

# 5 Schutzmaßnahme: Automatische Abschaltung der Stromversorgung – DIN VDE 0100-410 Abschnitt 411

## 5.1 Allgemeine Anforderungen

### 5.1.1 Einführung

Der Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung muss erfüllt werden durch den

- Basisschutz (Schutz gegen direktes Berühren), realisiert durch eine Basisisolierung der aktiven Teile oder durch Abdeckungen oder Umhüllungen und den
- Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren), realisiert durch den Schutzpotentialausgleich über die Haupterdungsschiene und die automatische Abschaltung im Fehlerfall

Den Zusammenhang zwischen der übergeordneten Schutzmaßnahme für den Schutz gegen elektrischen Schlag und den damit verbundenen Schutzvorkehrungen zeigt Bild 5.1.

Als Basisschutz (Schutz bei direktem Berühren) kommen in erster Linie Schutz durch Isolierung und Schutz durch Abdeckungen oder Umhüllungen zur Anwendung. Wenn die Verhältnisse dies zulassen, sind auch die Maßnahmen „Schutz durch Hindernisse“ und „Schutz durch Anordnung außerhalb des Handbereichs“ zulässig. Beim Fehlerschutz (Schutz bei indirektem Berühren) gilt nach DIN VDE 0100 Abschnitt 131.2.2 folgender Grundsatz:

Personen oder Nutztiere müssen vor Gefahren geschützt werden, die beim Berühren von Körpern elektrischer Betriebsmittel im Falle eines Fehlers entstehen können.

Dies wird bei der Schutzmaßnahme „Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung“ dadurch erreicht, dass

- a) im normalen Betriebsfall keine gefährliche Spannung berührt werden kann (Basisschutz)
- b) eine vorgeschaltete Schutzeinrichtung im Fehlerfall (z. B. Körperschluss in einem Betriebsmittel) die Stromversorgung in einer festgelegten Mindestzeit abschaltet

und

- c) die im Fehlerfall auftretende Berührungsspannung bis zur endgültigen Abschaltung möglichst gering bleibt

5

Die Anforderung nach Punkt a) entspricht der Basisschutzvorkehrung, die bereits im Abschnitt 4.2.2 dieses Buchs besprochen wurde. Die Punkte b) und c) sind Teilschutzvorkehrungen innerhalb der Fehlerschutzvorkehrung. Punkt b) wird durch die erste Teilschutzvorkehrung erfüllt (siehe Bild 5.1), die auch „Schutz durch automatische Abschaltung im Fehlerfall“ bezeichnet wird. Anforderungen hierzu sind in DIN VDE 0100-410 Abschnitt 411.3.2 zu finden. Die festgelegten Mindestabschaltzeiten werden in Tabelle 41.1 der Norm angegeben.

Voraussetzung ist dabei immer, dass sämtliche Körper der elektrischen Betriebsmittel mit einem Schutzleiter verbunden sind, der in jedem Stromkreis mitgeführt wird. Die verschiedenen Schutzleiter werden in den Abzweigdosen, Klemmenkästen und Elektroverteilungen miteinander sowie letztlich mit dem Schutzleiter des einspeisenden Netzsystems (beim TN-System) bzw. mit dem Anlagenerder (beim



**Bild 5.1** Darstellung der Schutzmaßnahmen für den Schutz gegen elektrischen Schlag in TT- und TN-Systemen am Beispiel der Schutzmaßnahme „Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung“

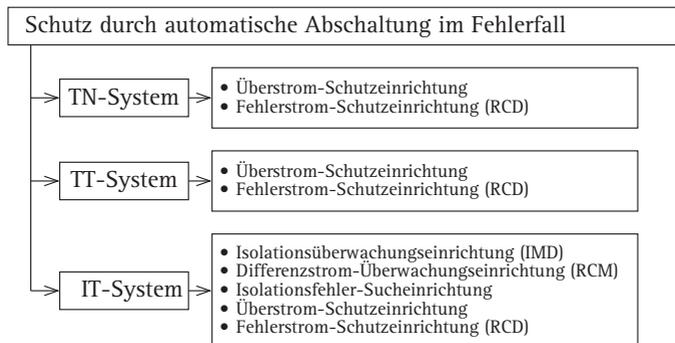
IT- und TT-System) verbunden. Weitere Einzelheiten sind in den nachfolgenden Abschnitten 5.1 bis 5.5 zu finden.

Die Spannungsreduzierung der zuvor erwähnten Anforderung in Punkt c) wird durch den „Schutzpotentialausgleich über die Haupterdungsschiene“ nach DIN VDE 0100-410 Abschnitt 411.3.1.2 ermöglicht. Dessen Wirkung wird im nachfolgenden Abschnitt 5.1.2 beschrieben.

Bei der vorgenannten Vorkehrung „Schutz durch automatische Abschaltung im Fehlerfall“ ist eine Koordinierung erforderlich hinsichtlich:

- System nach der Art der Erdverbindung
  - TN-System
  - TT-System
  - IT-System
- Schutzeinrichtung
  - Überstrom-Schutzeinrichtung (ÜSE)
  - Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD)
  - Isolationsüberwachungseinrichtung (IMD)
  - Differenzstrom-Überwachungseinrichtung (RCM)
  - Isolationsfehler-Sucheinrichtung

*Anmerkung:* Differenzstrom-Überwachungseinrichtungen (RCMs) sind keine Schutzeinrichtungen, sie dürfen jedoch verwendet werden, um Differenzströme in elektrischen Anlagen zu überwachen. RCMs lösen ein hörbares oder ein hör- und sichtbares Signal aus, wenn der vorgewählte Wert des Differenzstroms überschritten ist.



**Bild 5.2** Schutzeinrichtungen für den „Schutz durch automatische Abschaltung im Fehlerfall“ in den verschiedenen Netzsystemen

Bild 5.2 zeigt, welche Schutzeinrichtung für die automatische Abschaltung im Fehlerfall in den verschiedenen Netzsystemen eingesetzt werden darf.

Für Stromversorgungssysteme mit einer Nennspannung  $U_0$  größer als AC 50 V oder DC 120 V wird keine automatische Abschaltung verlangt, wenn im Falle eines Fehlers gegen einen Schutzleiter oder gegen Erde die Spannung automatisch auf AC 50 V oder DC 120 V oder weniger herabgesetzt wird. Dies hat in einer Zeit zu erfolgen, die DIN VDE 0100-410 Tabelle 41.1 für Endstromkreise mit maximal 32-A-Sicherungen vorgibt, oder innerhalb von 5 s bei Verteilerstromkreisen und Stromkreisen, die mit Sicherungen  $> 32$  A abgesichert sind.

In Wechselspannungssystemen muss ein zusätzlicher Schutz durch Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit einem Bemessungsdifferenzstrom  $I_{\Delta n} \leq 30$  mA vorgesehen werden für:

- Steckdosen mit einem Bemessungsstrom nicht größer als 20 A, die für die Benutzung durch Laien und zur allgemeinen Verwendung bestimmt sind  
Ausnahme: Steckdosen, die durch Elektrofachkräfte oder elektrotechnisch unterwiesene Personen überwacht werden, und Steckdosen, die jeweils für den Anschluss eines Betriebsmittels errichtet werden.
- Endstromkreise für im Außenbereich verwendete tragbare Betriebsmittel mit einem Bemessungsstrom nicht größer als 32 A

Diese Anforderungen können erfüllt werden durch den Einsatz einer netzspannungsunabhängigen Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) mit eingebautem Überstromschutz (FI/LS-Schalter) nach DIN EN 61009-2-1 (VDE 0664-21) in jedem Endstromkreis. Diese Schutzeinrichtungen ermöglichen Personen-, Brand- und Leitungsschutz in einem Gerät.

## 5.1.2 Der Schutzpotentialausgleich über die Haupterdungsschiene

### 5.1.2.1 Aufgabenbeschreibung

Wie im vorigen Abschnitt bereits angedeutet, soll die Wirkung des Schutzpotentialausgleichs über die Haupterdungsschiene die Wirkung der automatischen Abschaltung im Fehlerfall verstärken bzw. die verbleibende Gefährdung verringern. Dies soll im Folgenden erläutert werden.

Bei einem Körperschluss im TN-System wird maximal die halbe Strangspannung (Spannung der Außenleiter gegen Erde)  $U_0$  auftreten.

Diese Überlegung setzt vereinfacht voraus, dass die Querschnitte des mit dem Fehler verbundenen Außenleiters und des beteiligten Schutzleiters bzw. PEN-Leiters gleich sind. Die Spannung  $U_0$  wird demnach aufgeteilt in den Spannungsfall:

- am Außenleiter
- am PEN-Leiter

Als mögliche Berührungsspannung  $U_B$  fällt dann der Spannungsfall über den Schutzleiter an:  $\frac{U_0}{2}$ .

Für übliche Versorgungssysteme im TN-System gilt demnach:

$$U_B \approx \frac{U_0}{2} = \frac{230 \text{ V}}{2} = 115 \text{ V}$$

Detailliertere Angaben sind im nachfolgenden Abschnitt 5.2 zu finden (siehe auch Bild 5.5 dieses Buchs).

Im TT-System fällt im Fehlerfall noch eine viel höhere Spannung an. Da der Fehlerstrom in TT-Systemen über den Anlagenerder  $R_A$  fließt, der in diesem Fehlerstromkreis den höchsten Widerstand darstellt, wird die mögliche Berührungsspannung im TT-System fast so groß wie die Spannung gegen Erde ( $U_0$ ). Bei Felduntersuchungen hat man typische Werte zwischen 190 V und 220 V gemessen.

In der Regel kann auf eine automatische Abschaltung im Fehlerfall nur dann verzichtet werden, wenn die Berührungsspannung unter 50 V bleibt. Allerdings wird diese Spannung im Fehlerfall, wie zuvor beschrieben, sowohl beim TT- als auch beim TN-System deutlich überschritten. Deshalb gelten für alle Netzsysteme mit Nennspannungen über 50 V die Abschaltzeiten aus DIN VDE 0100-410, Tabelle 41.1. Die Zeiten werden im nachfolgenden Abschnitt 5.2 angegeben.

Da die Spannung innerhalb dieser Abschaltzeit in allen Netzsystemen allerdings immer noch recht hoch ist, wird eine zweite Teil-Schutzvorkehrung vorgeschrieben, um die Berührungsspannung weiter zu reduzieren. Diese zweite Teilvorkehrung ist der **Schutzpotentialausgleich über die Haupterdungsschiene**.

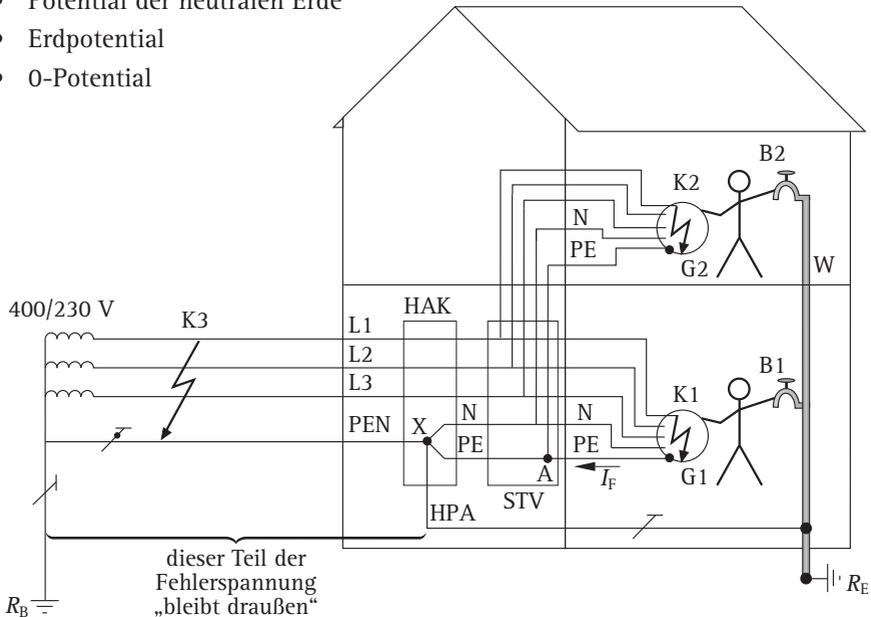
Die Hauptaufgabe des Schutzpotentialausgleichs über die Haupterdungsschiene kann demnach wie folgt beschrieben werden:

Die erste Teil-Schutzvorkehrung innerhalb der Fehlerschutzvorkehrung ist die automatische Abschaltung im Fehlerfall, und die zweite ist der Schutzpotentialausgleich über die Haupterdungsschiene. Diese zweite Teil-Schutzvorkehrung verringert die Berührungsspannung bei einem Körperschluss, damit in der Zeit zwischen dem Auftreten des Fehlers und der endgültigen Abschaltung keine gefährlichen Körperströme entstehen.

### 5.1.2.2 Funktionsweise

Die gewünschte Reduzierung der möglichen Berührungsspannung wird erreicht, indem das Potential der Bezugserde aus dem Gebäude herausgehalten wird. Das „Potential der Bezugserde (siehe Begriffsbestimmung in Abschnitt 2.4 in diesem Buch) wird oft ganz unterschiedlich bezeichnet, so z. B.:

- Potential der fernen Erde
- Potential der neutralen Erde
- Erdpotential
- 0-Potential



**Bild 5.3** Darstellung von Fehlern im TN-System und der Wirkung des Schutzpotentialausgleichs über die Haupterdungsschiene

- W Wasserleitung, die im Außenbereich Erdpotential annimmt  
 $R_E$  Erdungswiderstand der Wasserleitung  
 $R_B$  Widerstand des Betriebserders; der Betriebserder nimmt wie die Wasserleitung Erdpotential an  
 G elektrisches Verbrauchsmittel (Gerät)  
 K Ort des Fehlers (Körperschluss); K1 im Gerät G1 und K2 im Gerät G2  
 B Stelle der Berührung (B1 im Erdgeschoss und B2 im Obergeschoss)  
 X Aufteilungspunkt des PEN-Leiters in Neutralleiter und Schutzleiter und zugleich Anschlusspunkt des Schutzpotentialausgleichs (HPA) an den PEN-Leiter des Versorgungsnetzes  
 A Aufteilungspunkt des PE-Leiters in PE-Leiter zum Gerät G1 und PE-Leiter zum Gerät G2 im STV  
 HAK Hausanschlusskasten  
 STV Stromkreisverteiler  
 HPA Schutzpotentialausgleich über die Haupterdungsschiene

Im Bild 5.3 wird beispielhaft die Wirkung des Schutzpotentialausgleichs über die Haupterdungsschiene veranschaulicht. Zur Erläuterung kann Folgendes gesagt werden:

Der Fehler an der im Bild 5.3 mit K3 bezeichneten Stelle findet im Außenbereich des Gebäudes statt und soll hier nicht weiter beschrieben werden und auch die Betrachtung eines Fehlers bei G2 (Fehler K2) bleibt für diese Betrachtung unberücksichtigt. Bei einem Fehler bei K1 im Gerät G1 fließt über den Schutzleiter ein Fehlerstrom  $I_F$ . Dieser Strom verursacht einen Spannungsfall entlang der gesamten Länge des Schutzleiters von der Fehlerstelle (Punkt K1) bis zur Haupterdungsschiene (Punkt X) und im weiteren Verlauf auch über den PEN-Leiter bis zum Sternpunkt des speisenden Transformators.

Durch den Schutzpotentialausgleich (im Bild 5.3 als HPA bezeichnet) wird das Potential am Punkt X mit dem Potential am Berührungspunkt (B1) kurzgeschlossen. Der Spannungsfall über den PEN-Leiter fällt deshalb innerhalb des Gebäudes nicht mehr an. Darum kann die mögliche Berührungsspannung  $U_B$  bei einem Fehler bei K1 wie folgt berechnet werden:

$$U_B = I_F \cdot R_{PE}$$

$R_{PE}$  Widerstand des Schutzleiters von der Fehlerstelle K1 bis zum Punkt X (Punkt X im HAK ist zugleich der Anschlusspunkt an der Haupterdungsschiene)

Typische Werte für  $U_B$  liegen im TN-System in der Größenordnung von 80 V ... 100 V.

Beispiel:

$$R_{PEN} \quad 50 \text{ m}\Omega$$

$$R_{PE} \quad 150 \text{ m}\Omega$$

$$R_{Sch} \quad 400 \text{ m}\Omega = 2 \cdot (R_{PEN} + R_{PE}), \text{ Innenwiderstand der Stromquelle vernachlässigt}$$

$$I_F = \frac{230 \text{ V}}{0,4 \Omega} = 575 \text{ A}$$

$$U_B = I_F \cdot R_{PE} = 575 \text{ A} \cdot 0,15 \Omega = 86 \text{ V}$$

Die zuvor noch recht allgemein formulierte Aufgabenbeschreibung des Schutzpotentialausgleichs über die Haupterdungsschiene wird durch folgende Funktionsbeschreibung konkretisiert:

Der Schutzpotentialausgleich über die Haupterdungsschiene erfüllt die ihm gestellte Aufgabe, indem er dafür sorgt, dass das Potential der neutralen Erde (Bezugserde) nicht ins Innere des Gebäudes gelangt. Auf diese Weise wird die mögliche Berührungsspannung im Fehlerfall reduziert.

Um diese Aufgabe zu erfüllen, müssen über die Haupterdungsschiene verbunden werden:

5

- der Schutzleiter im Gebäude
- (im TN-System) der Schutzleiter des einspeisenden Netzes
- alle leitfähigen Teile, die von außen in das Gebäude führen bzw. die das elektrische Potential der Erde in das Gebäude einführen können.

Zu den zuletzt genannten Teilen gehören z. B.:

- Fundamenterder
- metallene Rohrleitungen von Versorgungssystemen (z. B. Frischwasser)
- metallene Mäntel von Kabeln (dabei Absprachen mit den Eignern oder Betreibern solcher Kabel nicht vergessen)
- metallene Verstärkung der Gebäudekonstruktion aus bewehrtem Beton, sofern möglich
- metallene Teile der Gebäudekonstruktion (z. B. Stahlstützen bei Stahlskelettbauten)

*Anmerkung:* Immer wieder taucht die Frage auf, warum der Vor- und Rücklauf der Heizungsanlage mit einbezogen werden soll, obwohl diese kein Erdpotential in das Gebäude einführen können. Genau genommen ist dies auch für die Funktion des Schutzpotentialausgleichs über die Haupterdungsschiene nicht erforderlich. Gemeint waren immer solche Teile, die das Erdpotential einführen können. Trotzdem ist es natürlich nicht falsch, die Heizung mit anzuschließen. Ähnlich verhält es sich mit dem Gasrohr, sofern ein Isolierstück das Eindringen des Erdpotentials verhindert.

## 5.2 Der Schutz durch automatische Abschaltung im Fehlerfall im TN-System (DIN VDE 0100-410 Abschnitt 411.4)

### 5.2.1 Allgemeine Anforderungen

Für das TN-System sind als Schutzeinrichtungen zugelassen:

- Überstrom-Schutzeinrichtungen
- RCDs

Dabei ist zu beachten, dass im TN-C-System RCDs nicht anwendbar sind. RCDs können hier keinen Schutz bieten, weil auch der Fehlerstrom durch den Ringkernwandler des RCD fließen würde und im Fehlerfall kein Auslösen möglich wäre.

Wichtigste Voraussetzung im TN-System ist die niederohmige Erdung des Sternpunkts des Transformators oder Generators. Mit diesem geerdeten Punkt sind alle Körper entweder über Schutzleiter oder PEN-Leiter direkt zu verbinden. Wenn kein Sternpunkt vorhanden ist, darf auch ein Außenleiter geerdet werden.

Schutzeinrichtungen und Leiterquerschnitte sind so aufeinander abzustimmen, dass folgende Bedingung erfüllt ist:

$$Z_S \cdot I_a \leq U_0 \quad (5.1)$$

In Gl. (5.1) bedeuten:

$Z_S$  Impedanz der Fehlerschleife in  $\Omega$ ;

sie kann gemessen, errechnet oder am Netzmodell ermittelt werden

$I_a$  Strom in A, der das automatische Abschalten bewirkt, wobei in Abhängigkeit der Spannung gegen Erde  $U_0$  für Wechselspannung und Endstromkreise mit maximal 32 A Nennstrom folgende Abschaltzeiten einzuhalten sind:

- 0,8 s bei  $50 \text{ V} < U_0 \leq 120 \text{ V AC}$
- 0,4 s bei  $120 \text{ V} < U_0 \leq 230 \text{ V AC}$
- 0,2 s bei  $230 \text{ V} < U_0 \leq 400 \text{ V AC}$
- 0,1 s bei  $U_0 > 400 \text{ V AC}$

Für Verteilerstromkreise und Endstromkreise mit Nennstrom  $I_n > 32 \text{ A}$  ist eine Abschaltzeit von maximal 5 s zulässig.

Bei der Verwendung einer RCD ist:

- $I_a = I_{\Delta n}$  bei einer normalen RCD bzw.
- $I_a = 2 \cdot I_{\Delta n}$  bei einer selektiven (zeitverzögerten) RCD

$U_0$  Nennspannung Außenleiter gegen den geerdeten Leiter in V

In Verteilungsstromkreisen, z. B. in der Hauptleitung des Hauptstromversorgungssystems eines Wohngebäudes nach DIN 18015-1, können die vorgenannten Anforderungen vielfach nicht erfüllt werden. Deshalb werden solche Anlagenbereiche, also der Verteilungsstromkreis einschließlich der damit versorgten Verteilung, schutzisoliert ausgeführt. Dies muss bei der Auswahl der Verteilung berücksichtigt werden. Für die betroffenen Kabel und Leitungen stellt dies kein Problem dar, weil sie in der Regel als schutzisoliert gelten. In den meisten Fällen reicht es dann aus, wenn eine Abschaltung mindestens in der Zeit des sogenannten „großen Prüfstroms“ (siehe hierzu Kapitel 22 dieses Buchs) stattfindet. Das bedeutet z. B. für Stromkreise bis 63 A eine Abschaltung in spätestens einer Stunde.

Abgesehen von diesen Besonderheiten gelten die entsprechend den zu erwartenden Berührungsspannungen festgelegten Abschaltzeiten beim Schutz durch automatische Abschaltung im Fehlerfall. Diese Zeiten können aus Bild 5.4 nachvollzogen werden.

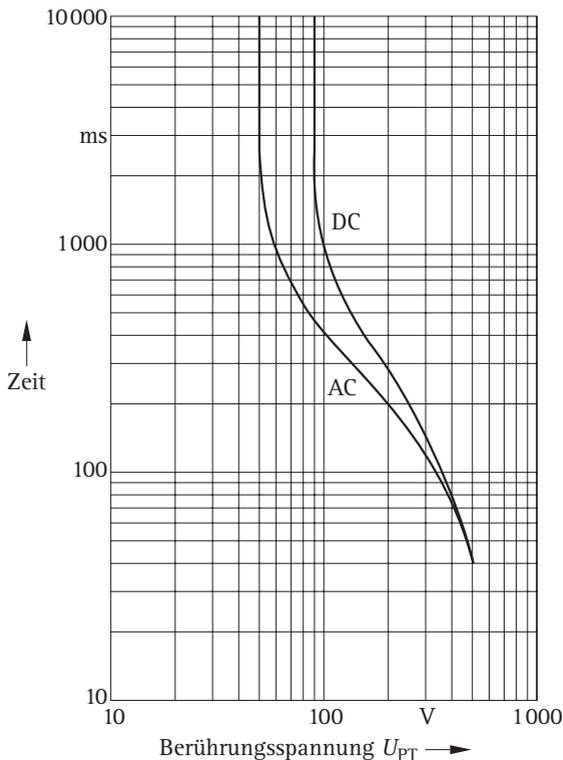
Die näheren Zusammenhänge zwischen Spannung/Strom und Abschaltzeiten bei Stromdurchgang durch den menschlichen Körper sind in Abschnitt 3.1 dieses

Buchs beschrieben. In Bild 5.4 zeigt die Kurve AC (Wechselspannung) die Abschaltzeiten entsprechend der zu erwartenden Berührungsspannung bei Wechselspannungsanlagen; die Kurve DC (Gleichspannung) zeigt die Abschaltzeiten bei Gleichspannungsanlagen.

Für Gleichstromanlagen gelten für Endstromkreise mit maximal 32 A Nennstrom folgende maximale Abschaltzeiten:

- 5,0 s bei  $120 \text{ V} < U_0 \leq 230 \text{ V DC}$
- 0,4 s bei  $230 \text{ V} < U_0 \leq 400 \text{ V DC}$
- 0,1 s bei  $U_0 > 400 \text{ V DC}$

In Abschnitt 5.1.2.1 dieses Buchs wurde bereits die mögliche Berührungsspannung im Fehlerfall angegeben und erläutert. Dort wurde davon ausgegangen, dass bei gleichem Leiterquerschnitt für Außen- und PEN-Leiter die berührbare Spannung im Fehlerfall maximal  $U_0/2 = 115 \text{ V}$  beträgt.



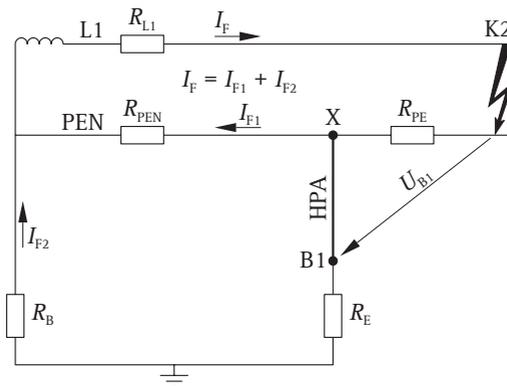
**Bild 5.4** Abschaltzeiten in Abhängigkeit von der zu erwartenden Berührungsspannung

In der Praxis muss aber damit gerechnet werden, dass der PEN-Leiter an verschiedenen Stellen im System geerdet wird. Beispielsweise am Transformator-Sternpunkt und an den Haupterdungsschienen der vom Transformator versorgten Gebäude, die in der Regel je über einen eigenen Fundamenterder verfügen. Dies würde den Widerstand des Rückleiters, über den der Fehlerstrom fließt, verkleinern und damit die berührbare Spannung im Fehlerfall reduzieren.

Rechnet man jedoch überschlägig mit einem Gesamterdungswiderstand aller mitwirkenden Betriebserder (zu denen im TN-System auch die Fundamenterder der versorgten Gebäude gehören) von  $R_B = 1 \Omega$  und einem PEN-Leiterwiderstand zwischen dem Gebäudeanschluss (z. B. Hausanschlusskasten) und dem einspeisenden Transformator von z. B.  $20 \text{ m}\Omega$ , so ergibt sich eine Reduzierung von etwa  $1 \text{ V}$  für die an der Fehlerstelle berührbare Spannung. Selbst wenn der Widerstand des PEN-Leiters noch höher ausfällt, kann von einer tatsächlichen Reduzierung der Fehlerspannung durch die Erdung des PEN-Leiters kaum gesprochen werden.

Die eigentliche Reduzierung der Fehlerspannung bewirkt hingegen der Schutzpotentialausgleich (siehe Abschnitt 5.1.2 dieses Buchs); dies wird im Bild 5.5 an einem entsprechenden Ersatzschaltbild erläutert.

Für Gleichspannungssysteme liegen unter gleichen Voraussetzungen mit ausreichenden Erdungsverhältnissen dieselben Voraussetzungen vor, sodass die Abschaltzeiten für die verschiedenen Spannungssysteme ebenfalls nach Bild 5.4 abgeschätzt werden können.

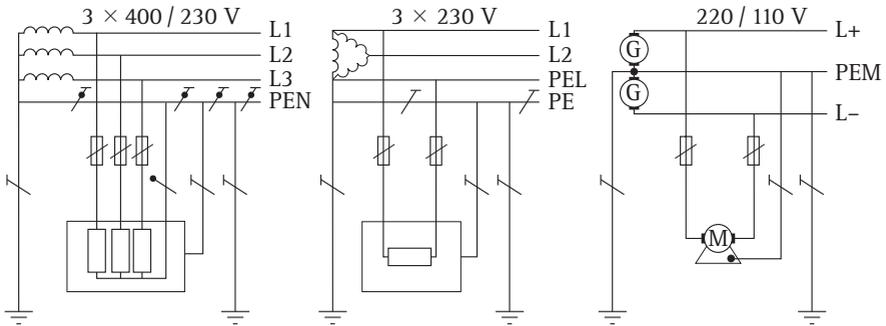


**Bild 5.5** Ersatzschaltbild der Situation bei einem Isolationsfehler bei K2 nach Bild 5.3. Die berührbare Fehlerspannung  $U_{B1}$  reduziert sich um den Betrag, den der Fehlerstrom zwischen Punkt X und dem Sternpunkt des Transformators verursacht.  $U_{B1}$  entspricht somit im Wesentlichen dem Spannungsfall, den der Fehlerstrom  $I_F$  über den Schutzleiter PE im Gebäude verursacht.

## 5.2.2 TN-System mit Überstrom-Schutzeinrichtungen

In jeden Außenleiter ist eine Überstrom-Schutzeinrichtung einzubauen. Eine Überstrom-Schutzeinrichtung im Neutraleiter ist zwar zulässig, aber nicht üblich. Im PEN-Leiter oder im Schutzleiter darf keinesfalls eine Überstrom-Schutzeinrichtung eingebaut werden. Ebenso darf der PEN-Leiter sowie der Schutzleiter nicht schaltbar sein.

Bild 5.6 zeigt verschiedene TN-Systeme. Im TN-C-System (Neutraleiter und Schutzleiter in einem Leiter, dem PEN-Leiter, zusammengefasst) nimmt der PEN-Leiter eine Doppelfunktion wahr. Da in diesem Fall bei einem PEN-Leiter-Bruch eine erhebliche Gefahr besteht, ist ein TN-C-System nur zulässig bei fest verlegten Leitungen mit Querschnitten von mindestens  $10 \text{ mm}^2$  Cu oder  $16 \text{ mm}^2$  Al.



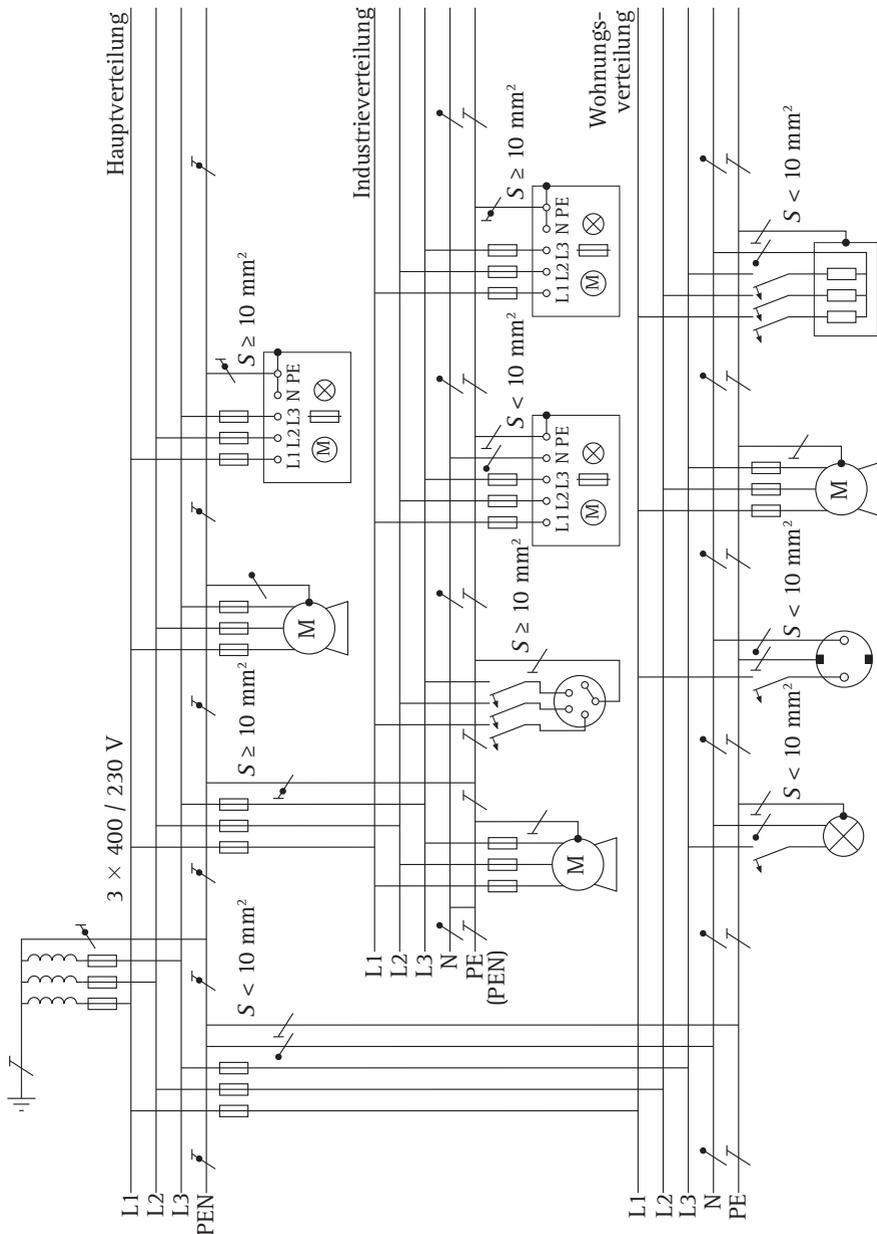
**Bild 5.6** TN-Systeme mit Überstrom-Schutzeinrichtungen

Bei beweglichen Leitungen mit größeren Querschnitten für Einspeiseleitungen von Notstromaggregaten in Niederspannungsnetzen oder für das Überbrücken herausgetrennter Netzteile in Niederspannungsfreileitungs- oder Niederspannungskabelnetzen sind die Leitungen so zu verlegen, dass sie als „fest verlegt“ angesehen werden können.

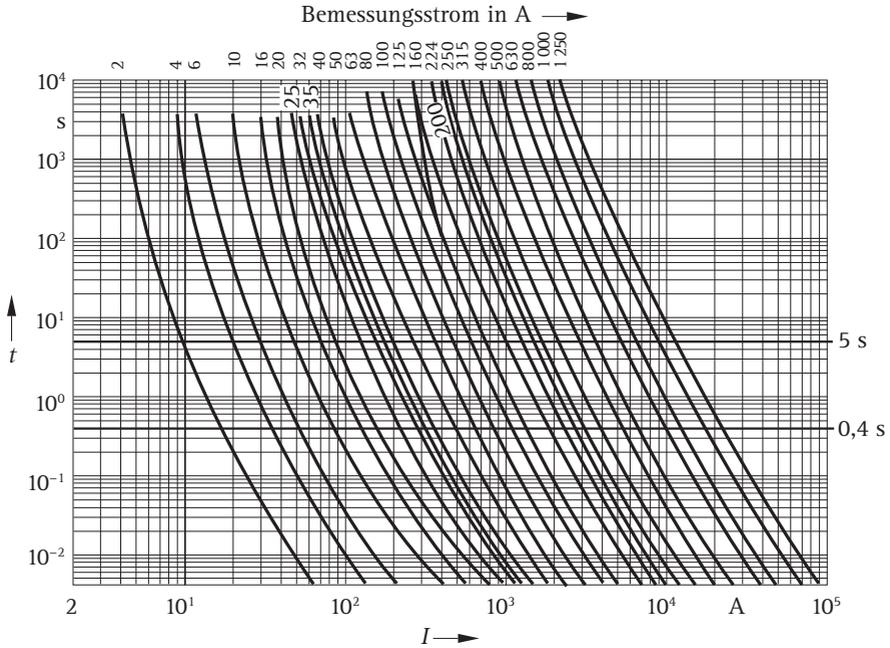
In allen anderen Fällen, also bei

- Leiterquerschnitten  $< 10 \text{ mm}^2$  Cu und  $< 16 \text{ mm}^2$  Al und bei
- beweglichen Leitungen

ist ein TN-C-System unzulässig (Bild 5.7). Nach DIN VDE 0100-444 ist ein PEN-Leiter in einem neu zu errichtenden Gebäude überhaupt zu vermeiden. Dies gilt auch dann, wenn der Betreiber der elektrischen Anlage einen eigenen Transformator unterhält (der Netzbetreiber also lediglich eine Mittelspannungsversorgung zur Verfügung stellt), sofern in der elektrischen Anlage eine „wesentliche Anzahl“ von informationstechnischen Betriebsmitteln enthalten sind oder wahrscheinlich enthalten sein werden.



**Bild 5.7** TN-System mit TN-C- und TN-S-Systemteilen (alle Querschnittangaben beziehen sich auf Kupferleiter)

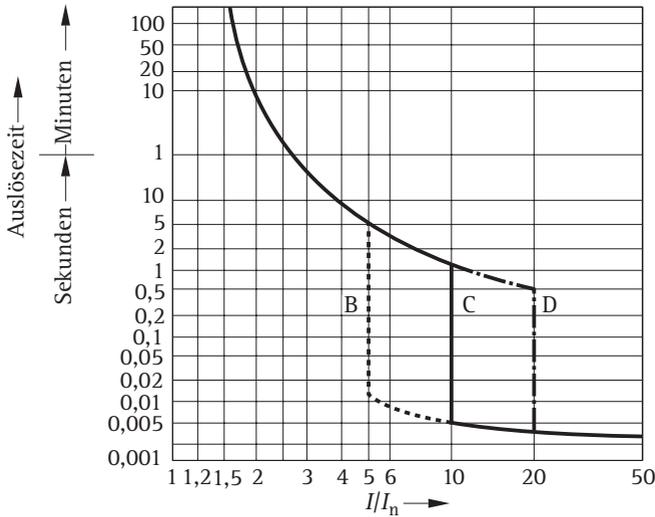


**Bild 5.8** Strom-Zeit-Kennlinien (obere Grenzkurven) von gG- bzw. gL-Sicherungen

Bei einer Verteilung mit vier Schienen (L1/L2/L3/PEN) dürfen an der PEN-Schiene wahlweise Schutzleiter, Neutraleiter und/oder PEN-Leiter angeschlossen werden. Ist die Verteilung mit fünf Schienen (L1/L2/L3/N/PE) ausgestattet, so darf an der PE-Schiene auch ein PEN-Leiter angeschlossen werden, vorausgesetzt, die PE-Schiene entspricht den Bedingungen, die an eine PEN-Schiene gestellt werden.

Die Koordinierung der Systeme nach Art der Erdverbindung und Überstrom-Schutzeinrichtungen, die durch Gl. (5.1) gegeben ist, macht es erforderlich, bei der Planung einer Anlage die Größe des „kleinsten einpoligen Kurzschlussstroms“ – künftig der Einfachheit halber nur noch „Kurzschlussstrom“ genannt – zu berechnen. Er kann in bestehenden Anlagen auch gemessen werden. Mit dem (gerechneten oder gemessenen) Kurzschlussstrom muss jetzt unter Verwendung des Strom-Zeit-Diagramms der entsprechenden Schutzeinrichtung die Abschaltzeit ermittelt werden. Die jeweils obere Grenzkurve der Kennlinien von Leitungsschutzsicherungen der Betriebsklasse gG bzw. gL ist in Bild 5.8 dargestellt. Für LS-Schalter der Charakteristiken B, C und D gibt Bild 5.9 die jeweils obere Grenzkennlinie an.

Die Berechnung des Kurzschlussstroms muss unter Beachtung von DIN EN 60909-0 (VDE 0102) „Kurzschlussströme in Drehstromnetzen – Berechnung der Ströme“ erfolgen. In Beiblatt 1 zu DIN EN 60909-0 (VDE 0102) „Kurzschlussströme in Drehstromnetzen – Beispiele für die Berechnung von Kurzschlussströmen“ sind



**Bild 5.9** Strom-Zeit-Kennlinien von LS-Schaltern.  
Gilt für LS-Schalter mit Charakteristiken B, C und D

verschiedene Beispiele gezeigt. Die Berechnung von Kurzschlussströmen ist in Anhang A (Abschnitt 25.1.1) behandelt.

Häufig besteht die Aufgabe auch darin, von einem bestimmten Punkt einer bestehenden Anlage aus, deren Impedanz bekannt ist, die maximal zulässige Stromkreislänge für einen bestimmten Querschnitt zu ermitteln. Die entsprechende Berechnung ist in Anhang A (Abschnitt 25.1.2) beschrieben.

### 5.2.3 TN-System mit RCD

Bei Einsatz einer RCD im TN-System (Bild 5.10) ist nach Gl. (5.1) der Strom, der das automatische Abschalten der Schutzeinrichtung in die Wege leitet, der Bemessungsdifferenzstrom der RCD ( $I_a = I_{\Delta n}$ ).

Damit gilt:

$$Z_S = \frac{U_0}{I_a} = \frac{U_0}{I_{\Delta n}} \quad (5.2)$$

Häufig taucht die Frage auf, ob für den Schutz durch automatische Abschaltung auch ein selektiver (zeitverzögerter) RCD eingesetzt werden kann. Diese RCDs werden mit einem  $\text{S}$  gekennzeichnet und sie dürfen Abschaltzeiten von 500 ms aufweisen. Da der Schutz durch automatische Abschaltung im Fehlerfall jedoch stets von einem widerstandslosen Körperschluss ausgeht, wird der Fehlerstrom im