

Gewünschter  $\cos \varphi$ :  $\cos \varphi = 0,93$  ergibt  $\tan \varphi = 0,4$ ;  $Q_c = 653 \times 0,625 = 410 \text{ kvar}$ .

## Auswahl einer Kompensation für eine feste Last

### ➔ Kompensation eines Asynchronmotors

Der cos phi der Motoren ist bei schwacher Last oder im Leerlauf sehr schlecht. Um diese Betriebsart zu vermeiden, besteht die Möglichkeit, die Kondensatorbatterie direkt an die Klemmen des Motors anzuschließen, wenn die folgenden Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden:

#### • Beim Anfahren des Motors

Wenn das Anfahren des Motors mit Hilfe eines speziellen Gerätes erfolgt (Widerstand, Induktanz, Stern/Dreieck-Anlauf, Spartransformator), darf die Kondensatorbatterie erst nach dem Anlauf des Motors eingeschaltet werden.

#### • Für spezielle Motoren

Es wird empfohlen, sie nicht zu kompensieren (Schritt für Schritt, in beiden Richtungen...).

#### • Bei Selbsterregung

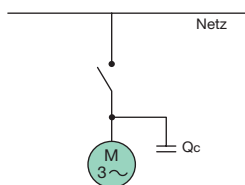
Beim Abschalten von Motoren mit Lasten hoher Trägheit kann das Phänomen der Selbsterregung des Motors durch die Kompensationsbatterie zu starken Überspannungen führen. Um dieses zu vermeiden, ist die folgende Beziehung zu überprüfen:

$$Q_c \leq 0,9 \times I_0 \times U_n \times \sqrt{3}$$

$I_0$ : Leerlaufstrom des Motors (kA)

$Q_c$ : Kondensatorleistung (kvar)

$U_n$ : Nennspannung (400 V).



$$Q_c \geq 0,9 \times I_0 \times U_n \times \sqrt{3}$$

$I_0$ : Leerlaufstrom des Motors (kA)

$Q_c$ : Kondensatorleistung (kvar)

$U_n$ : Nennspannung (400 V).

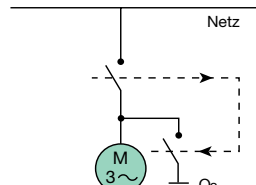


Tabelle A: Richtwert der Kondensatorleistung, der zur Vermeidung einer Selbsterregung des Motors nicht überschritten werden darf.

Drehstrommotor 400 V					
Nennleistung		Maximale Leistung (kvar)			
		Maximale Drehzahl (1/min)			
kW	PS	3000	1500	1000	750
8	11	2	2	3	
<b>11</b>	<b>15</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	
15	20	4	5	6	
<b>18</b>	<b>25</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>7,5</b>	
22	30	6	8	9	10
<b>30</b>	<b>40</b>	<b>7,5</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12,5</b>
37	50	9	11	12,5	16
<b>45</b>	<b>60</b>	<b>11</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>17</b>
55	75	13	17	18	21
<b>75</b>	<b>100</b>	<b>17</b>	<b>22</b>	<b>25</b>	<b>28</b>
90	125	20	25	27	30
<b>110</b>	<b>150</b>	<b>24</b>	<b>29</b>	<b>33</b>	<b>37</b>
132	180	31	36	38	43
<b>160</b>	<b>218</b>	<b>35</b>	<b>41</b>	<b>44</b>	<b>52</b>
200	274	43	47	53	61
<b>250</b>	<b>340</b>	<b>52</b>	<b>57</b>	<b>63</b>	<b>71</b>
280	380	57	63	70	79
<b>355</b>	<b>482</b>	<b>67</b>	<b>76</b>	<b>86</b>	<b>98</b>
400	544	78	82	97	106
<b>450</b>	<b>610</b>	<b>87</b>	<b>93</b>	<b>107</b>	<b>117</b>

#### • Schutz des Motors

Wenn sich der Schutz am Eingang der Kompensationsvorrichtung des Motors befindet, ist eine Anpassung erforderlich. Bei gleichem Motorbetrieb ist der Strom, der in den Schutz fließt, nämlich schwächer, da die Kompensationsbatterie die Blindenergie liefert.

Tabelle B: Reduktionskoeffizient für die Einstellung des Schutzes, wenn die Leistung der Kondensatorbatterie der maximalen, in Tabelle A angegebenen Leistung entspricht.

Geschwindigkeit (1/min)	Reduktionskoeffizient
750	0,88
<b>1000</b>	<b>0,90</b>
1500	0,91
<b>3000</b>	<b>0,93</b>

## Auswahl einer Kompensation für eine feste Last (Fortsetzung)

### ➔ Kompensation eines Transformators

Für die Magnetisierung seiner Wicklungen verbraucht ein Transformator Blindenergie. Die unten angeführte Tabelle gibt den üblichen Verbrauch an (für genauere Angaben wenden Sie sich bitte an den Hersteller des Transformators).

**Beispiel:** Bei  $\cos \phi$  0,7 sind 30 % der Leistung des Transformators wegen der von ihm zu produzierenden Blindenergie nicht verfügbar.

Nennleistung Transformator kVA	Leistung der Kompensation (kvar)		
	Transformator		
	Im Leerlauf	bei einer Last von 75 %	bei einer Last von 100 %
100	3	5	6
<b>160</b>	<b>4</b>	<b>7,5</b>	<b>10</b>
200	4	9	12
<b>250</b>	<b>5</b>	<b>11</b>	<b>15</b>
315	6	15	20
<b>400</b>	<b>8</b>	<b>20</b>	<b>25</b>
500	10	25	30
<b>630</b>	<b>12</b>	<b>30</b>	<b>40</b>
800	20	40	55
<b>1000</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>70</b>
1250	30	70	90
<b>2000</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>150</b>
2500	60	150	200
<b>3150</b>	<b>90</b>	<b>200</b>	<b>250</b>
4000	160	250	320
<b>5000</b>	<b>200</b>	<b>300</b>	<b>425</b>

Bei der Bestimmung einer Kompensationsanlage ist ein Festkondensator vorzusehen, der dem internen Verbrauch eines Transformators mit einer Last von 75 % entspricht.

### ➔ Einige Leistungsfaktoren

Anhaltswerte für Leistungsfaktoren für die geläufigsten Maschinen, die Blindleistung verbrauchen.

Verbraucher		$\cos \varphi$	$\tan \varphi$
Asynchronmotoren	Im Leerlauf	0,17	5,80
	bei einer Last von 25 %	0,55	1,52
	bei einer Last von 50 %	0,73	0,94
	bei einer Last von 75 %	0,80	0,75
	bei einer Last von 100 %	0,85	0,62
<b>Lampen</b>	<b>Glühlampen</b>	<b>ca. 1</b>	<b>ca. 0</b>
	<b>Leuchtstoffröhren</b>	<b>ca. 0,5</b>	<b>ca. 1,73</b>
	<b>Entladungslampen</b>	<b>0,4 bis 0,6</b>	<b>ca. 2,29 bis 1,13</b>
Öfen	Widerstandsöfen	ca. 1	ca. 0
	Induktionsöfen (kompensiert)	ca. 0,85	ca. 0,62
	Öfen mit dielektrischer Beheizung	ca. 0,85	ca. 0,62
<b>Widerstandsschweißmaschinen</b>		<b>0,8 bis 0,9</b>	<b>0,75 bis 0,48</b>
Statische einphasige Schweißgeräte		ca. 0,5	ca. 1,73
<b>Rotierende E-Schweißeinheiten</b>		<b>0,7 bis 0,9</b>	<b>1,02 bis 0,48</b>
E-Schweiß-Gleichrichtertransformatoren		0,7 bis 0,9	1,02 bis 0,48
<b>Lichtbogenöfen</b>		<b>0,8</b>	<b>0,75</b>
Thyristor-Leistungsgleichrichter		0,4 bis 0,8	2,25 bis 0,75



## Thermoeffekte

### ➤ Verlustleistung der Geräte

Die Nennleistungen werden für den Strom  $I_{th}$  (Angabe des Nennstroms in der unten stehenden Liste) angegeben. Für den Nennbetriebsstrom des Gerätes gilt:

$$P = P_N \times \left[ \frac{I_e}{I_{th}} \right]^2$$

$P$ : Verlustleistung in W.

$P_N$ : Nennverlustleistung in W (siehe unten angeführte Tabelle).

$I_e$ : Nennbetriebsstrom des Geräts.

$I_{th}$ : Nenngröße des Geräts.

### ➤ Thermische Eigenschaften

#### • Bestimmung des Temperaturanstieges

$$\Delta T (^{\circ}K) = \frac{P (W)}{K \times S (m^2)}$$

$P$ : Verlustleistung innerhalb des Gehäuses (Gerät, Verbindungen, Kabel...).

$\Delta T$ : Temperaturanstieg in  $^{\circ}K$ .

$S$ : Freie Oberfläche des Gehäuses (nicht gerechnet werden die an Mauern und andere Hindernisse angrenzenden Oberflächen).

$K$ : Wärmeaustauschfaktor.

$K = 4 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}C$  bei Polyestergehäusen.

$K = 5,5 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}C$  bei Metallgehäusen.

Wenn der Schrank oder das Gehäuse mit Lufteinlassöffnungen ausgestattet ist, bitte für die Berechnung die Norm IEC 60890 anwenden oder bei uns nachfragen.

#### • Bestimmung des Luft/Luft-Austauschers: siehe Seite 565.

#### • Bestimmung des Ventilators

Bei erzwungenem Luftumlauf berechnet sich der erforderliche Luftdurchsatz  $D$  wie folgt:

$$D (m^3/h) = 3,1 \times \left[ \frac{P}{\Delta T} - (K \times S) \right]$$

Die Ventilatoren werden als Zubehör in der Produktpalette CADRYS angeboten.

#### • Bestimmung des Heizwiderstandes

Die Bestimmung des Heizwiderstandes ist notwendig, damit Kondensation im Schrank vermieden wird. Die Stärke  $P_c$  des Widerstandes wird wie folgt bestimmt:

$$P_c (W) = (\Delta T \times K \times S) - P$$

#### • Bestimmung des Klimagerätes: siehe Seite 565.

Verlustleistung in W/Pol je Gerät

Nennstrom (A)	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	1800	2000	2500	3200	4000
SIRCO	-	0,6	-	2	2,6	3	1,8	3	4	5,8	7,6	10,8	16	30,9	39,2	45	85	122	153	178	255	330	420
SIRCO VM	0,9	1,3	-	1,2	2,1	3,1	5,7	3,3	5,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SIDER	-	-	1	-	2,9	-	1,5	-	3,4	-	-	12,9	17	20,7	32	-	42,5	102	-	-	-	-	-
SIDERMAT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,2	-	15,6	-	45	66,4	-	80	113	-	-	-	-	-
FUSERBLOC	4,7 (CD)	-	7,3	9	-	14,5	20	23	25,4	41	-	60	-	100	143,4	-	215	-	-	-	-	-	-
FUSOMAT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30,3	-	50	-	83,5	-	-	222	-	-	-	-	-	-

**Beispiel:** Ein Schrank besteht aus einem Hauptschalter (FUSERBLOC 4 x 630 A) und aus mehreren Abgängen. Der Nennstrom beträgt 550 A.

• Verlustleistung bei 630 A (oben aufgeführte Tabelle):  $97,7 \times 3 = 293 \text{ W}$ .

• Verlustleistung bei 550 A:

$$293 \times \left[ \frac{500}{630} \right]^2 = 223 \text{ W}$$

Die Gesamtleistung im Schrank (Geräte, Kabel...) erreicht 400 W. Abmessungen des Schrankes:  $H = 2000 \text{ mm}$ ,  $T = 600 \text{ mm}$ ,  $B = 800 \text{ mm}$ .

Der Schrank befindet sich zwischen zwei anderen Schränken und an der Wand. Die freie Oberfläche beträgt:  $S (m^2) = 2 \times 0,8 \text{ (vorn)} + 0,6 \times 0,8 \text{ (oben)} = 2,08 \text{ m}^2$

• Temperaturanstieg im Schrank:

$$\Delta T = \frac{400 \text{ W}}{5,5 \times 2,08 \text{ m}^2} = 35 \text{ }^{\circ}C$$

Bei einer Umgebungstemperatur von  $35 \text{ }^{\circ}C$  ergibt sich:  $T = 35 \text{ }^{\circ}C + 35 \text{ }^{\circ}C = 70 \text{ }^{\circ}C$

Um die Temperatur  $T$  auf maximal  $55 \text{ }^{\circ}C$  zu begrenzen ( $\Delta T = 20 \text{ }^{\circ}C$ ), ist eine Belüftung mit folgendem Luftdurchsatz erforderlich:

$$D = 3,1 \times \left[ \frac{400}{20} - 5,5 \times 2,08 \right] = 26,5 \text{ m}^3/h$$

### ➤ Polyestergehäuse

Diese Gehäuse werden in öffentlich zugänglichen Gebäuden verwendet. Die IEC-Norm 60695 schreibt selbstlöschende Gehäuse vor (Mindestbeständigkeit bei Glühdrahtprobe:  $750 \text{ }^{\circ}C$ ).

Art des Gehäuses	COMBIESTER-		MINIPOL	MAXIPOL
	Deckel durchsichtig	Deckel undurchsichtig		
Glühdrahtfestigkeit	960 $^{\circ}C$	850 $^{\circ}C$	960 $^{\circ}C$	960 $^{\circ}C$

## Thermoeffekte (Fortsetzung)

### ➔ Schutz gegen Thermoeffekte (gemäß Norm IEC 60364)

Zur Vermeidung von Risiken durch die im Normalbetrieb auftretenden Thermoeffekte (Feuer, Verbrennung, Überhitzung) wird zurückgegriffen auf:

Zugängliche Teile	Material	T (°) max.
Manuelle Steuerorgane	Metallisch	55
	Nicht metallisch	65
Für Berührung vorgesehen, jedoch nicht dazu bestimmt, in der Hand gehalten zu werden	Metallisch	70
	Nicht metallisch	80
Im Normalbetrieb nicht berührt	Metallisch	80
	Nicht metallisch	90

## Thermische Berechnung

### ➔ Vorgehensweise

- Bestimmung der maximalen Temperatur im Inneren des Gehäuses unter Berücksichtigung des empfindlichsten Bauteils.
- Bestimmung der maximalen Innentemperatur im umgebenden Milieu (außerhalb des Schrankes).
- Bestimmung der Abmessungen des Gehäuses mit  $T_i$  (°C) = Innentemperatur  
 $T_a$  (°C) = Umgebungstemperatur  
 $H - B - T$  (mm) = Höhe - Breite - Tiefe

### ➔ Durch die Bauteile zugeführte Leistung

#### • SOCOMEC-Geräte

Siehe ausführliche Angaben zu den Nennstrom-Verlustleistungen (siehe Seite 564)

$$P_d = P_{nom} \times \left[ \frac{I_e}{I_{th}} \right]^2$$

$P_{nom}$  (W): Nennleistung

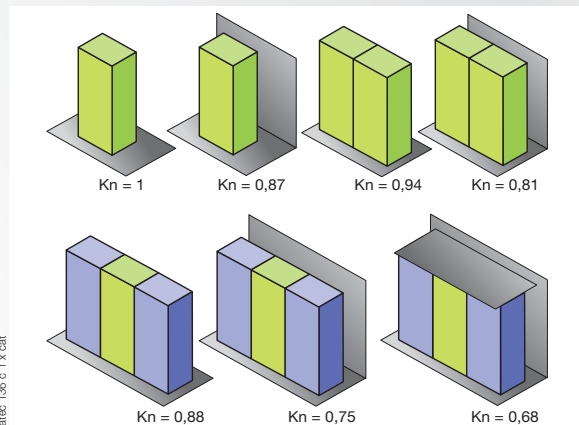
$P_d$  (W): Betriebsstrom-Verlustleistung

$I_e$  (A): Betriebsstrom

$I_{th}$  (A): Nennstrom

### ➔ Korrigierte Austauschfläche

- Den Korrekturfaktor  $Kn$  bestimmen (je nach Aufstellung)



- Korrigierte Fläche

$$S = Kn (1,8 \times H \times (L + P) + 1,4 \times L \times P)$$

### ➔ Leistungsbedarf für die Aufrechterhaltung der Temperatur im Gehäuse

$$P_n (W) = P_d - K \times S \times (T_i \max - T_a \max)$$

$K = 5,5 \text{ W/m}^2/\text{°C}$  für Stahlblechgehäuse, Farbanstrich

$K = 4 \text{ W/m}^2/\text{°C}$  für Polyestergehäuse

$K = 3,7 \text{ W/m}^2/\text{°C}$  für Edelstahlgehäuse

$K = 12 \text{ W/m}^2/\text{°C}$  für Aluminiumgehäuse

$P_n$  (W): Leistungsbedarf

### ➔ Auswahl der Art der Regelung

#### a) Belüftung

Es wird ein Lüfter ausgewählt, dessen Förderleistung unmittelbar über dem berechneten Wert liegt.

$$\text{Förderleistung (m}^3/\text{h)} = \frac{3,1 \times P_n}{T_i \max - T_a \max}$$

Bemerkung: Diese Lösung ist nur möglich wenn  $T_i \max - T_a \max > 5 \text{ °C}$ .

#### b) Wärmetauscher Luft/Luft

Es wird ein Wärmetauscher ausgewählt, dessen spezifische Leistung unmittelbar über dem berechneten Wert liegt.

$$\text{Spez. Leistung (W/°K)} = \frac{P_n}{T_i \max - T_a \max}$$

Bemerkung: Diese Lösung ist nur möglich wenn  $T_i \max - T_a \max > 5 \text{ °C}$ .

#### c) Klimagerät

Es wird ein Klimagerät ausgewählt, dessen Kühlleistung unmittelbar über der notwendigen Leistung ( $P_n$ ) liegt.

#### d) Heizwiderstand

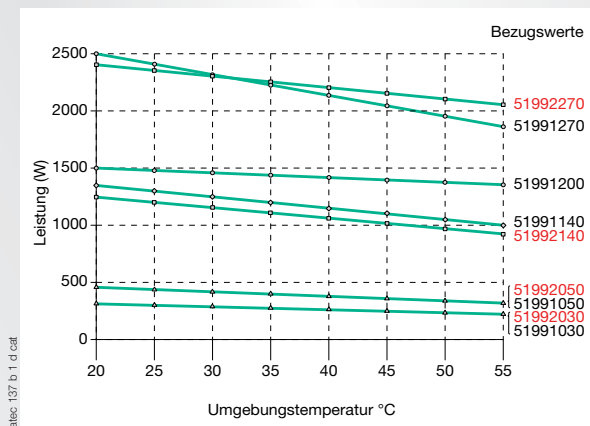
Es wird ein Heizwiderstand ausgewählt, dessen Leistung unmittelbar über dem berechneten Wert liegt.

$$P_c (W) = [(T_i \max - T_a \max) \times K \times S] - P_n$$

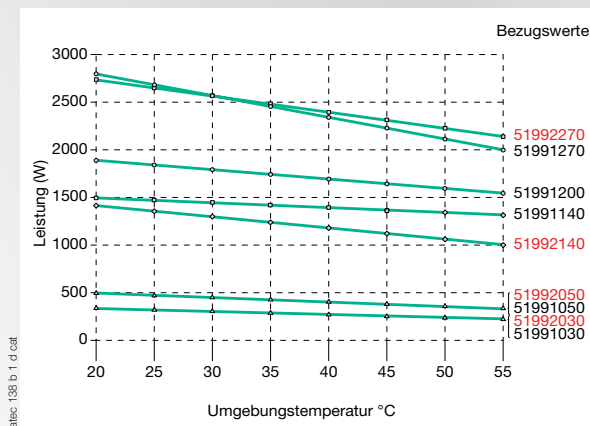
## Auswahl des Klimagerätes

Folgende Kennlinien bestimmen die Auswahl der Klimageräte unter Berücksichtigung der gewünschten Temperatur im Schrank, der Umgebungstemperatur und des Leistungsbedarfs (siehe Berechnung Seite 565).

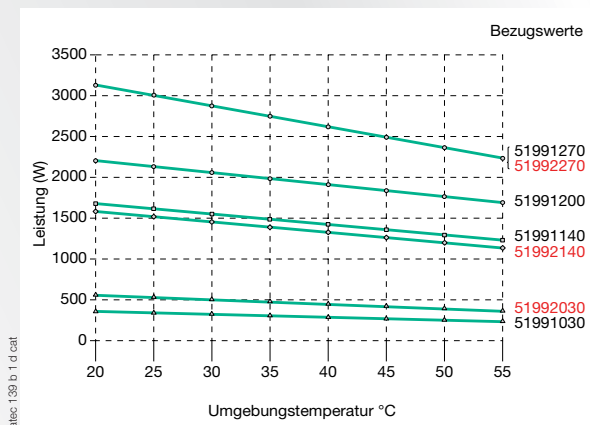
### ➤ Gewünschte Temperatur im Schrank = 25 °C



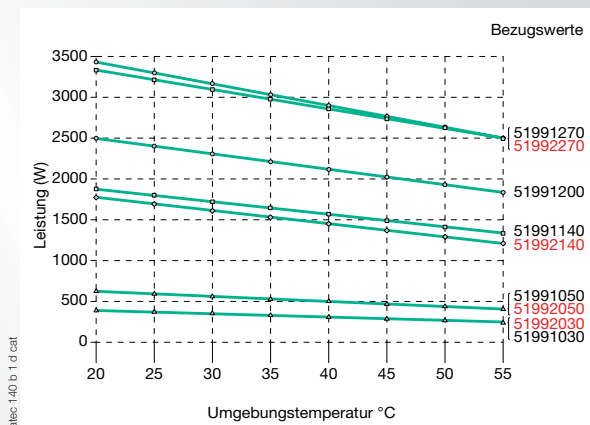
### ➤ Gewünschte Temperatur im Schrank = 30 °C



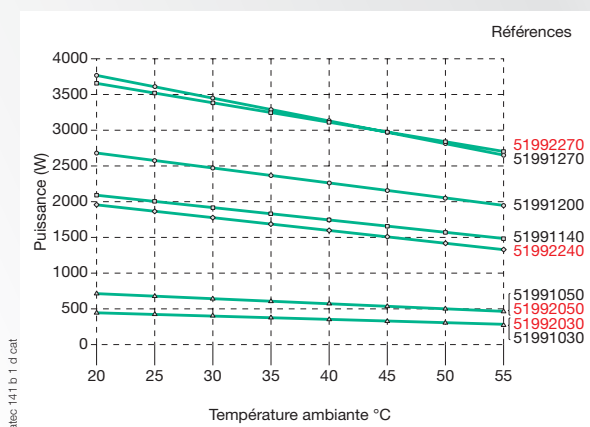
### ➤ Gewünschte Temperatur im Schrank = 35 °C



### ➤ Gewünschte Temperatur im Schrank = 40 °C



### ➤ Gewünschte Temperatur im Schrank = 45 °C



- Montage auf Dach
- Montage an Fassade

#### Beispiel

Max. Innentemperatur (Ti max) 25 °C  
 Max. Umgebungstemperatur (Ta max) 45 °C  
 Leistungsbedarf (Pn) 2000 W

## Wahl des Schienenmaterials

Tabelle A: Physikalische Konstanten von Kupfer und Aluminium.

	Kupfer	Aluminium
Normen	EN 1652/NFA 51-100	HN 63 J 60, CNET 3072.1, Qualität 6101T5
Typ	<b>ETP-H12 (EN 1652) Cu A1 (NFA 51-100)</b>	<b>Legierung Al Mg Si verzinkt 15 µm</b>
Dichte	8890 kg/m <sup>3</sup>	2700 kg/m <sup>3</sup>
Linearer Ausdehnungskoeffizient	<b>17 x 10<sup>-6</sup> pro °C (17 x 10<sup>-3</sup> mm/m)</b>	<b>23 x 10<sup>-6</sup> pro °C (23 x 10<sup>-3</sup> mm/m)</b>
Minimale Bruchfestigkeit	250 N/mm <sup>2</sup>	150 N/mm <sup>2</sup>
Spezifischer Widerstand bei 20 °C	<b>≤ 18 mW mm<sup>2</sup>/m</b>	<b>≤ 30 mW mm<sup>2</sup>/m</b>
Elastizitätsmodul	120000 N/mm <sup>2</sup>	67000 N/mm <sup>2</sup>

## Bestimmung des Kurzschlussstrom-Scheitelwerts I<sub>cc</sub> in Abhängigkeit vom Effektivwert I<sub>eff</sub>

Tabelle B: Nach EN 60439-1

Effektivwerte des Kurzschlussstroms	n
I ≤ 5 kA	1,5
<b>5 kA &lt; I ≤ 10 kA</b>	<b>1,7</b>
10 kA < I ≤ 20 kA	2
<b>20 kA &lt; I ≤ 50 kA</b>	<b>2,1</b>
50 kA < I	2,2

$$I_{cc} \text{ Scheitelwert} = n \times I_{cc} \text{ eff}$$

## Thermoeffekt des Kurzschlusses

Der Kurzschlussstrom bewirkt eine Aufheizung der Schienen. Die Endtemperatur der Schiene muss unter 160 °C liegen, damit der Schienenträger nicht beschädigt wird. Die thermische Belastung muss der folgenden Formel entsprechen:

$$(I_{cc})^2 \times t \leq K_E^2 S^2$$

I<sub>cc</sub>: effektiver Kurzschlussstrom in A.

t: Kurzschlussdauer (entspricht im Allgemeinen der Ausschaltzeit der Schutzeinrichtung).

SS: Querschnitt der Schiene in mm<sup>2</sup>.

K<sub>E</sub>: In der Tabelle C angegebener Koeffizient, abhängig von der Temperatur T<sub>f</sub> der Schiene im Normalbetrieb (vor dem Kurzschluss).

Tabelle C

T <sub>f</sub>	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
K <sub>E</sub>	89,2	84,7	80,1	75,4	70	65,5	60,2	54,6	48,5	41,7

## Elektrochemische Elemente

Zur Vermeidung einer übermäßigen Erhitzung durch elektrochemische Elemente (Korrosion), ist dafür zu sorgen, dass keine Leiter angeschlossen werden, deren elektrochemisches Potenzial über 300 mV liegt (siehe Tabelle D).

Tabelle D

	Silber	Kupfer	Alu	Zinn	Stahl	Messing	Nickel
Silber	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja
<b>Kupfer</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>	<b>Nein</b>	<b>Ja</b>	<b>Nein</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>
Alu	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein
<b>Zinn</b>	<b>Nein</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>	<b>Nein</b>
Stahl	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein
<b>Messing</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>	<b>Nein</b>	<b>Ja</b>	<b>Nein</b>	<b>Ja</b>	<b>Ja</b>
Nickel	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja

**Beispiel:** Eine Aluminiumschiene und eine Kupferschiene können nicht direkt verbunden werden. Es muss dann beispielsweise eine verzinkte Aluminiumschiene zwischengelegt werden:

- Alu/Zinn → JA
- Zinn/Kupfer → JA

# Statische unterbrechungsfreie Stromversorgung (Wechselrichter)

Aufgrund der zunehmenden Automatisierung der Anlagen ist es heutzutage erforderlich, die EDV und die industriellen Prozesse durch den Einsatz einer unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV), die auch als Wechselrichter bezeichnet wird, vor eventuellen Versorgungsausfällen zu schützen.

Ob es sich nun um einen Computer oder um irgendein mit einem Mikroprozessor ausgestattetes digitales Steuergerät handelt: Die meisten elektronischen Geräte reagieren empfindlich auf jede Spannungsstörung.

Diese Art von Geräten benötigt zur Gewährleistung einer stabilen und zuverlässigen Stromversorgung eine USV, damit Datenverluste, eine Beschädigung des Materials oder einfach nur ein kostenträchtiger und häufig mit Gefahren verbundener Verlust der Kontrolle über die industriellen Prozesse vermieden wird.

## Funktionsprinzip

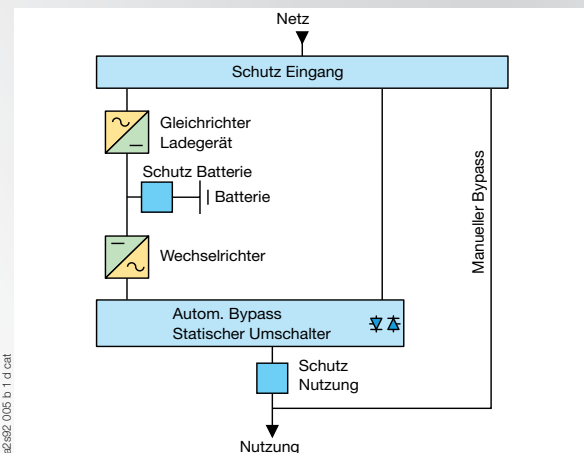
### ➤ Funktion

Eine USV hat zwei Hauptfunktionen, um den Schutz einer Anlage zu gewährleisten:

- die Steuerung des Wechselstromausgangs, damit eine perfekte Sinusspannung mit der erforderlichen Frequenz erreicht wird;
- den Ausgleich der Netzausfälle durch die in einer Batterie gespeicherte Energie.

Der Eingang einer USV wird an das Wechselstromnetz angeschlossen. Die Wechselspannung wird durch einen Gleichrichter in Gleichspannung umgewandelt. Diese Gleichspannung versorgt den Wechselrichter und lädt die Batterie.

Im Falle einer Unterbrechung der Versorgung wird die Batterie eingesetzt und sichert die Versorgung des Wechselrichters. Dieser wandelt die Gleichspannung in eine perfekte Wechselspannung um. Dieser Wechselspannungsausgang versorgt dann schließlich die angeschlossenen Verbraucher.



Übersicht USV.

### ➤ Technologie

Im Wechselrichter (Umwandler Gleichstrom/Wechselstrom) wird der Gleichstrom durch ein System elektronischer Schalter so umgewandelt, dass eine sinusförmige Wechselstromwelle entsteht.

Technologische Fortschritte in der Leistungselektronik haben es möglich gemacht, die Thyristoren durch bipolare Transistoren und schließlich durch IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistors) zu ersetzen und dadurch die Schaltfrequenz zu erhöhen.

Durch die kürzeren Impulse wird eine präzisere Rekonstruktion der Ausgangssinusschwingung und dadurch eine bessere Bewältigung des Problems der Versorgung nicht linearer Lasten ermöglicht.

### ➤ BY-PASS

Bei dem BY-PASS handelt es sich um einen statischen Schalter, der die Verbraucher automatisch direkt auf das Netz umlegt und der den Wechselrichter im Falle einer Überlast (z. B. beim Anfahren von Motoren) oder einer Störung des Wechselrichters abschaltet.

Die Rückkehr der Verbraucher zum Wechselrichter erfolgt automatisch, wenn sich alle Parameter wieder in den definierten Toleranzbereichen befinden. Der aus Thyristoren bestehende statische Schalter ermöglicht eine Umschaltung ohne Unterbrechung.

Die USV besitzen eine beträchtliche MTBF, denn eine Störung würde eine gleichzeitige Störung von USV und BY-PASS voraussetzen.



## Funktionsprinzip (Fortsetzung)

### ➤ Batterien

Am häufigsten werden geschlossene Bleibatterien verwendet. Diese Art von Batterien kann in demselben Raum wie die USV untergebracht werden. Eine Nachfüllung des Elektrolyts ist nicht erforderlich und die Batterie kann auf Racks oder in Schränken eingebaut werden.

Eine Alternative ist die offene Bleibatterie. Sie muss jedoch an Orten untergebracht werden, an denen ein Zugang zum regelmäßigen Nachfüllen des Elektrolyts (einmal jährlich) möglich ist. Darüber hinaus ist für den Einbau ein normgerechter Standort (Belüftung...) erforderlich.

Nickel-Cadmium-Batterien sind teurer, aber wegen ihrer langen Lebensdauer und ihrer Zuverlässigkeit beliebt. Sie werden im Allgemeinen für Anwendungen und in Umgebungen verwendet, wo die Anforderungen besonders hoch sind. Eingebaut werden können sie auf Racks oder in Schränken.

Die Größe der Batterie hängt von der gewünschten Überbrückungszeit ab, die zwischen 10 und 30 Minuten beträgt. Manche Batterien haben eine wesentlich höhere Überbrückungszeit, die bis zu mehrere Stunden dauern kann. In diesem Fall ist der Gleichrichter entsprechend zu bemessen.

Die Auswahl der Überbrückungszeit einer Batterie hängt grundsätzlich von der Zeit ab, die das Notstromaggregat für seinen Anlauf benötigt (wobei auch mehrere möglicherweise nicht geglückte Anlaufversuche zu berücksichtigen sind).

Wenn kein Notstromaggregat vorhanden ist, richtet sich die Überbrückungszeit der Batterien nach der vorher bestimmten maximalen Unterbrechungszeit oder nach der Zeit, die dafür benötigt wird, die Anlagen ordnungsgemäß herunterzufahren.

Die Spezifikationen einer USV richten sich nach ihrer Leistung (z. B. 20 kVA oder 800 kVA), nach der erforderlichen Überbrückungszeit der Batterie (z. B. 15 Minuten) und nach der Beschaffenheit des einphasigen oder dreiphasigen Ein- oder Ausgangs. Kriterien für die Qualität einer USV:

- ihre Leistungsfähigkeit zur Versorgung nicht linearer Lasten (die meisten modernen elektronischen Anlagen weisen beträchtliche Stromspitzen auf);
- ihre Eigenschaften in Zusammenhang mit elektrischer «Verunreinigung»:
  - Oberschwingungen des Netzes, die einen Gleichrichter mit schwacher Rückkopplung erforderlich machen;
  - elektromagnetische Emissionen;
- ihr Vermögen, Störungen aus dem Netz zu filtern, die durch nicht lineare Lasten verursacht werden;
- ihr hoher Wirkungsgrad: Er hängt von der Technologie der Leistungselektronik ab, die angewendet wird (Leistungsverluste sind teuer). Der beste Wirkungsgrad wird bei der Verwendung der IGBT-Technologie mit digitaler Steuerung erreicht.

### ➤ Begrenzung der Oberschwingungen

Die USV verwenden in den meisten Fällen einen Graetz-Gleichrichter zur Umwandlung des Wechselstromnetzes am Eingang in ein Gleichstromnetz. Dieser Gleichrichter setzt sich aus zwei Thyristoren je Phase zusammen, so dass insgesamt sechs Thyristoren bei einem dreiphasigen Eingang, gefolgt von einem Filter, vorhanden sind.

Ein klassischer 6-pulsiger Gleichrichter (jeder Impuls entspricht einem Thyristor) erzeugt einen Oberschwingungsgehalt in der Größenordnung von 30 % des Stroms in dem von ihm versorgten Netz.

Bestimmte Konfigurationen von Niederspannungsnetzen, stellen – insbesondere wenn ein Stromaggregat vorhanden ist – besondere Anforderungen an das Niveau der Oberschwingungsrückkopplung am Eingang des Gleichrichters.

Um diesen Anforderungen zu genügen, besitzen manche USV eine Ausführung mit einem rückkopplungsarmen Gleichrichter, der eine sehr geringe Oberschwingungsrückkopplung aufweist. Das leistungsstarke Gerät bewirkt im Strom nur einen Oberschwingungsanteil von 5 %. Dieses Leistungsvermögen ist unabhängig von eventuellen Veränderungen der Netzeigenschaften hinsichtlich Frequenz und Impedanz sowie von der Verwendungshäufigkeit der USV.

Die von dem rückkopplungsarmen Gleichrichter verwendete Technologie macht ihn kompatibel mit den im Netz vorhandenen Filtersystemen oder den Systemen zur Kompensation des Leistungsfaktors (Kompensationskondensatorbatterie).

Aus diesem Grund ist die Verwendung eines rückkopplungsarmen Gleichrichters besonders dann zu empfehlen, wenn in Ihrem Netz Stromaggregate vorhanden sind.

Eine andere Lösung besteht in der Verwendung eines 12-pulsigen Zweiweg-Gleichrichters. Dieser Gleichrichter besteht aus zwei parallelen Thyristorbrücken (insgesamt 12 Thyristoren) und einem Eingangstransformator, der eine Phasenverschiebung der beiden Brücken gegeneinander um 30° bewirkt und so die Stromverzerrung um mindestens 10 % verringert.

Die 12-, 18- oder sogar 24-pulsigen Gleichrichter (3 % Verzerrung) können im Falle zweier oder mehrerer paralleler USV einfach eingebaut werden, indem am Eingang einer jeden 6-pulsigen USV-Einheit ein Phasenschiebertransformator verwendet wird.

Häufig wird ein passiver Filter als kostengünstigere Alternative vorgeschlagen. Er funktioniert nach dem Resonanzprinzip mit einer Induktanz und einem Kondensator, die so konzipiert sind, dass sie theoretisch die Oberschwingungen beseitigen können. Tests zeigen jedoch leider, dass die wechselnde und unvorhersehbare Impedanz des Netzes die Wirksamkeit des Filters beträchtlich reduziert.

Schwerwiegender ist, dass die kleinste Frequenzveränderung, die sich oft bei Verwendung eines Notstromaggregats ergibt, dazu führt, die Oberschwingungen zu verstärken, statt sie zu verringern.

Beim Einsatz eines Notstromaggregats ist die Begrenzung von harmonischen Oberschwingungen besonders wichtig.

## Funktionsprinzip (Fortsetzung)

### ↪ Nichtlineare Lasten

Die Fähigkeit einer USV zur Versorgung nichtlinearer Lasten hängt von der im Wechselrichter verwendeten Technologie ab. Die meisten modernen Computer und elektrischen Geräte verwenden Schaltnetzteile mit Dioden, die nur während eines kurzen Zeitabschnitts Strom entnehmen. Daraus können sich für den Strom Scheitelfaktoren von über 3 ergeben. Die beste Anpassung einer USV an die Versorgung nichtlinearer Lasten wird mit der in den SOCOMECS-UPS-Geräten mit digitaler Steuerung verwendeten IGBT-Technologie erreicht.

Es ist erforderlich, den zu versorgenden Scheitelfaktor zu der Verzerrungsspannung hinzuzufügen. Die entsprechende maximal zulässige Verzerrungsspannung (manche USV können Stromspitzen liefern, jedoch um den Preis einer verzerrten Spannung, die bei vielen Lasten nicht zulässig ist).

Beispiel: Scheitelfaktor von 3,0 mit weniger als 3 % Verzerrung bei Last.

### ↪ Verringerung elektromagnetischer Störungen

Für die meisten elektrischen Anlagen, darunter auch die USV, werden die Normen über elektromagnetische Störungen immer strenger. Die Störungen können eingangs- oder ausgangsseitig über elektrische Kabel erfolgen. Zur Abschwächung dieser Störungen stehen spezielle Filter zur Verfügung.

Die elektromagnetischen Störungen können durch Strahlung auch andere elektronische Anlagen beeinflussen.

Die mechanische Struktur der USV vom Typ SOCOMECS UPS basiert auf dem Prinzip des Faradayschen Käfigs und jeder Zugang wird gefiltert. Dadurch entspricht die gesamte Einrichtung den zivilen und militärischen EMV-Normen.

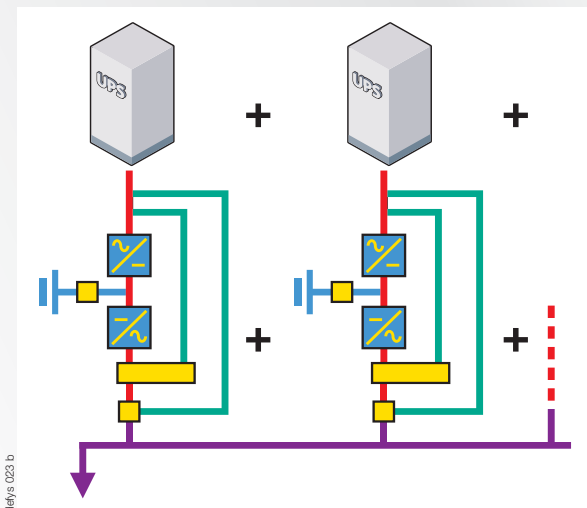
### ↪ Parallel geschaltete USV

Durch die Parallelschaltung von zwei oder mehreren USV kann die gelieferte Leistung erhöht oder die Redundanz gewährleistet werden. Für die Parallelschaltung der USV stehen unterschiedliche Architekturen zur Verfügung.

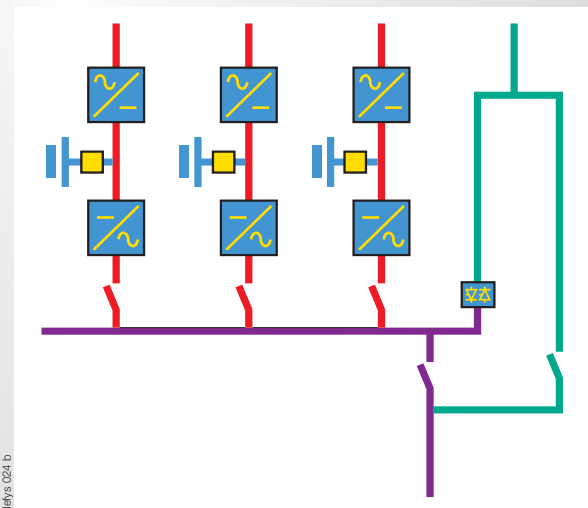
Eine Möglichkeit besteht in der Modulbauweise, bei der jede USV mit ihrem eigenen BY-PASS ausgestattet ist. Durch die Möglichkeit, zu einem späteren Zeitpunkt weitere Module hinzuzufügen und so die Leistungsfähigkeit zu erhöhen, ohne den zentralen BY-PASS neu zu dimensionieren, ergibt sich dabei ein großes Maß an Flexibilität.

Eine weitere Möglichkeit ist die Parallelschaltung in einem Schrank mit zentralem BY-PASS, bei der ein statischer Umschalter verwendet wird, der für die Ausgangsleistung des Systems ausgelegt ist und eine hohe Kurzschlusskapazität besitzt.

Diese Anordnung ist dazu geeignet, die Leistung zu erweitern und eine Redundanz des Systems zu gewährleisten.



Parallel geschaltete USV in Modularbauweise.



Parallel geschaltete USV mit zentralem BY-PASS.

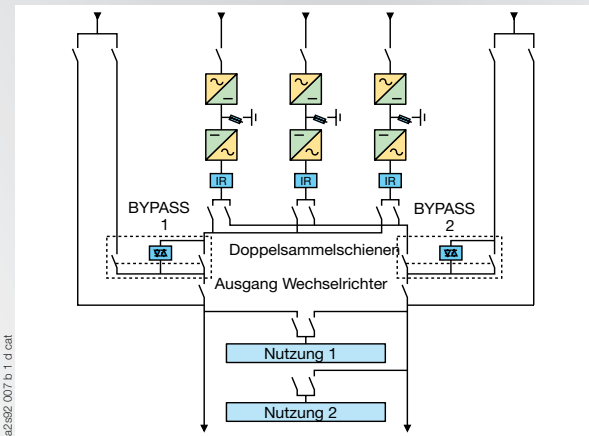
## Funktionsprinzip (Fortsetzung)

### ⇨ Doppeltes Sammelschienensystem am Ausgang

Die meisten großen Systeme sind mit zwei oder mehreren parallel geschalteten USV mit zwei oder mehreren Lasten ausgestattet. Eine andere Möglichkeit, die sich als sehr sinnvoll herausstellen kann, ist das doppelte Sammelschienensystem am Ausgang mit einem oder sogar zwei BY-PASS-Schaltungen.

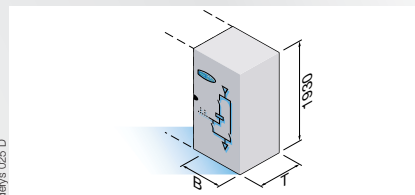
Hierdurch ist eine größere Flexibilität gewährleistet:

- um jede beliebige USV an jede beliebige Last anzuschließen;
- um eine neue Anlage an eine USV anzuschließen und dabei eine völlige Unabhängigkeit gegenüber der ursprünglichen Last zu wahren, die weiter von der anderen USV versorgt wird (so werden eventuelle Kurzschlüsse im Bereich der neuen Anlage vermieden, die sich auf die bestehende Anlage auswirken würden);
- um den Vorteil doppelter Verteilerstromkreise zu nutzen und so die Reparaturzeit MTTR (MeanTime To Repair) im Falle eines Kurzschlusses beträchtlich zu verringern.



Redundanz durch doppeltes Sammelschienensystem.

### ⇨ Mehrfach-BY-PASS



Parallel geschaltete USV in Modularbauweise.

Für eine größere Anpassungsfähigkeit des Betriebs ermöglicht die Exklusivlösung von SOCOMECS UPS die funktionelle Trennung der Anwendungseinheiten, die selektive Abschaltung zugunsten der wichtigsten Verbraucher, die selektive Wartung, die progressive und stufenweise Erweiterung sowie die Auswahl der Größe eines jeden BY-PASS.

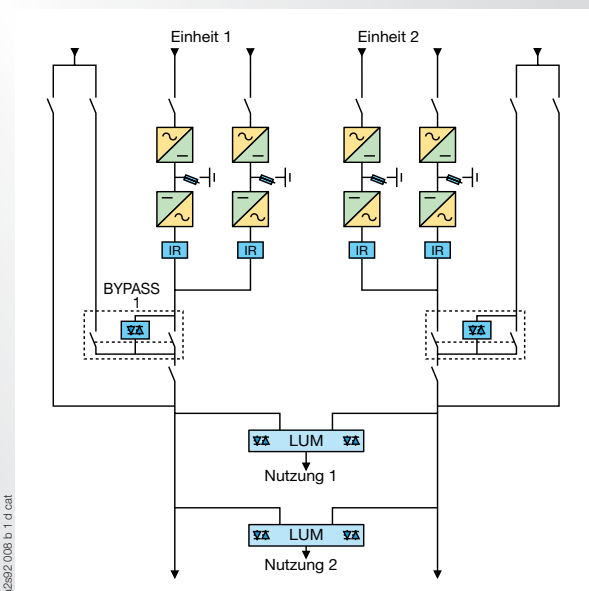
### ⇨ Lastübertragungsmodul

In einigen sensiblen elektronischen Anlagen, wie z. B. Sicherheitssystemen eines industriellen Prozesses angeschlossenen Anlagen, ist es erforderlich, vollkommen redundante USV-Quellen vorzusehen. Dies bedeutet also zwei getrennte USV, die jede mit einem eigenen BY-PASS und zwei getrennten Verteilersystemen ausgestattet sind.

Zu diesem Zweck hat SOCOMECS UPS ein intelligentes Lastübertragungsmodul entwickelt, das in der Lage ist, einen Versorgungsfehler zu entdecken und die Last dann automatisch unter Verwendung eines statischen Umschalters ohne Unterbrechung von einer Quelle auf die andere zu übertragen. Selbst bei einem Fehler der zweiten Quelle (Kurzschluss, Feuer...) ist dabei eine völlige Redundanz gewährleistet.

Zahlreiche sensible elektronische Anwendungen, von denen jede mit einem eigenen Lastübertragungsmodul ausgestattet ist, können mit demselben doppelten redundanten Verteilersystem versorgt werden.

Die Lastübertragungsmodule werden mit großem Erfolg sowohl im Dienstleistungssektor (Banken, Versicherungen...) als auch in der Industrie (Wiederaufbereitung von radioaktiven Abfällen, Schalträume von Raffinerien, Telekommunikation per Satellit) eingesetzt.



Völlige Redundanz mit Lastübertragungsmodulen.

## Kommunikation

### ↪ Besondere Ausführungen

Die USV finden in einer großen Zahl industrieller Umgebungen Verwendung, von denen einige besonders hohe Anforderungen stellen. Hier nur einige Beispiele für Lösungen von SOCOMEC UPS:

- spezielle erdbebenfeste Verstärkungen in Kernkraftwerken;
- explosionsfeste Schränke für USV auf Schiffen der Marine;
- staub- und flüssigkeitsdichte Maschinen für besondere Industriestandorte;
- Shelter-Einheiten, geeignet für den Lufttransport;
- Feuchtigkeitsgeschützte USV für Bohrinseln.

### ↪ Fernmanagement

#### Komplette Kommunikationslösungen

USV werden heutzutage in die Kette industrieller Ausrüstung integriert oder als echte EDV-technische Peripheriegeräte betrachtet. In diesem Zusammenhang müssen die USV ihren Status und ihre elektrischen Daten weitervermitteln. Dabei werden unterschiedliche Schnittstellen und Programme verwendet.

### ↪ Schaltschrank für das Fernmanagement

#### Fernanzeige und -bedienung in Anwendernähe

Ein mit Bildschirm und Tastatur ausgestatteter Schaltschrank im Technikraum oder in der Nähe des EDV-Systems ermöglicht den Zugang zur Instrumententafel der USV.

### ↪ Meldekontakte

#### Statusfernmeldung und Verwaltung externer Informationen

Die USV bieten den Bedienern potenzialfreie Kontakte, die auf der Grundlage aller in der Anlage verfügbaren Informationen konfiguriert werden können. Für den Betrieb mit einer Generatorgruppe (Desynchronisation), für den Ladestopp der Batterien, die Notabschaltung und andere konfigurierbare Möglichkeiten stehen Eingänge für externe Informationen zur Verfügung.

### ↪ Serielle Schnittstelle

#### Übermittlung aller Parameter und Befehle

Die serielle Schnittstelle übernimmt die Kommunikation mit den zentralen technischen Verwaltungssystemen. Alle Informationen aus der Datenbank der USV, ihr jeweiliger Status, Messungen, Alarmer sowie Befehle werden über eine serielle Schnittstelle vom Typ RS232, RS422 oder RS485 mit dem Protokoll JBUS/MODBUS übertragen.

### ↪ Kommunikation mit den Servern

#### Automatisches Anhalten der Betriebssysteme

Die mit der Software UPS VISION arbeitenden USV kommunizieren mit der EDV. Bei einem Netzausfall werden die Anwender über den Batteriebetrieb informiert. Vor dem Ablauf der möglichen Überbrückungszeit stoppt UPS VISION selbständig die Betriebssysteme. Mit dem SNMP-Agenten von UPS VISION können die USV wie jedes andere Peripheriegerät eines EDV-Netzes überwacht werden.

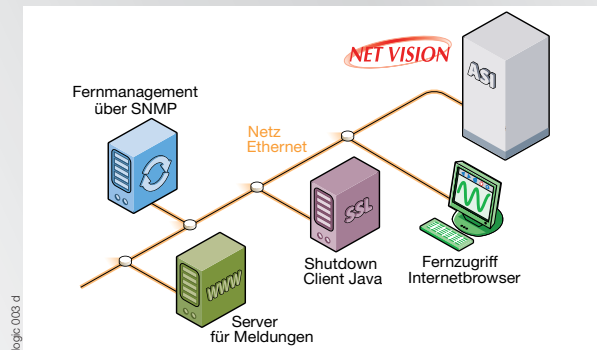


### Verbindung zu Kommunikationsnetzen

#### Direkter ETHERNET-Anschluss

Durch NET VISION kann die USV direkt als ein von einer SNMP-Verwaltungsstation überwachtes intelligentes Peripheriegerät mit einem ETHERNET verbunden werden. Dadurch wird der Zugang zu Informationen in Form von HTML-Seiten mit einem durch ein JAVA-Applet gesteuerten Blockschaltbild ermöglicht.

Mit einem Web-Browser kann der Netzadministrator die USV im INTRANET konfigurieren, überwachen und verwalten. NET VISION ermöglicht ebenfalls die automatische Abschaltung (Shutdown) der Server-Betriebssysteme.



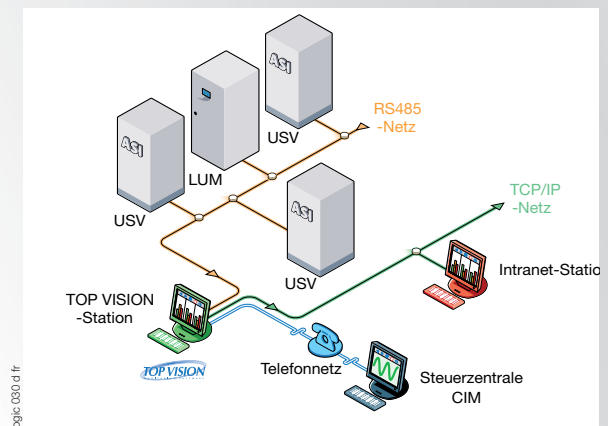
#### Überwachung über einen NT-Server

##### Sämtliche Daten unter Windows NT

Die Software TOP VISION ermöglicht die Überwachung von einer oder mehrerer USV, aber auch der anderen installierten Geräte vom Typ SOCOMECS UPS. Eine allgemeine Übersicht bietet den Zugang zu den Informationen über Status, Alarme, Messungen, Leistungskurven sowie zur Ereignishistorie. Sie ermöglicht auch die Steuerung (durch Zugangscode gesichert).

Integriert ist außerdem ein WEB-Server, durch den der Fernzugriff auf alle am INTRANET angeschlossenen Stationen möglich ist.

TOP VISION zentralisiert die Informationen aller Anlagen und übermittelt sie über das Telefonnetz an die Überwachungszentrale SOCOMECS UPS.





# Socomec ganz in Ihrer Nähe

## IN DEUTSCHLAND

SOCOMECH GmbH  
Am Hardtwald 11  
D - 76275 Ettlingen  
Tel. 07243 65 29 2 0 - Fax 07243 65 29 2 13  
info@socomec.com

## IN ÖSTERREICH

Vertriebskontakt  
Tel. 0512 304 161 0 - Fax 0512 304 161 13  
info@socomec.com

## IN EUROPA

### BELGIEN

SOCOMECH BELGIE  
B - 1190 Brussel  
Tel. +32 (0)2 340 02 30 - Fax +32 (0)2 346 28 99  
be.scp.order@socomec.com

### FRANKREICH

SOCOMECH  
F - 67235 Benfeld Cedex  
Tel. +33 (0)3 88 57 41 41 - Fax +33 (0)3 88 74 08 00  
scp.vex@socomec.com

### GROSSBRITANNIEN

SOCOMECH Ltd  
Hitchin Hertfordshire SG4 0TY  
Tel. +44 (0)1462 440033 - Fax +44 (0)1462 431143  
sales.uk.scp@socomec.com

### ITALIEN

SOCOMECH Elettrotecnica s.r.l.  
I - 20098 San Giuliano Milanese (MI)  
Tel. +39 02 98 498 21 - Fax +39 02 98 243 310  
it.scp.info@socomec.com

### NIEDERLANDE

SOCOMECH B.V.  
NL - 3992 De Houten  
Tel. +31 (0)30 63 71 504 - Fax +31 (0)30 63 72 166  
info@socomec.nl

### SPANIEN

SOCOMECH ELECTRO, S.L.  
E - 08310 Argentona (Barcelona)  
Tel. +34 93 741 60 67 - Fax. +34 93 757 49 52  
es.scp.info@socomec.com

## IN ASIEN

### NORDOSTASIEN

SOCOMECH CHINA  
CN - 20030 P.R.C Shanghai  
Tel. +86 21 5298 9555 - Fax +86 21 6228 3468  
socomec@socomec-shanghai.com

### SÜDOSTASIEN & PAZIFIK

SOCOMECH SWITCHING AND PROTECTION  
UBI TECHPARK - Singapore  
Tel. +65 65 07 94 90 - Fax +65 65 47 86 93  
sg.scp.socomec@socomec.com

### SÜDASIEN

SOCOMECH-HPL PVT  
Gurgaon, Haryana - Indien  
Tel. + 91 124 2210970 - 74 / Fax + 91 124 2210976  
in.scp.socomec-hpl@socomec.com

## IM MITTLEREN OSTEN

### VEREINIGTE ARABISCHE EMIRATE

SOCOMECH Middle East  
Dubai, U.A.E.  
Tel. +971 (0) 4 29 98 441 - Fax +971 (0)4 29 98 449  
sales.ae.scp@socomec.com

## IN NORDAMERIKA

### USA, KANADA & MEXIKO

SOCOMECH Inc  
Cambridge, MA 02142 USA  
Tel. +1 617 245 0447 - Fax +1 617 245 0437  
us.scp.sales@socomec.com

## UNTERNEHMENSSTZ

### GRUPPE SOCOMECH

Geschäftskapital 11 313 400 €  
R.C.S. Strasbourg B 548 500 149  
1, rue de Westhouse - B.P. 60010  
F-67235 Benfeld Cedex - FRANKREICH

## VERTRIEBSLEITUNG UND EXPORT

### SOCOMECH

1, rue de Westhouse - B.P. 60010  
F - 67235 Benfeld Cedex - FRANKREICH  
Tel. +33 (0)3 88 57 41 41 - Fax +33 (0)3 88 74 08 00  
scp.vex@socomec.com

Kein rechtsverbindliches Dokument. © 2010, Socomec SA. Alle Rechte vorbehalten.