

Tabelle I-5: Auswertung des Vergleichs

Kriterium	TT	TN-C	TN-S	IT
Personenschutz	***	***	***	***
Brandschutz	***	*	**	***
Anlagenschutz (Maschinen)	***	*	*	***
Verfügbarkeit	**	**	**	****
Elektromagnetische Kompatibilität	**	*	**	***
Instandhaltung	**	****	****	***
Installation	*	**	**	***
Gesamtergebnis	* 16	* 14	* 16	* 22

\* Schwach      \*\* Durchschnitt      \*\*\* Gut      \*\*\*\* Hervorragend

Das IT-System überzeugt mit seiner Vielzahl an Vorteilen.

## 1.4 Schutzeinrichtungen

### 1.4.1 Zulässige Schutzeinrichtungen für den Schutz gegen elektrischen Schlag und Fehlbedienung

Die folgenden Überstromschutzeinrichtungen dürfen bzw. müssen in den beschriebenen TN-, TT- und IT-Systemen zur Abschaltung angewendet werden:

- ▶ Leitungsschutzsicherungen (Schmelzsicherungen)
- ▶ Leitungsschutzschalter
- ▶ Leistungsschalter mit elektromagnetischem Auslöser
- ▶ Teilbereichssicherungen.

Darüber hinaus dürfen bzw. müssen Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit einem Bemessungsdifferenzstrom von maximal 30 mA als zusätzlicher Schutz genutzt werden. Jedoch dürfen diese Schutzeinrichtungen nicht als alleiniges Mittel des Personenschutzes gegen elektrischen Schlag angewendet werden.

Der Aufbau und die Funktionsweise der Schutzeinrichtungen werden im folgenden Abschnitt erläutert.

### 1.4.2 Sachwertschutz gegen Überströme

Der Sachwertschutz umfasst den Schutz gegen

- ▶ Überströme (Überlast- oder Kurzschlussströme),
- ▶ Überspannungen,
- ▶ Leckströme,
- ▶ Funken und Lichtbögen sowie
- ▶ Unterspannungen.

Im Folgenden wird der Schutz gegen Überströme dargestellt.

### Schutz gegen Überströme

Der Schutz gegen Überströme wird unterteilt in den sogenannten Überlast- und Kurzschlusschutz.

#### Überlastschutz

Die Problematik des Überlastschutzes besteht darin, dass die Ströme in diesem Fall unter Umständen die zulässigen Bemessungsströme nur wenig übersteigen und daher sich nur gering vom zulässigen Betriebsfall unterscheiden. Werden diese erhöhten Ströme jedoch nach einer gewissen Zeit nicht unterbrochen, können unzulässig hohe Temperaturen und damit z. B. Schäden an der Isolierung von Betriebsmitteln entstehen.

Die Auslegung des Überlastschutzes erfolgt nach der sogenannten Nennstrom- und Auslöseregel. Die Nennstromregel legt den Nenn-/Bemessungsstrom der Schutzeinrichtung fest:

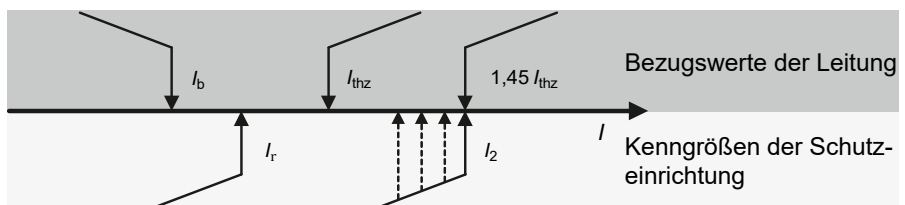
$$I_b \leq I_r \leq I_{thz} \quad (5)$$

Für die Auslöseregel gilt:

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_{thz} \quad (6)$$

Dabei sind  $I_b$  der Betriebsstrom des Stromkreises,  $I_r$  der Bemessungsstrom der Schutzeinrichtung,  $I_{thz}$  die Strombelastbarkeit des Kabels bzw. der Leitung (siehe DIN VDE 0100-430 [9] oder DIN VDE 0298-4 [10]) und  $I_2$  der Auslösestrom der Schutzeinrichtung. Die sich hierdurch ergebenden Verhältnisse bei der Koordination des Überlastschutzes sind in **Bild I-11** dargestellt.

In der DIN VDE 0298-4 [10] wird in Abhängigkeit von Leitermaterial, Leiterquerschnitt, Isolationsmaterial und Verlegungsart der thermische Bemessungskurzzeitstrom  $I_{thr}$  angegeben. Dieser Bemessungskurzzeitstrom gilt für eine Kurzschlussdauer von  $t_{kr} = 1$  s. Die Berechnung der in einer konkreten Anlage zulässigen



**Bild I-11:** Koordination der Überstromschutzeinrichtung beim Überlastschutz

Kurzschlussbelastung  $I_{thz}$  in Abhängigkeit von der tatsächlichen Kurzschlussdauer  $t_k$  erfolgt mit der folgenden Beziehung:

$$I_{thz} = I_{thr} \cdot \sqrt{\frac{t_{kr}}{t_k}} \quad (7)$$

Der Auslösestrom  $I_2$  der Schutzeinrichtung hängt vom Typ der Schutzeinrichtung ab. Für Leitungsschutzschalter der Charakteristik B, C und D (siehe Tabelle I-10) und für -Sicherungen gilt  $I_2 \leq 1,45 \cdot I_r$ . Für Leistungsschalter kann mit einem Auslösestrom von  $I_2 \leq 1,35 \cdot I_r$  gerechnet werden. Für einstellbare Schutzeinrichtungen entspricht der Auslösestrom dem Bemessungsstrom der Schutzeinrichtung.

### Kurzschlusschutz

Beim Kurzschlusschutz müssen die Schutzeinrichtungen den Stromkreis unterbrechen, bevor die Kurzschlussströme Schäden an Isolierung, Anschluss- und Verbindungsstellen oder anderen Teilen durch Erwärmung oder mechanische Wirkung anrichten können. Es soll eine möglichst schnelle Abschaltung des Kurzschlussstromes erreicht werden.

Dabei müssen folgende Bedingungen erfüllt werden:

- ▶ Der maximale Kurzschlussstrom darf das Ausschaltvermögen der Schutzeinrichtung nicht übersteigen.
- ▶ Der Kurzschlusschutz muss immer am Anfang eines Stromkreises installiert werden und darf maximal um 3 m versetzt werden.
- ▶ Die maximal zulässige Ausschaltzeit  $t_k$  (Zeit bis zur Erwärmung des Leiters auf zulässige Kurzschlussstemperatur) für das Ausschalten des Stromkreises bei maximalem Kurzschlussstrom darf nicht überschritten werden.

Mit der folgenden Gleichung kann für einen gegebenen Leiterquerschnitt und Kurzschlussstrom die zulässige Kurzschlussdauer bestimmt werden:

$$x = \left( \frac{A \cdot k}{I_a} \right)^2 \quad (8)$$

Diese Gleichung darf nur bis zu einer Abschaltzeit von maximal 5 s angewendet werden. In der Gleichung ist A der Leiterquerschnitt in  $\text{mm}^2$ ,  $I_a$  entspricht dem Effektivwert des Kurzschlussstroms, der durch die Schutzeinrichtung abgeschaltet werden muss, und k ist ein Materialkoeffizient, der von Leiter- und Isolationsmaterial abhängt. Typische Werte von k sind in **Tabelle I-6** angegeben.

**Tabelle I-6:** Materialkoeffizient zur Berechnung der maximalen Kurzschlussdauer

Isolations- und Leitermaterial	Materialkoeffizient k in $\frac{A \cdot \sqrt{s}}{\text{mm}^2}$
PVC-isolierter Cu-Leiter	115
PVC-isolierter Al-Leiter	76
gummiisolierter Cu-Leiter	141

## 1.4.3 Schutzeinrichtungen

### Leitungsschutzsicherungen (Schmelzsicherungen)

In Niederspannungsnetzen werden für den Personen- und Sachwertschutz häufig Niederspannungssicherungen eingesetzt. Der Aufbau und die Auswahl der Sicherungen ist in DIN CLC/TR 60269-5 [11] detailliert dargestellt.

Grundsätzlich wird zwischen Ganzbereichs- und Teilbereichssicherungen unterschieden. Die Teilbereichssicherungen oder Backup-Sicherungen sind speziell für die Abschaltungen von Kurzschlussströmen konstruiert. Ganzbereichssicherungen können sowohl für die Abschaltung von Kurzschluss- als auch Überlastströmen eingesetzt werden.

Für die Auswahl der Sicherung sind der Typ des zu schützenden Betriebsmittels und die Art des Versorgungssystems, welches unterbrochen werden soll, maßgebend.

**Tabelle I-7** enthält Beispiele für Anwendungsbereiche von Sicherungen und deren Typbezeichnungen.

**Tabelle I-7:** Typbezeichnung von Sicherungen und Anwendungsbereiche

Typ	Anwendung (Kennlinie)	Ausschaltbereich
gL	Kabel- und Leitungen	Ganzbereich
gG	Allgemeine Anwendung	Ganzbereich
gM	Schutz von Motorstromkreisen	Ganzbereich
aM	Kurzschlusschutz von Motorstromkreisen	Teilbereich (Backup)
gR, gS	Schutz von Halbleiterelementen und Leitungen	Ganzbereich
aR	Schutz von Halbleiterelementen	Teilbereich (Backup)

Für den Leitungsschutz wird häufig der Sicherungstyp gG verwendet.

Es gibt verschiedene Bauformen von Niederspannungssicherungen. Sicherungen, die von Laien gewechselt werden dürfen, sind zum Beispiel die sogenannten DII-Sicherungen. Diese werden in DIN VDE 0636-3 [12] dargestellt.

Die NH-Sicherungen (siehe DIN VDE 0636-21 [13]) dürfen nur durch Elektrofachkräfte gehandhabt werden.

In **Bild I-12** sind sowohl eine Sicherung des NH- als auch des DII-Systems dargestellt. Bei der NH-Sicherung handelt es sich um den Typ gL/gG, der für allgemeine Anwendungen eingesetzt werden kann. Die Sicherung des DII-Systems ist vom Typ gR, also eine Ganzbereichssicherung für den Schutz von Halbleiterelementen.

Die Auslösezeiten von Sicherungen werden in sogenannten Schmelzzeit-Kennlinien dargestellt. Die tatsächliche Auslösezeit von Sicherungseinsätzen hat eine große Streuung und hängt von vielen Faktoren, wie z. B. der Vorbelastung und der Um-

**Bild I-12:** Niederspannungssicherungen  
a) NH-System, b) DII-System.



gebungstemperatur ab. Bei der Auswahl von Sicherungen sind die Hinweise in DIN CLC/TR 60269-5 [11] zu beachten.

Die Selektivität zwischen Sicherungen wird für Auslösezeiten von  $t_{\text{aus}} \geq 0,1 \text{ s}$  basierend auf den Zeit-Strom-Kennlinien nachgewiesen. Hierbei ist die Streuung der Auslösezeiten von Sicherungen zu beachten. Für Auslösezeiten von  $t_{\text{aus}} < 0,1 \text{ s}$  wird die Selektivität mit Hilfe der Schmelz- und Ausschalt- $I^2t$ -Werte überprüft. Diese werden von den Herstellern der Sicherungen angegeben.

Vereinfacht kann davon ausgegangen werden, dass Sicherungen, die die Norm DIN CLC/TR 60269-5 [11] erfüllen und vom gleichen Typ sind, ab einer Bemessungsstromstärke  $I_n \geq 16 \text{ A}$  die Anforderung an die volle Selektivität erfüllen, wenn das Verhältnis der Bemessungsstromstärken  $1,6 : 1$  oder größer ist.

### Leitungsschutzschalter

Leitungsschutzschalter können für den Überlast- und Personenschutz eingesetzt werden. Sie verfügen immer über zwei getrennte Auslöser. Zum einen ist dies eine elektromagnetisch betätigte Auslösung für den Kurzschlusschutz, die innerhalb weniger 10 ms die Abschaltung herbeiführt. Zum anderen wird der Überlastschutz mit Hilfe -eines Thermo-Bimetall-Auslösers realisiert. Je nach Anwendung stehen die Auslösecharakteristiken B, C oder D zur Verfügung (siehe DIN EN 60898-1 [14], DIN EN 60898-2 [15]). Die Bereiche der sogenannten Sofortauslösung für die verschiedenen Typen von Leitungsschutzschaltern sind in **Tabelle I-8** zusammengefasst.

Die wesentlichen Funktionselemente und Hinweise zur Anwendung von Leitungsschutzschaltern sind der Norm DIN EN 60898-1 [14] zu entnehmen.

Die Selektivität wird üblicherweise durch Vergleich der Ausschaltkennlinien überprüft.

Typ	Bereich
B	über $3 I_n$ bis einschließlich $5 I_n$
C	über $5 I_n$ bis einschließlich $10 I_n$
D	über $10 I_n$ bis einschließlich $20 I_n$

**Tabelle I-8:** Bereiche der Sofortauslösung von Leitungsschutzschaltern

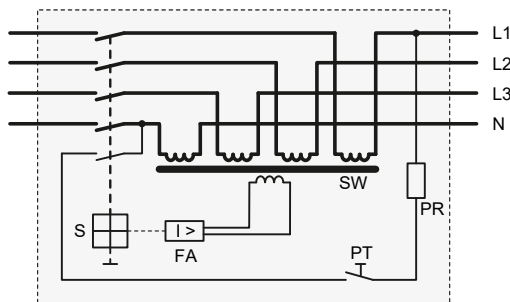
### Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCD)

RCD (engl.: residual current device) ist die generelle Bezeichnung für Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen, die beim Übersteigen eines bestimmten Differenzstromes automatisch abschalten. Unter diesem Oberbegriff gibt es folgende Ausführungsformen:

- ▶ RCCB Fehlerstrom-Schutzschalter ohne integrierte Überstromerfassung
- ▶ RCBO Fehlerstrom-Schutzschalter mit integrierter Überstromerfassung
- ▶ SRCD ortsfester Fehlerstrom-Schutzschalter in Steckdosenausführung
- ▶ PRCD ortsveränderlicher Fehlerstrom-Schutzschalter
- ▶ MRCD modulares Fehlerstromgerät
- ▶ CBR Leistungsschalter mit Fehlerstromschutz

In Abhängigkeit von der Form des Fehlerstroms (sinusförmig, impulsförmig) gibt es unterschiedliche Typen von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen.

Das grundsätzliche Funktionsprinzip einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung ist in **Bild I-13** dargestellt. Mit Hilfe des Summenstromwandlers SW wird der Strom in den drei Außenleitern und im Neutralleiter vorzeichenrichtig gemessen. Bei fehlerfreiem Betrieb ist diese Stromsumme Null. Im Fall eines Körperschlusses fließt ein Teil des Stroms über das Erdreich. Übersteigt dieser Differenzstrom den Nennwert der Fehlerstrom-Schutzeinrichtung, für den Personenschutz ist der maximal zulässige Wert  $I_{\Delta r} = 30 \text{ mA}$ , wird ausgelöst und allpolig abgeschaltet.



S	Schaltzschloss	SW	Summenstromwandler
FA	Fehlerstromauslöser	PR	Prüf Widerstand
		PT	Prüftaste

**Bild I-13:** Interne Struktur einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung

Die verschiedenen Ausführungsformen und Anwendungshinweise sind in den Normen DIN EN 61008-1 [16] und DIN EN 61008-1 Beiblatt 1 [17] beschrieben.

Es ist zu beachten, dass Fehler-Schutzeinrichtungen im Rahmen des Personenschutzes nur als Zusatzeinrichtungen genutzt werden dürfen.

#### 1.4.4 Schutzarten

Nach DIN EN 60529 [18] werden für elektrische Betriebsmittel (z. B. Schaltschränke, Klemmkästen, Einbauteile) unterschiedliche Schutzklassen für verschiedene Umgebungsbedingungen definiert. Die Schutzarten werden durch ein Kurzzeichen angegeben, das sich aus den zwei stets gleichbleibenden Kennbuchstaben IP (International Protection oder Ingress Protection) und den Kennziffern für den Schutzgrad zusammensetzt. Die erste Kennziffer definiert den Schutzgrad gegen Berühren und Eindringen von Fremdkörpern, die zweite Kennziffer definiert den Schutzgrad gegen Flüssigkeiten. Schaltschränke von luftgekühlten Kaltwassersätzen für Außenaufstellung werden z. B. mindestens in IP 54 ausgeführt. **Tabelle I-9** zeigt die Einteilung und Definition der Schutzarten nach DIN EN 60529 [18].

**Tabelle I-9a:** Definition der Schutzgrade fester Körper nach DIN EN 60529 [18]

Erste Kennziffer	Kurzbeschreibung	Definition
0	Nicht geschützt	
1	Geschützt gegen feste Fremdkörper 50 mm Durchmesser und größer	Die Objektsonde, Kugel 50 mm Durchmesser, darf nicht voll eindringen.
2	Geschützt gegen feste Fremdkörper 12,5 mm Durchmesser und größer	Die Objektsonde, Kugel 12,5 mm Durchmesser, darf nicht voll eindringen.
3	Geschützt gegen feste Fremdkörper 2,5 mm Durchmesser und größer	Die Objektsonde, Kugel 2,5 mm Durchmesser, darf überhaupt nicht eindringen.
4	Geschützt gegen feste Fremdkörper 1,0 mm Durchmesser und größer	Die Objektsonde, 1,0 mm Durchmesser, darf überhaupt nicht eindringen.
5	Staubgeschützt	Eindringen von Staub ist nicht vollständig verhindert, aber Staub darf nicht in einer solchen Menge eindringen, dass das zufriedenstellende Arbeiten des Gerätes oder die Sicherheit beeinträchtigt wird.
6	Staubdicht	Kein Eindringen von Staub.

**Tabelle I-9b:** Definition der Schutzgrade gegen Wasser nach DIN EN 60529 [18]

Zweite Kennziffer	Kurzbeschreibung	Definition
0	Nicht geschützt	
1	Geschützt gegen Tropfwasser	Senkrecht fallende Tropfen dürfen keine schädlichen Wirkungen haben.
2	Geschützt gegen Tropfwasser, wenn das Gehäuse bis zu 15° geneigt ist	Senkrecht fallende Tropfen dürfen keine schädlichen Wirkungen haben, wenn das Gehäuse um einen Winkel bis zu 15° beiderseits der Senkrechten geneigt ist.
3	Geschützt gegen Sprühwasser	Wasser, das in einem Winkel bis zu 60° beiderseits der Senkrechten gesprüht wird, darf keine schädlichen Wirkungen haben.
4	Geschützt gegen Spritzwasser	Wasser, das aus einer Richtung gegen das Gehäuse spritzt, darf keine schädlichen Wirkungen haben.
5	Geschützt gegen Strahlwasser	Wasser, das aus jeder Richtung als Strahl gegen das Gehäuse spritzt, darf keine schädlichen Wirkungen haben.
6	Geschützt gegen starkes Strahlwasser	Wasser, das aus jeder Richtung als starker Strahl gegen das Gehäuse spritzt, darf keine schädlichen Wirkungen haben.
7	Geschützt gegen die Wirkungen beim zeitweiligen Untertauchen in Wasser	Wasser darf nicht in einer Menge eintreten, die schädliche Wirkungen verursacht, wenn das Gehäuse unter genormten Druck- und Zeitbedingungen zeitweilig in Wasser untergetaucht ist.
8	Geschützt gegen die Wirkung beim dauernden Untertauchen in Wasser	Wasser darf nicht in einer Menge eintreten, die schädliche Wirkungen verursacht, wenn das Gehäuse dauernd unter Wasser getaucht ist unter Bedingungen, die zwischen Hersteller und Anwender vereinbart werden müssen. Die Bedingungen müssen jedoch schwieriger sein als für die Kennziffer 7.
9	Schutz gegen Wasser bei Hochdruck-/Dampfstrahlreinigung	Wasser, das aus jeder Richtung unter hohem Druck und hohen Temperaturen gegen das Gehäuse gerichtet ist, darf keine schädlichen Wirkungen haben.

## 1.5 Drehfeld

Der Dreiphasenwechselstrom bietet eine einfache Möglichkeit, ein gleichmäßiges Drehfeld zu erzeugen. Dieses Drehfeld wird im Rahmen von Drehstrommaschinen für Antriebe (Motorbetrieb) oder zur Gewinnung elektrischer Energie (Generatorbetrieb) genutzt.



Drehstrommaschinen unterteilen sich in die

- ▶ Synchronmaschinen, bei denen der Rotor mit der gleichen Drehzahl wie das Stator-Drehfeld rotiert, und die
- ▶ Asynchronmaschinen, bei denen der Rotor eine vom Stator-Drehfeld verschiedene Drehzahl aufweist. Die in Prozent angegebene Differenz zwischen den Drehzahlen des Rotors und des Stator-Drehfelds wird als Schlupf bezeichnet.

### Rechts oder Linksdrehfeld?

In elektrischen Energienetzen ist das Drehfeld als rechtsdrehend festgelegt, dies wird in der VDE 0100-600 beschrieben. Als Anmerkung zur Prüfung der Phasenfolge wird in der Norm erläutert, dass die Einhaltung der Reihenfolge der Phasen als erfüllt gilt, wenn ein Rechtsdrehfeld nachgewiesen ist. Die Überprüfung des Rechtsdrehfelds ist im Rahmen der Erstprüfung nach DIN VDE 0100-600 [19] durchzuführen. Im Absatz 6.4.3.9 „Prüfung der Phasenfolge“ wird die Prüfung der Einhaltung der Reihenfolge der Phasen gefordert. Prüfung und Erprobung werden unter Position „h)“ des Absatzes 6.4.3.1 „Allgemeines“ als erforderliche Maßnahmen im Rahmen der Erstprüfung aufgelistet. Entsprechend ist die Bestimmung der Phasenfolge der Außenleiter keine Freiwilligkeit, sondern eine Pflicht und ist immer bei Erstprüfungen zu berücksichtigen, wenn mehrphasige Stromkreise vorhanden sind.

### Wie wird die Drehrichtung ermittelt?

Bei CEE-Steckern mit geringer Spannung kann mit Hilfe entsprechender Adapter, die direkt in die CEE-Steckdose eingesteckt werden, die Drehrichtung ermittelt



**Bild I-14:** CEE-Adapter Testboy TV 416 mit Drehfeldrichtungsanzeige (bruchfestes PE-Gehäuse, kombinierbar mit Testavit Schuki 1A, 2K und 3A, Drehfeldrichtungsanzeige), Rot/Weiß/Blau (Quelle: Testboy GmbH, Vechta)



**Bild I-15:** Drehrichtungstester für Drehstromnetze Fluke 9040 (Quelle: Fluke Deutschland GmbH, Glottertal)