

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.

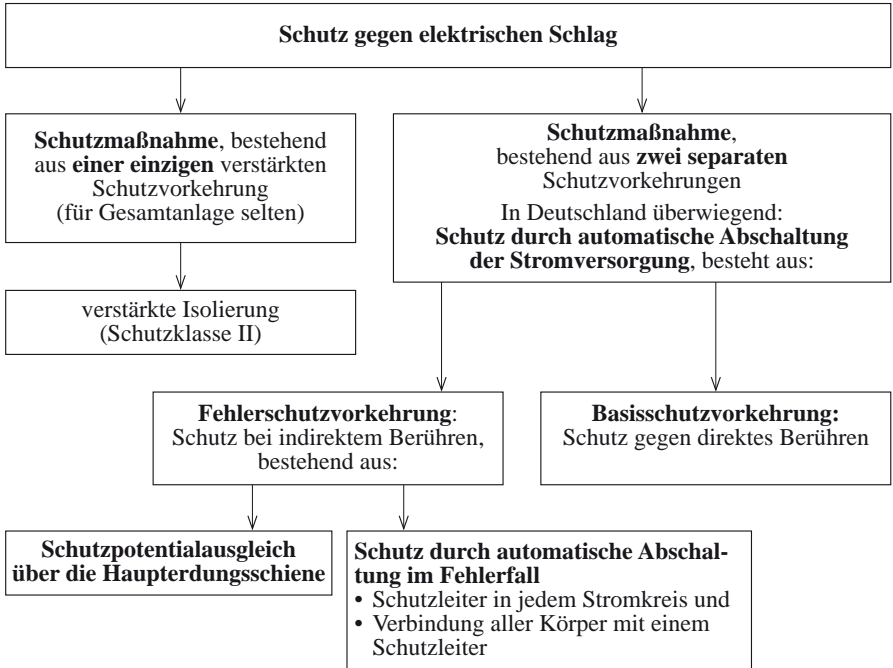


Bild 5.1 Darstellung der Schutzmaßnahmen für den Schutz gegen elektrischen Schlag in TT- und TN-Systemen am Beispiel der Schutzmaßnahme „Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung“

Die Anforderung nach Punkt a) entspricht der Basisschutzvorkehrung, die bereits im Kapitel 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 in derselben 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 Abzweigdosens, Klemmkästen und Elektroverteilungen miteinander, sowie letztlich mit dem Schutzleiter des einspeisenden Netzsystems (beim TN-System) bzw. mit dem Anlagenerder (beim IT- und TT-System) verbunden. Weitere Einzelheiten sind in den nachfolgenden Kapiteln 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 Kapitel 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 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

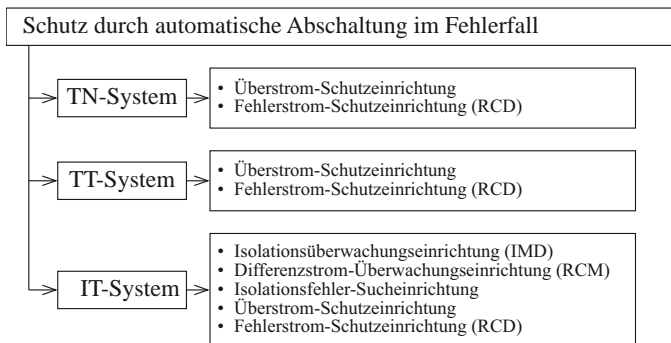


Bild 5.2 Schutzeinrichtungen für den „Schutz durch automatische Abschaltung im Fehlerfall“ in den verschiedenen Netzsystemen

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 Kapitel 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 Kapitel 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 Kapitel 10 dieses Buchs) wird oft ganz unterschiedlich bezeichnet, so z. B.:

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

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 K1 bezeichneten Stelle findet im Außenbereich des Gebäudes statt und soll hier nicht weiter beschrieben werden. Bei einem Fehler bei K2 im Gerät G2 fließt über den Schutzleiter ein Fehlerstrom I_F . Dieser Strom verursacht einen Spannungsfall entlang der gesamten Länge des Schutzleiters von der Fehlerstelle (Punkt K2) bis zur Haupterdungsschiene (Punkt X) und im weiteren Verlauf auch über den PEN-Leiter bis zum Sternpunkt des speisenden Transformators.

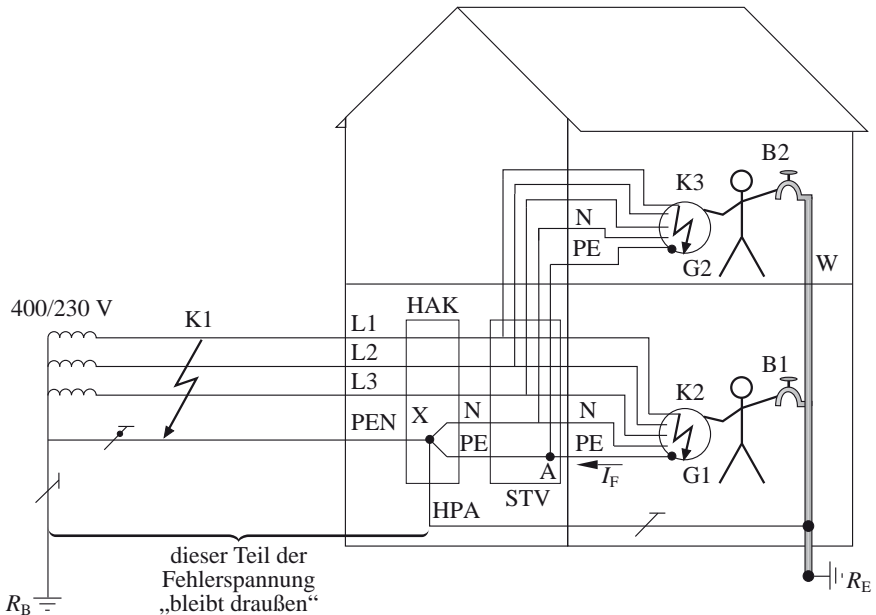


Bild 5.3 Darstellung von Fehlern im TN-System und der Wirkung des Schutzpotentialausgleichs über die Haupterdungsschiene

- 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 Geräte 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

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 K2 wie folgt berechnet werden:

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

R_{PE} Widerstand des Schutzleiters von der Fehlerstelle K2 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 gestellt 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

- 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 bewehrten 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. Genaugenommen 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

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