

AUF EINEN BLICK

Das Jahr 2007 bescherte der Fachwelt einen enormen Schub an Änderungen bzw. Herausgaben neuer Normen im Bereich der Reihe DIN VDE 0100. Nicht zuletzt findet hierbei auch eine Begriffsangleichung an den internationalen Sprachgebrauch statt. Dieser Beitrag basiert auf einer Leserfrage zum neuen Begriff Schutzpotentialausgleichsleiter im Rahmen der Rubrik Praxisprobleme.

Querschnitt des Schutzpotentialausgleichsleiters

Neue Norm DIN VDE 0100-540:2007-06

Die Frage taucht häufiger auf, wie nach der neuen Norm DIN VDE 0100-540:2007-06 der Querschnitt für den Schutzpotentialausgleichsleiter festgelegt wird. So konnte ein »de«-Leser in der Norm nur etwas über Mindestquerschnitte finden. Im Folgenden soll die Querschnittsermittlung des Schutzpotentialausgleichsleiters und des Schutzpotentialausgleichsleiters für den zusätzlichen Schutz anhand von Beispielen erläutert werden.

Es ist verständlich, dass die Anwender der Norm DIN VDE 0100-540:2007-06 ggf. einige Schwierigkeiten mit der neuen Begriffswelt haben. Sie ist jedoch dem »Internationalen Elektrotechnischen Wörterbuch (IEV)« entnommen und wird inzwischen konsequent in allen neuen Errichtungsnormen verwendet. Möglicherweise führt der neue Begriff Schutzpotentialausgleichsleiter zu Irritationen. Der Begriff Schutzpotentialausgleichsleiter ist im Abschnitt 541.3 »Begriffe« der Norm DIN VDE 0100-540:2007-06 erklärt.

Neue Begriffe verinnerlichen

Der Schutzpotentialausgleichsleiter ist ein Schutzleiter zur Herstellung des

Schutzpotentialausgleichs. Anders formuliert stellt er einen Potentialausgleich zu Schutzzwecken dar, d.h. zum Zweck der Gewährleistung der elektrischen Sicherheit – im Gegensatz zum Potentialausgleich für Funktionszwecke. Damit ist im Grunde schon alles gesagt.

Der Schutzpotentialausgleichsleiter ist also ein Schutzleiter und er wird deshalb wie ein solcher ausgewählt und bemessen. Ebenso gelten dann natürlich alle anderen Anforderungen für Schutzleiter, z.B. in Bezug auf Material und Art des Leiters. Die näheren Angaben dazu enthält der Hauptabschnitt 543 von DIN VDE 0100-540:2007-06 im Hauptabschnitt 544, welcher die Schutzpotentialausgleichsleiter behandelt. In Bezug auf die Min-

destquerschnitte findet man hier besondere Angaben.

Die Aufgabe dieses Potentialausgleichsleiters zum Zweck der Sicherheit ergibt sich aus den Anforderungen für die Maßnahmen zum Schutz gegen elektrischen Schlag nach DIN VDE 0100-410. Diese Norm definiert zum einen den Schutzpotentialausgleich, der über die Haupterdungsschiene hergestellt wird (bisher als Hauptpotentialausgleich bezeichnet), und zum anderen den zusätzlichen Schutzpotentialausgleich als weitere Maßnahme zum Fehlerschutz. Letzteren wendet man insbesondere bei Schutzmaßnahmen in bestimmten Bereichen an, die besonderen Umgebungsbedingungen oder Einflüssen ausgesetzt sind. Dieser zusätzliche Schutzpotentialausgleich kann auch gefordert sein, wenn sich die bei Anwendung des Schutzes durch Abschalten verlangten Abschaltzeiten nicht einhalten lassen (DIN VDE 0100-410:2007-06, Abschnitt 411.3.2.6).

Schutzpotentialausgleichsleiter für die Verbindung mit der Haupterdungsschiene

Der Querschnitt des Schutzpotentialausgleichsleiters, der an zentraler Stelle des Gebäudes, in der Nähe der Einspeisung (Hausanschluss) mit der Haupterdungsschiene verbunden ist, darf nicht kleiner sein als

- 6 mm² bei Leitermaterial Kupfer,
- 16 mm² bei Leitermaterial Aluminium,
- 50 mm² bei Verwendung von Stahl.

Diese Querschnitte sind gegenüber der Vorgängernorm deutlich reduziert. Auch die Abhängigkeit der Querschnitte von anderen Leitern der Anlage, wie **bisher vom Hauptschutzleiter** (ein Leiter, der schwer zu definieren war), hat die Norm zu Guns-

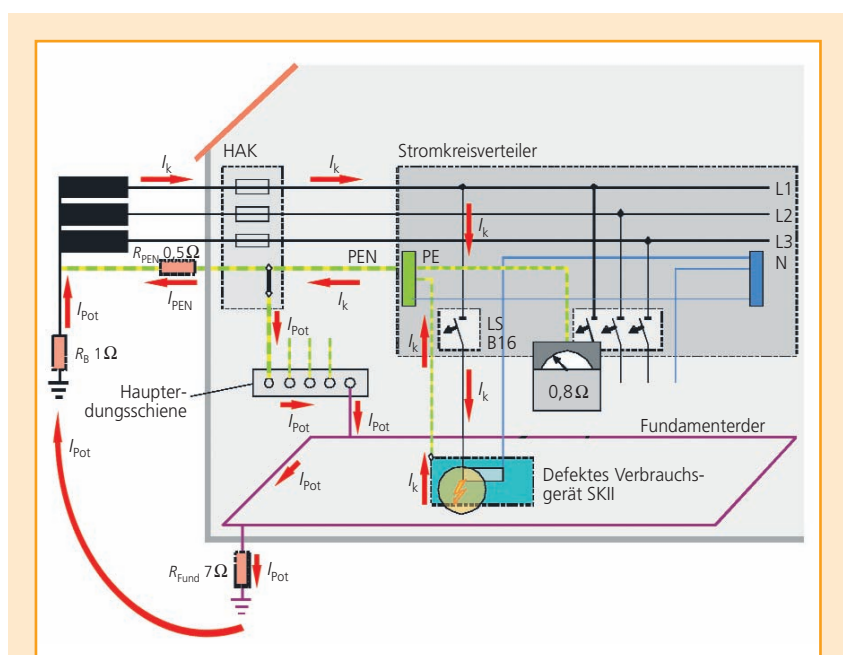
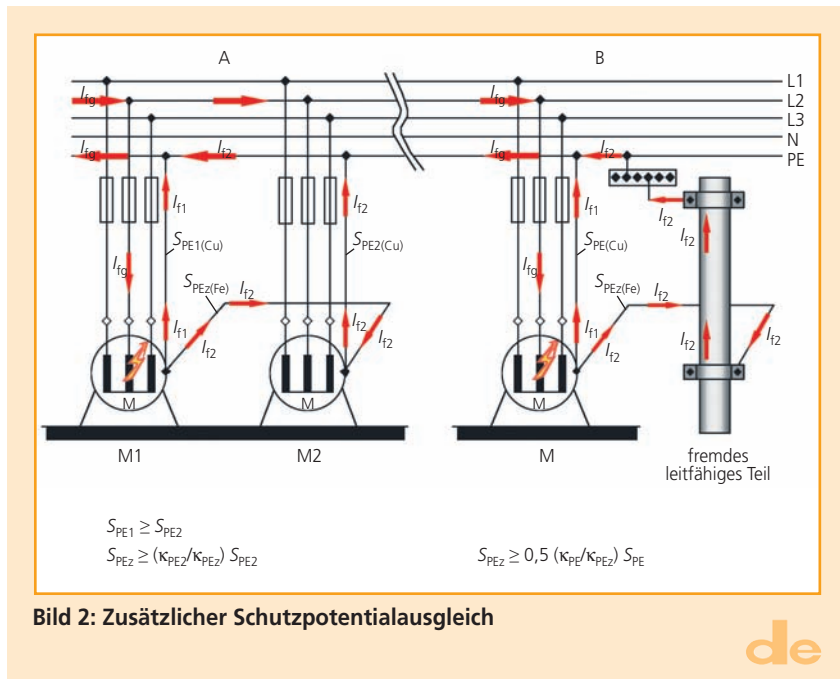


Bild 1: Stromverteilung bei einem einpoligen Gerätefehler (Körperschluss) über den Schutzpotentialausgleichsleiter





ten der einfachen Querschnittsauswahl aufgegeben. Es setzte sich die Fachmeinung durch, dass diese Querschnitte ausreichen, um den im Fehlerfall bis zur Abschaltung der Schutzeinrichtung fließenden Fehlerstrom führen zu können. Und dies auch ohne dass eine Gefahr für das Betriebsmittel selbst oder für seine Umgebung besteht. Potentialausgleich hat hauptsächlich etwas mit Spannungen zu tun, weniger mit Strömen.

Betrachtungen zum Kurzschluss im TN-System

Betrachten wir das Beispiel eines Gerätefehlers, dem Körperschluss eines Betriebsmittels der Schutzklasse I in einem TN-System nach Bild 1. Am defekten Elektrogerät existiert ein Schleifenwiderstand zwischen Außen- und Schutzleiter von $0,8 \Omega$, ein durchaus üblicher Wert in Wohngebäuden. Der Körperschluss wird damit zu einem Kurzschluss. Es fließt ein Kurzschlussstrom von etwa 290 A .

Dieser Strom teilt sich im Schutzleiter (PE) an der N-PE-Verbindung (hier im Hausanschlusskasten HAK) auf und wird zu einem Teil über den PEN-Leiter des Verteilernetzes und zu einem anderen Teil über die Haupterdungsschiene (früher: Hauptpotentialausgleichsschiene) und den Fundament zum Erdungspunkt der Stromquelle (Verteilungstransformator) zurückfließen. Die Stromaufteilung erfolgt im umgekehrten Verhältnis zu den Widerständen des

PEN-Leiters und der Summe aus Fundament- und Betriebserdungswiderstand, in unserem Beispiel also etwa im Verhältnis von 8:1.

Berechnung des Querschnitts

Mit der folgenden Formel lässt sich der Strom I_{Pot} über den Schutzpotentialausgleichsleiter und den Fundamenterder unseres Beispiels berechnen (Bild 1):

$$I_k = I_{Pot} \left(1 + \frac{R_{Fund} + R_B}{R_{PEN}} \right) \quad (Gl. 1)$$

Hierbei bedeuten:

- I_k – einpoliger Kurzschlussstrom
- I_{Pot} – Anteil des Kurzschlussstroms über den Schutzpotentialausgleich und Fundamenterder
- R_{PEN} – Widerstand des PEN-Leiters im Verteilernetz
- R_{Fund} – Erdungswiderstand des Fundamenterders
- R_B – Widerstand des Betriebserders

Hiermit ergibt sich aus Gl. 1:

$$\begin{aligned}
 I_{Pot} &= \frac{I_k \cdot R_{PEN}}{R_{PEN} + R_{Fund} + R_B} \\
 &= \frac{290 \text{ A} \cdot 1 \Omega}{0,5 \Omega + 7 \Omega + 1 \Omega} = 34 \text{ A}
 \end{aligned} \quad (Gl. 2)$$

Über den Schutzpotentialausgleichsleiter und die Haupterdungsschiene sowie den Fundamenterder wird also ein Strom von etwa 34 A fließen. Der Mindestquerschnitt des Schutzpotentialausgleichsleiters ist gemäß DIN VDE 0100-540:2007-06 Abschnitt 544.1 mit $6 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ festgelegt.

Dieser Querschnitt sollte ausreichen, zumal der Schutzpotentialausgleichs-

MINDESTQUERSCHNITTE FÜR SCHUTZLEITER

Leiterwerkstoff	Mindestquerschnitt in mm ²	
Kupfer	2,5	16
Aluminium	4	16
Art der Verlegung	mechanisch geschützt	mechanisch nicht geschützt

Mindestquerschnitte von Schutzleitern, die nicht Bestandteil von Kabeln und Leitungen sind oder nicht mit dem Außenleiter in gemeinsamer Umhüllung geführt sind

leiter nur in der Zeit bis zur Abschaltung des Fehlers belastet wird.

Die Kurzschlussstromtragfähigkeit dieses Querschnitts kann jedoch mit der im Abschnitt 543.1.2 von DIN VDE 0100-540:2007-06 angegebenen Formel überprüft werden:

$$S_{\text{Pot}} = \frac{\sqrt{I_{\text{Pot}}^2 t}}{k} \quad (\text{Gl. 3})$$

mit

- S_{Pot} – Querschnitt des Schutzpotentialausgleichsleiters
- I_{Pot} – Anteil des Kurzschlussstroms über den Schutzpotentialausgleichsleiter
- t – Abschaltzeit der Überstrom-Schutzeinrichtung
- k – Materialbeiwert gemäß Tabelle A.54.2 aus DIN VDE 0100-540:2007-06 mit $143 \text{ A}\sqrt{\text{s}}/\text{mm}^2$ (gilt für isolierte Schutzleiter, die nicht Bestandteil von Kabeln und Leitungen und nicht mit anderen Kabeln und Leitungen gebündelt sind).

Genormte Mindestquerschnitte genügen allen Anforderungen

Die Abschaltzeit eines modernen Leitungsschutzschalters liegt bei Ansprechen des magnetischen Auslösesystems unter 10ms. Bei der im Beispiel nach Bild 1 ausgewählten Überstromschutzeinrichtung der Auslösecharakteristik

B und dem Bemessungsstrom von 16A wird das magnetische Auslösesystem im ungünstigsten Fall bei 80A aktiviert. Der Kurzschlussstrom von 290A wird also in jedem Fall das magnetische Auslösesystem anregen. Insofern rechnen wir mit einer Ausschaltzeit der Überstrom-Schutzeinrichtung von 10ms.

Es ergibt sich somit für den Schutzpotentialausgleichsleiter zur Verbindung mit der Haupterdungsschiene ein notwendiger Querschnitt von:

$$S_{\text{Pot}} = \frac{\sqrt{34^2 \text{ A}^2 \cdot 0,01\text{s}}}{143 \text{ A}\sqrt{\text{s}}/\text{mm}^2} = 0,02 \text{ mm}^2 \quad (\text{Gl. 4})$$

Der zu wählende Mindestquerschnitt von 6mm² Cu erfüllt also mehr als reichlich die Anforderungen an die Stromtragfähigkeit des Schutzpotentialausgleichsleiters.

Selbst in dem als völlig theoretisch anzusehenden Fall, dass der gesamte mögliche Kurzschlussstrom über den Schutzpotentialausgleichsleiter fließen würde – für diesen Kurzschlussstrom sei hier einmal der höchste mögliche Wert für das Schaltvermögen eines Leitungsschutzschalters mit 10kA angenommen –, wäre nach der oben aufgeführten Berechnungsformel, bei einer Abschaltzeit des Leitungsschutzschalters von 5ms, der nach Norm definierte Mindestquerschnitt von 6mm² Cu noch ausreichend.

Insofern erübrigt sich in den allermeisten Fällen eine Berechnung des Querschnitts für den Schutzpotentialausgleichsleiter für die Verbindung mit der Haupterdungsschiene. Die in DIN VDE 0100-540, Abs. 544.1, für diesen Leiter angegebenen Mindestquerschnitte decken die Anforderungen i. d. R. ab.

Es gibt Sonderfälle, z.B. große gewerbliche oder industrielle Anlagen, in denen hohe Kurzschlussströme auftreten. Hier muss u.U. erwartet werden, dass die vorgegebenen Mindestquerschnitte für den Schutzpotentialausgleichsleiter für die Verbindung mit der Haupterdungsschiene nicht ausreichen. In diesen Fällen lässt sich der Querschnitt des Schutzpotentialausgleichsleiters mit einem der im Abschnitt 543.1.2 von DIN VDE 0100-540:2007-06 genannten Berechnungsverfahren ermitteln.

Schutzpotentialausgleichsleiter für den zusätzlichen Schutzpotentialausgleich

Die Mindestquerschnitte der Schutzpotentialausgleichsleiter für den zusätzlichen Schutzpotentialausgleich müssen mindestens denen für Schutzleiter entsprechen, die in Abs. 543.1 von DIN VDE 0100-540:2007-06 festgelegt sind (Tabelle). Darüber hinaus gilt:

- Ein Schutzpotentialausgleichsleiter, der die Körper zweier elektrischer Betriebsmittel miteinander verbindet, muss in Bezug auf Material und Querschnitt so bemessen sein, dass sein Produkt aus Leitfähigkeit und Querschnitt mindestens so groß ist, wie das Produkt aus Leitfähigkeit und Querschnitt des kleineren Schutzleiters, der an die Körper der elektrischen Betriebsmittel angeschlossen ist (Bild 2, Bereich A). Besteht der Schutzleiter für den zusätzlichen Potentialausgleich aus dem gleichen Leitermaterial wie beide Betriebsmittel-Schutzleiter, so folgt daraus, dass der Querschnitt des Schutzpotentialausgleichsleiters nicht kleiner sein darf, als der Querschnitt des kleineren beider Betriebsmittel-Schutzleiter.
- Ein Schutzpotentialausgleichsleiter, der Körper elektrischer Betriebsmittel mit fremden leitfähigen Teilen verbindet, muss in Bezug auf Material und Querschnitt entsprechend bemessen sein. Das Produkt aus Leitfähigkeit und Querschnitt muss mindestens halb so groß wie das Produkt aus Leitfähig-

MEHR INFOS:

Bücher zum Thema

Scholke, H.: Auswahl und Bemessung von Kabeln und Leitungen, 2007, ISBN 978-3-8101-0263-8

Fachbeiträge zum Thema

• Zander, H.: Erdungsanlagen, Schutzleiter und Schutzpotentialausgleichsleiter, dreiteiliger Fachbeitrag zur neuen DIN VDE 0100-540:2007-06 in den »de«-Ausgaben 11/2007, S. 24 ff., 12/2007, S. 26 ff., und 13-14/2007, S. 38 ff.

- Hörmann, W.: Schutz gegen elektrischen Schlag beim Errichten von Niederspannungsanlagen, zweiteiliger Fachbeitrag zu den Schutzmaßnahmen nach DIN VDE 0100-410 (VDE 100-410):2007-06 in den »de«-Ausgaben 13-14/2007, S. 30 ff. und 15-16/2007, S. 26 ff.

Links zum Thema

www.dke.de
www.vde-verlag.de
www.beuth.de

keit und Querschnitt des Schutzleiters zum elektrischen Betriebsmittel sein (Bild 2, rechts, Bereich B). Besteht der Schutzleiter für den zusätzlichen Potentialausgleich aus dem gleichen Leitermaterial wie der Betriebsmittel-Schutzleiter, so folgt daraus, dass der Querschnitt des Schutzpotentialausgleichsleiters mindestens halb so groß sein muss, wie der Querschnitt des Betriebsmittel-Schutzleiters.

Tritt im erstgenannten Fall am Betriebsmittel mit dem querschnitts-stärksten Schutzleiter ein Isolationsfehler auf, so wird sich der Fehlerstrom über den Betriebsmittel-Schutzleiter und über den zusätzlichen Schutzpotentialausgleichsleiter und den querschnitts-geringeren Schutzleiter aufteilen (Bild 2, links).

Die Stromaufteilung erfolgt im umgekehrten Verhältnis zu den Schutzleiterwiderständen, so dass im zusätzlichen Schutzpotentialausgleich nur jener Strom fließt, der auch im querschnitts-geringeren Betriebsmittel-Schutzleiter fließt. Die Stromtragfähigkeit (Leitwert) des zusätzlichen Schutzpotentialausgleichsleiters braucht deshalb nur dem Wert des kleineren Betriebsmittel-schutzleiters zu entsprechen.

Berechnung eines Bandstahlquerschnitts

Hierzu ein Beispiel: In einer Anlage entsprechend Bild 2, links, beträgt der Querschnitt des am Betriebsmittel 1 angeschlossenen Schutzleiters 16 mm^2 . Er besteht aus Kupfer. Der Schutzleiter für das Betriebsmittel 2 besteht ebenfalls aus Kupfer und weist einen Querschnitt von 10 mm^2 auf.

Beide Körper dieser Betriebsmittel sollen mit einem zusätzlichen Schutzpotentialausgleichsleiter verbunden werden, da aufgrund der verwendeten Überstrom-Schutzeinrichtungen die nach DIN VDE 0100-410 geforderte Abschaltzeit möglicherweise nicht eingehalten wird und Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen für den Schutz durch Abschalten in diesem Fall nicht in Frage kommen. Für den zusätzlichen Schutzpotentialausgleichsleiter kommt aus mechanischen Gründen Bandstahl zum Einsatz.

Gefragt ist in unserem Beispiel nun nach dem Mindestquerschnitt dieses Bandstahls. Wir rechnen hierbei mit den folgenden Leitfähigkeiten der Leitermaterialien:

- Kupfer mit $\kappa = 58\text{ m/mm}^2$
- Stahl mit $\kappa = 10\text{ m/mm}^2$

Somit ergibt sich folgende Rechnung:

$$\begin{aligned} \kappa_{\text{PEZ}} \cdot S_{\text{PEZ}} &\geq \kappa_{\text{PEZ}} \cdot S_{\text{PEZ}} \\ S_{\text{PEZ}} &\geq \frac{\kappa_{\text{PEZ}}}{\kappa_{\text{PEZ}}} \cdot S_{\text{PEZ}} \quad (\text{Gl. 5}) \\ &\geq \frac{58 \frac{\text{m}}{\Omega\text{mm}^2}}{10 \frac{\text{m}}{\Omega\text{mm}^2}} \cdot 10\text{mm}^2 \\ &= \underline{\underline{58\text{mm}^2}} \end{aligned}$$

Für den aus Bandstahl bestehenden zusätzlichen Schutzpotentialausgleichsleiter muss ein Querschnitt von mindestens 58 mm^2 vorgesehen werden. Ein Bandstahl $25\text{ mm} \times 3\text{ mm}$ wäre in diesem Fall also ausreichend.

Tritt im zweitgenannten Fall – also bei der Schutzpotentialausgleichsverbindung eines Betriebsmittelkörpers mit einem fremden leitfähigen Teil – im Betriebsmittel ein Isolationsfehler auf, so wird sich gemäss Bild 2, rechts, der Fehlerstrom aufteilen und sowohl über den Betriebsmittelschutzleiter als auch über den Schutzpotentialausgleichsleiter und das fremde leitfähige Teil fließen. Der Querschnitt des zusätzlichen Schutzpotentialausgleichsleiters braucht in diesem Fall bei gleichem Leiterwerkstoff nur halb so groß zu sein wie der Schutzleiter. Über den Schutzpotentialausgleichsleiter und das fremde leitfähige Teil wird mit hoher Sicherheit weniger als der halbe Fehlerstrom fließen.

Fazit

Die in DIN VDE 0100-540:2007-06 im Hauptabschnitt 544 festgelegten Mindestquerschnitte sowohl für den »Schutzpotentialausgleichsleiter für die Verbindung mit der Haupterdungsschiene« (früher: Hauptpotentialausgleichsleiter) als auch für den »Schutzpotentialausgleichsleiter für den zusätzlichen Schutzpotentialausgleich« genügen im Allgemeinen den Anforderungen an die Stromtragfähigkeit im Fehlerfall.

Eine besondere Berechnung dieser Leiterquerschnitte wird daher meist nicht nötig sein. Falls in besonderen Anlagen und bei Vorliegen besonderer Bedingungen die angegebenen Mindestquerschnitte nicht ausreichen, kann der Anwender den notwendigen Querschnitt für den jeweiligen Schutzpotentialausgleichsleiter mit dem für die Bestimmung von Schutzleiterquerschnitten angegebenen Rechenverfahren ermitteln.

Dipl.-Ing. Hartmut Zander,
Autor der Rubrik Praxisprobleme