

12 Schutzleiter – DIN VDE 0100-540, Abschnitt 543

Schutzleiter sind wichtige Betriebsmittel in einer elektrischen Anlage. Von der ordnungsgemäßen Funktion können Menschenleben abhängen, oder es können im Fehlerfall Sachwerte in größerem Umfang vernichtet werden. Die Bemessung des Schutzleiters und seine Verlegung ist deshalb mit großer Sorgfalt vorzunehmen.

Schutzleiter haben die Aufgabe, die Körper der Betriebsmittel in einer elektrischen Anlage miteinander zu verbinden. Im Falle eines Körperschlusses nehmen dann alle Körper in der Anlage annähernd gleiches Potential an, und als Berührungsspannung wird nur ein Teil der Fehlerspannung wirksam. Der Schutzleiter sorgt außerdem für eine nahezu widerstandslose direkte Verbindung zu einem Erder oder zu einem PEN-Leiter und von dort dann zu einem Erder. Bei einem vollkommenen Körperschluss an einem Betriebsmittel kann dann ein ausreichend großer Kurzschlussstrom fließen und die Auslösung durch eine vorhandene Schutzeinrichtung erfolgen, wodurch die Abschaltung des Fehlers eingeleitet wird.

Da der Begriff „Schutzleiter“ im Grunde einen Sammelbegriff darstellt, mit dem verschiedene Arten von Leiter für Schutzzwecke gemeint sein können, ist die begriffliche Festlegung von besonderer Bedeutung. Nicht selten entstehen falsche Vorstellungen oder unnötige Meinungsverschiedenheiten durch eine unklare und irreführende Verwendung der Begriffe. Näheres hierzu wird im Kapitel 10 dieses Buchs erläutert, und über die Kennzeichnung von Schutzleitern wird im Kapitel 16.10 alles Wesentliche gesagt.

12.1 Querschnitte von Schutzleitern – DIN VDE 0100-540, Abschnitt 543.1

Der Querschnitt von Schutzleitern muss so bemessen sein, dass

- er im Stande ist, den zu erwartenden Fehlerstrom zu führen und
- den Bedingungen der automatischen Abschaltung der Stromversorgung nach DIN VDE 0100-410 gerecht wird

Der Querschnitt des Schutzleiters ist grundsätzlich vom Querschnitt des Außenleiters, dem er zugeordnet ist, abhängig. Er kann entweder berechnet oder aus einer Tabelle ausgewählt werden. Gemäß den international und regional ausgehandelten Festlegungen gilt für den Schutzleiterquerschnitt **Tabelle 12.1**.

Bei Anwendung der Tabelle 12.1 ergeben sich in der Praxis bei gleichen Werkstoffen für Schutzleiter und Außenleiter und bei den verschiedenen Möglichkeiten der Verlegung für Schutzleiter die Werte nach **Tabelle 12.2**.

| Querschnitt des Außenleiters S mm^2 | Mindestquerschnitt des zugehörigen Schutzleiters mm^2 | |
|--|--|--|
| | Schutzleiter besteht aus demselben Werkstoff wie der Außenleiter | Schutzleiter besteht nicht aus demselben Werkstoff wie der Außenleiter |
| $S \leq 16$ | S | $\frac{k_1}{k_2} \cdot S$ |
| $16 < S \leq 35$ | $16^{1)}$ | $\frac{k_1}{k_2} \cdot 16$ |
| $S > 35$ | $\frac{S}{2}^{1)}$ | $\frac{k_1}{k_2} \cdot \frac{S}{2}$ |

Es bedeuten
 k_1 ist der Wert k für den Außenleiter, ermittelt mithilfe der Beziehung (C1) in Abschnitt 27.3 oder ausgewählt nach Tabelle C6 in Abhängigkeit vom Werkstoff des Leiters und der Isolierung.
Für PVC-isolierte Kupferleiter ist $k = 115 \text{ A}\sqrt{\text{s}}/\text{mm}^2$.
 k_2 ist der Wert k für den Schutzleiter, ausgewählt nach den Tabellen C2 bis C6 in Abschnitt 27.3, je nachdem, welche Tabelle anzuwenden ist.
Anmerkung: Die Tabellen sind auch in DIN VDE 0100-540 enthalten (Tabellen A.54.2 bis A.54.6).

¹⁾ Für einen PEN-Leiter ist die Reduzierung des Querschnitts nur in Übereinstimmung mit den Bemessungsregeln für Neutralleiter erlaubt (siehe DIN VDE 0100-520, Abschnitt 524) und Kapitel 12.4 dieses Buchs.

Tabelle 12.1 Mindestquerschnitte von Schutzleitern in Abhängigkeit vom Querschnitt der Außenleiter (Quelle: DIN VDE 0100-540:2012-06, Tabelle 54.2)

Bei der Berechnung des Querschnitts für den Schutzleiter wird die Grundbeziehung, die die adiabatische Erwärmung eines Leiters beschreibt, verwendet. Es gilt

$$I^2 t \leq k^2 S^2 \quad (12.1)$$

Adiabatisch ist die Erwärmung eines Leiters, solange sie nicht mit der Umgebung des Leiters in Kontakt tritt. Das heißt, solange der erwärmte Leiter noch keine bedeutende Wärmeenergie an seine Umgebung abgibt und sich die Erwärmung sozusagen lediglich im Innern des Leiters abspielt, kann man von einer adiabatischen Erwärmung sprechen. Für eine solche adiabatische Erwärmung gelten die Formeln, die hier im Folgenden sowie in DIN VDE 0100-430 verwendet werden. Sobald diese Voraussetzung nicht mehr gilt, wird der Erwärmungsvorgang derart komplex, dass entsprechende Formeln kaum noch zu ermitteln, bzw. die Erwärmung nicht mehr mit überschaubarem Aufwand zu berechnen ist. In der Regel wird davon ausgegangen, dass man ab einer Zeit von 5 s nach Eintritt des Kurzschluss- oder Körperschlussfalls nicht mehr von einer adiabatischen Erwärmung ausgehen kann. In dieser Zeit sollte ein Kurzschluss deshalb abgeschaltet werden, weil danach keine Aussage mehr über den Schutz von Kabel und Leitungen gemacht werden kann. Auch in Bezug auf die Abschaltzeiten beim Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung gilt die Zeit von 5 s als maximal mögliche Abschaltzeit.

| Nennquerschnitte | | | | |
|--------------------------------|--|--|---|--------------------------------|
| Außenleiter mm ² | Schutzleiter | | Schutzleiter getrennt verlegt ¹⁾ | |
| | isolierte Starkstromleitungen mm ² | 0,6/1-kV-Kabel mit vier Leitern mm ² | geschützt mm ² | ungeschützt mm ² |
| bis 0,5 | 0,5 | – | 2,5 | 4 |
| 0,75 | 0,75 | – | 2,5 | 4 |
| 1 | 1 | – | 2,5 | 4 |
| 1,5 | 1,5 | 1,5 | 2,5 | 4 |
| 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 4 |
| 4 | 4 | 4 | 4 | |
| 6 | 6 | 6 | 6 | |
| 10 | 10 | 10 | 10 | |
| 16 | 16 | 16 | 16 | |
| 25 | 16 | 16 | 16 | |
| 35 | 16 | 16 | 16 | |
| 50 | 25 | 25 | 25 | |
| 70 | 35 | 35 | 35 | |
| 95 | 50 | 50 | 50 | |
| 120 | 70 | 70 | 70 | |
| 150 | 70 | 70 | 70 | |
| 185 | 95 | 95 | 95 | |
| 240 | – | 120 | 120 | |
| 300 | – | 150 | 150 | |
| 400 | – | 185 | 185 | |

¹⁾ Ab einem Querschnitt des Außenleiters > 95 mm² sind vorzugsweise blanke Leiter anzuwenden.

Tabelle 12.2 Zuordnung des Schutzleiters zum Außenleiter; Werte für die praktische Anwendung

Für eine Abschaltzeit bis 5 s wird die Beziehung nach dem Schutzleiterquerschnitt S (Gl. 12.1) umgestellt, und es ergibt sich für die Berechnung des Querschnitts für den Schutzleiter folgende Gleichung

$$S \geq \frac{\sqrt{I^2 t}}{k} \quad (12.2)$$

In den Gln. (12.1) und (12.2) bedeuten

- S Schutzleiterquerschnitt in mm^2 (Mindestquerschnitt!)
- I Fehlerstrom (Kurzschlussstrom) in A, der bei einem vollkommenen Kurzschluss fließt
- t Ansprechzeit der verwendeten Schutzeinrichtung in s (maximal $t = 5$ s)
- k Faktor in $A\sqrt{s}/\text{mm}^2$, der abhängig ist vom Leiterwerkstoff, der Verlegeart, von zulässigen Anfangs- und Endtemperaturen (k -Werte siehe Anhang C (Kapitel 27.3))

Weitere Ausführungen zu diesem Thema sind in Kapitel 27.3 zu finden. Dort ist auch die Berechnung der k -Faktoren erläutert, und die Tabellen der k -Werte für die verschiedenen Anwendungsfälle sind aufgenommen.

Ergibt sich bei der Berechnung des Schutzleiterquerschnitts ein nicht genormter Querschnitt, was fast immer der Fall sein dürfte, ist stets der nächstgrößere Normquerschnitt zu wählen.

Unabhängig vom Ergebnis der Berechnung des Schutzleiterquerschnitts, das in der Regel einen geringeren Querschnitt als nach Tabelle 12.1 oder Tabelle 12.2 zulässt, sind bei getrennter Verlegung des Schutzleiters folgende **Mindestquerschnitte** immer einzuhalten

- $2,5 \text{ mm}^2$ Cu oder 16 mm^2 Al, wenn der Leiter mechanisch geschützt ist
- 4 mm^2 Cu oder 16 mm^2 Al, wenn der Leiter mechanisch nicht geschützt ist

Wenn ein Schutzleiter für zwei oder mehrere Stromkreise verwendet werden soll, muss der Querschnitt ermittelt werden durch

- Berechnung des Querschnitts, mit den für diese Stromkreise ungünstigsten Bedingungen von Fehlerstrom und Abschaltzeit
- Auswahl nach Tabelle 12.1 entsprechend dem größten Außenleiterquerschnitt dieser Stromkreise

In TT-Systemen darf der Schutzleiterquerschnitt begrenzt werden auf 25 mm^2 Cu und 35 mm^2 Al, vorausgesetzt, die Erder des Neutralpunkts im Verteilungssystem (Sternpunktterdung des Transformators oder Generators) und die fremden leitfähigen Teile der Anlage sind elektrisch voneinander unabhängig.

12.2 Arten von Schutzleitern – DIN VDE 0100-540, Abschnitt 543.2

Als Schutzleiter dürfen verwendet werden

- Leiter in mehradrigen Kabeln und Leitungen
- isolierte und blanke Leiter in gemeinsamer Umhüllung mit Außenleitern und dem Neutralleiter, z. B. in Elektroinstallationsrohren und Elektroinstallationskanälen
- fest verlegte blanke oder isolierte Leiter
- metallene Umhüllungen, wie Mäntel, Schirme und konzentrische Leiter bestimmter Kabel, z. B. NKLEY, NYCY, NYCWY, vorausgesetzt, sie entsprechen dem Schutzleiterquerschnitt und ihre Konstruktion ist so, dass die elektrischen Eigenschaften auf Dauer sichergestellt sind

Gehäuse von Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen und metallgekapselten Stromschiensystemen dürfen als Schutzleiter verwendet werden, wenn die metallenen Konstruktionsteile folgende Bedingungen erfüllen

- die durchgehende elektrische Verbindung muss auf Dauer sichergestellt sein, und eine Verschlechterung der Verbindung infolge mechanischer, chemischer oder elektrochemischer Einwirkungen kann nicht auftreten
- der Querschnitt der Konstruktion und der Verbindungen entspricht dem erforderlichen Schutzleiterquerschnitt
- an allen Anschlussstellen für Schutzleiter müssen auch andere Schutzleiter angeschlossen werden können

Als Schutzleiter und Schutzpotentialausgleichsleiter dürfen nicht verwendet werden

- Wasserleitungen aus Metall
- Rohre, die brennbare Gase oder Flüssigkeiten enthalten oder transportieren
- Konstruktionsteile, die im normalen Betrieb mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt sind
- flexible oder bewegliche Elektroinstallationsrohre aus Metall, es sei denn, sie sind für diesen Zweck geeignet und hergestellt
- flexible Metallteile
- Spanndrähte oder Tragseile
- Kabelwannen und Kabelpritschen

Zur Anschluss- und Verbindungstechnik von Schutzleitern untereinander und Schutzleitern mit anderen Teilen bzw. Anschlussstellen ist grundsätzlich zu bemerken

- ein angemessener Schutz gegen chemische, elektrochemische, mechanische und elektromechanische Beanspruchungen sollte vorhanden sein, z. B. Zugentlastungen, wo notwendig

- es sollte ein Schutz gegen Selbstlockern der Verbindung vorhanden sein (Anwendung von Zahnscheiben, Fächerscheiben oder Federringen)
- die Verbindung sollte zugänglich sein (ausgenommen vergossene Verbindungen)
- Befestigungs- und Verbindungsschrauben sollten nur dann als Anschlussstelle für den Schutzleiter verwendet werden, wenn sie dafür konstruiert und auch geeignet sind

Die Verwendung von Profilschienen (Tragschienen, G-Schienen) als Schutzleiter ist zulässig, wenn die Schienen den erforderlichen Querschnitt haben. **Tabelle 12.3** enthält Angaben über den Querschnitt verschiedener Profilschienen.

| Schienenprofil Norm Bezeichnung nach DIN EN 60715 (VDE 0660-520) | Werkstoff | entsprechender Querschnitt eines Kupferleiters mm² |
|---|------------------|--|
| Tragschiene ITH 15-15,5 | Stahl | 10 |
| | Kupfer | 25 |
| | Aluminium | 16 |
| G-Schiene G 32 | Stahl | 35 |
| | Kupfer | 120 |
| | Aluminium | 70 |
| Tragschiene TH 35-7,5 | Stahl | 16 |
| | Kupfer | 50 |
| | Aluminium | 35 |
| Tragschiene TH 35-15 | Stahl | 50 |
| | Kupfer | 150 |
| | Aluminium | 95 |

Tabelle 12.3 Verwendung von Profilschienen als Schutzleiter nach DIN EN 60947-7-2 (VDE 0611-3)

12.3 Erhalten der elektrischen Eigenschaften von Schutzleitern – DIN VDE 0100-540, Abschnitt 543.3

Schutzleiter sind wichtige Betriebsmittel, die dauerhaften Bestand aufweisen müssen. Sie sind entsprechend zu schützen gegen

- mechanische Beschädigung
- chemische oder elektrochemische Zerstörung
- elektrodynamische oder thermodynamische Kräfte

Die Anschluss- und Verbindungsstellen von Schutzleitern müssen zugänglich sein, um Sichtprüfungen wie Erstprüfungen und Nachprüfungen sowie ggf. auch Durch-

gangsmessungen vornehmen zu können. Ausgenommen sind vergossene oder gekapselte Verbindungen, Verbindungen in Installationsrohren und in Schienenverteilern sowie Verbindungen, die Teil eines Betriebsmittels sind und der Betriebsmittelnorm entsprechen.

Die Schutzleiterverbindungen (Klemmen und dgl.) dürfen so gestaltet sein, dass die Verbindungen für Prüfzwecke mit Werkzeug gelöst werden können.

Eine Unterbrechung des Schutzleiters darf in keinem Fall erfolgen, weshalb Schaltgeräte (Trenner, Schalter, Sicherungen, Leitungsschutzschalter und ähnliche Geräte) nicht in den Schutzleiter eingebaut werden dürfen. Bei einer elektrischen Überwachung der Erdung mittels Sensoren, Spulen oder dgl. dürfen diese Bauteile nicht in den Schutzleiter eingebaut werden.

Körper von Geräten dürfen als Teil eines Schutzleiters für andere Betriebsmittel nicht verwendet werden, es sei denn, dies ist ausdrücklich erlaubt und in Kapitel 12.2 beschrieben. Wenn Teile einer Anlage vorübergehend ausgebaut werden, ist darauf zu achten, dass der Schutzleiter nicht unterbrochen wird.

12.4 PEN-Leiter – DIN VDE 0100-540, Abschnitt 543.4

Der PEN-Leiter ist im TN-C-System ein kombinierter Leiter, der gleichzeitig die Funktion des Schutzleiters als auch die des Neutralleiters übernimmt. Er muss deshalb den Anforderungen, die an den Schutzleiter bestehen, und den Anforderungen, die an den Neutralleiter gestellt werden, entsprechen. Die Schutzleiterfunktion hat dabei Vorrang gegenüber den betrieblichen Belangen, die durch den Neutralleiter gegeben sind. Das Kunstwort „PEN“ setzt sich zusammen aus den Bezeichnungen „PE“ für Schutzleiter und „N“ für Neutralleiter.

In TN-C-Systemen und im TN-C-Teil von TN-C-S-Systemen darf der PEN-Leiter nicht getrennt und nicht geschaltet werden (DIN VDE 0100-460, Abschnitt 461.2), weshalb in den PEN-Leiter keine Schalter, Schutzorgane oder andere Trennmöglichkeiten eingebaut werden dürfen.

Der PEN-Leiter muss bei fester Verlegung mindestens folgenden Querschnitt haben

- 10 mm² Kupfer
- 16 mm² Aluminium

Weitere Festlegungen zum Querschnitt des PEN-Leiters sind in DIN VDE 0100-540 nicht getroffen. Die Möglichkeit der Reduzierung des Querschnitts für den Neutralleiter ist mit Herausgabe von DIN VDE 0298-4, Abschnitt 4.3.2 sowie DIN VDE 0100-430, Abschnitt 431.2.3 stark eingeschränkt worden. Theoretisch besteht allerdings auch heute noch die Möglichkeit, dies zu tun. Nach DIN VDE 0100-430, Abschnitt 431.2.1 kann dies auch auf den PEN-Leiter bezogen werden, da dessen Schutz so ausgeführt sein darf wie der des Neutralleiters. Bedingung hierfür ist, dass

- entweder der größte Strom im PEN-Leiter bei normalem Betrieb die zulässige Strombelastbarkeit dieses Leiters nicht überschreitet und in den Außenleitern Schutzeinrichtungen vorhanden sind, die den Kurzschlusschutz des Systems, auch unter Berücksichtigung des reduzierten Querschnitts des PEN-Leiters, sicherstellen
- oder im PEN-Leiter eine Überstromerfassung (Überlast- und Kurzschlusschutz) eingebaut ist, die auf ein Schaltglied wirkt, das alle Außenleiter gleichzeitig abschaltet, wobei der PEN-Leiter nicht mitgeschaltet werden darf

Wenn also eine der genannten Bedingungen erfüllt ist, darf der PEN-Leiter-Querschnitt nach Tabelle 12.2, wie für den Schutzleiter vorgesehen, bemessen werden. Der PEN-Leiter-Querschnitt kann auch nach Kapitel 27.3 berechnet werden.

Nach DIN VDE 0100-430, Abschnitt 431.2.3 müssen dabei stets mögliche Oberschwingungsbelastungen berücksichtigt werden.

Immer wieder taucht die Frage auf, wo der PEN-Leiter des Versorgungsstromkreises aufgelegt werden soll. Die aktuelle Ausgabe von DIN VDE 0100-540 gibt hierzu konkrete Hinweise mit skizzenhaften Beispielen. Grundsätzlich gilt, dass der PEN-Leiter nach DIN VDE 0100-540, Abschnitt 543.4.3 in der Hauptverteilung verbunden werden muss mit

- der Schiene oder Klemme, die für den Schutzleiter vorgesehen ist, oder
- einer bestimmten Schiene oder Klemme, die speziell für die Verbindung des PEN-Leiters vorgesehen ist.

Beispiele hierfür zeigt **Bild 12.1**.

Nach der Aufteilung des PEN-Leiters dürfen Schutzleiter und Neutralleiter nicht mehr verbunden werden; ebenso ist eine direkte oder indirekte Erdung des Neutralleiters nicht mehr zulässig.

Diese Maßnahme wäre eine Parallelschaltung von Schutzleiter und Neutralleiter, was auf alle Fälle zu verhindern ist. Geht von einer solchen Verteilung ein TN-C-Stromkreis in die Anlage (drei Außenleiter und ein PEN-Leiter), so ist der PEN-Leiter auf die PE-Schiene zu führen.

Zu erwähnen sind noch folgende Festlegungen

- fremde leitfähige Teile, Spannseile, Aufhängeseile, Installations-Metallrohre, Kabelkanäle, Metallschläuche, Profilschienen u. dgl. dürfen nicht als PEN-Leiter verwendet werden
- metallene Umhüllungen von Kabeln und Leitungen dürfen nicht als PEN-Leiter verwendet werden
- die metallene Umhüllung von Schienenverteilern darf als PEN-Leiter verwendet werden, wenn der Querschnitt ausreicht und die Verbindungsstellen so ausgebildet sind, wie dies für PEN-Leiter gefordert ist

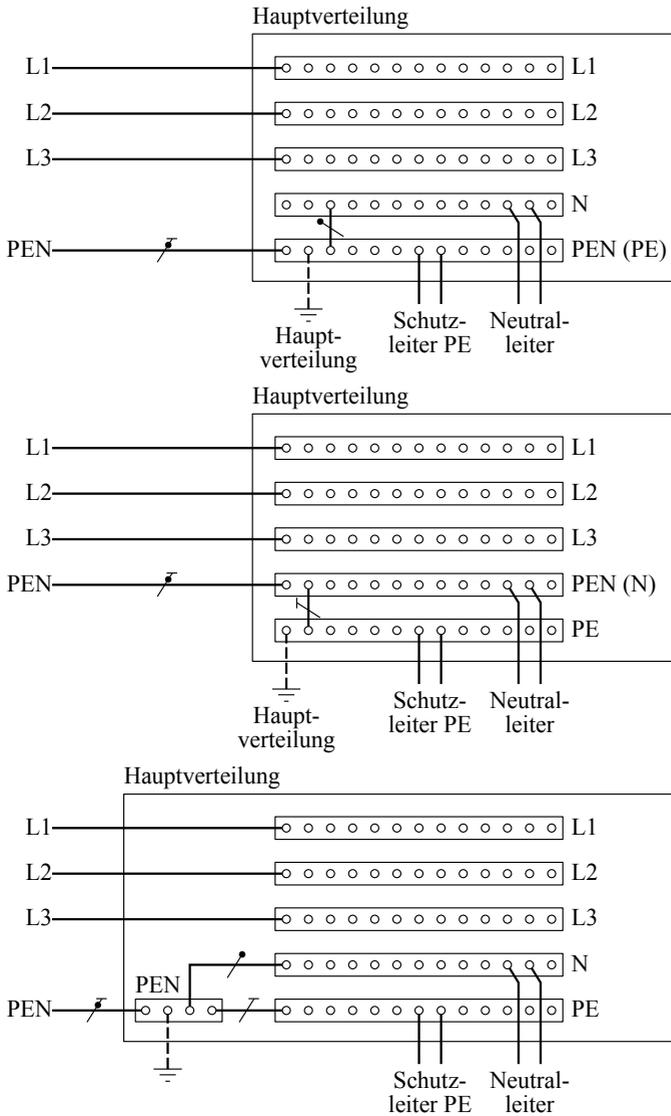


Bild 12.1 Anschluss des PEN-Leiters des einspeisenden Versorgungsstromkreises mit Aufteilung dieses Leiters in Schutzleiter und Neutralleiter in der Hauptverteilung (Quelle: DIN VDE 0100-540:2012-06, Bild 54.1)

- PEN-Leiter müssen für die Netz-Nennspannung isoliert verlegt werden
Anmerkung: Die Notwendigkeit der isolierten oder nicht isolierten Verlegung des PEN-Leiters innerhalb von Betriebsmitteln, z. B. Schaltanlagen, wird durch das entsprechende Betriebsmittel-Komitee festgelegt, dabei ist besonders die zu erwartende Beeinflussung bezüglich der EMV zu berücksichtigen
- innerhalb von Schaltanlagen braucht der PEN-Leiter nicht isoliert zu werden

Nach DIN VDE 0100-444 dürfen in Anlagen mit einer Niederspannungseinspeisung vom Einspeisepunkt aus keine PEN-Leiter mehr verlegt werden. Liefert der Netzbetreiber eine Mittelspannungseinspeisung und befindet sich der einspeisende Transformator im Gebäude oder in dessen Nähe, ist ein PEN-Leiter nur dann erlaubt, wenn keine wesentliche informationstechnische Nutzung im Gebäude vorgesehen ist. Auf die allermeisten modernen Gebäude wird das allerdings kaum zutreffen, sodass der PEN-Leiter im Grunde kaum noch in einem neu errichteten Gebäude vorhanden sein dürfte.

12.5 Kombinierte Schutzerdungsleiter und Funktionserdungsleiter – DIN VDE 0100-540, Abschnitt 543.5

Wenn ein gemeinsamer Erdungsleiter, der als Schutzerdungsleiter und Funktionserdungsleiter dient, zum Einsatz gelangt, muss dieser Erdungsleiter

- die Anforderungen, die an einen Schutzerdungsleiter gestellt sind, erfüllen (siehe hierzu die Kapitel 12.1 bis 12.3)
- und die Bedingungen erfüllen, die an den Funktionserdungsleiter gestellt werden

Die Anforderungen an den Schutzerdungsleiter sind in den Kapiteln 12.1 bis 12.3 behandelt und ausführlich beschrieben.

Die Anforderungen an den Funktionserdungsleiter sind verschiedener Natur und u. a. in folgenden Normen behandelt

- DIN VDE 0100-444 „Drehzahlveränderbare elektrische Antriebe“
- DIN EN 61800 (VDE 0160) „Ausrüstung von Starkstromanlagen mit elektronischen Betriebsmitteln“
- DIN EN 50310 (VDE 0800-2-310) „Anwendung von Maßnahmen für Potentialausgleich und Erdung in Gebäuden mit Einrichtungen für die Informationstechnik“
DIN V VDE V 0800-2 (VDE V 0800-2) „Informationstechnik – Teil 2: Potentialausgleich und Erdung (Zusatzfestlegungen)“
- DIN EN 62368-1 (VDE 0868-1) „Einrichtungen für Audio/Video-, Informations- und Kommunikationstechnik – Sicherheitsanforderungen“

Anmerkung: Die Aufzählung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Die in den verschiedenen Anwendungsfällen aufgestellten Forderungen an den Funktionserdungsleiter sind den genannten Normen zu entnehmen. In der Regel sind dabei, um elektromagnetische Störungen zu verhindern, Betriebsmittel oder Geräte miteinander zu verbinden oder mit Erdungen zu verbinden, damit diese ein gleiches Potential annehmen und so einen störungsfreien Betrieb ermöglichen.

Der Funktionserdungsleiter wird nach DIN EN 60445 (**VDE 0197**) mit der Buchstabenkombination FE gekennzeichnet (siehe Kapitel 16.10.2.6 und Tabelle 16.13 dieses Buchs).

Auch in Gleichstromsystemen darf ein geeigneter Mittelleiter (PEM-Leiter) oder ein geeigneter Außenleiter (PEL-Leiter) als kombinierter Schutzerdungsleiter und Funktionserdungsleiter verwendet werden. In diesen Fällen dürfen fremde leitfähige Teile nicht als PEM-Leiter oder PEL-Leiter verwendet werden. Obwohl solche Leiter in der Praxis selten vorkommen, werden sie nachfolgend definiert

- Ein **PEM-Leiter** ist ein geerdeter Leiter, der zugleich die Funktion eines Schutzleiters (PE) und die eines Mittelleiters (M) in einem Gleichstromsystem erfüllt (DIN VDE 0100-200, Abschnitt 826-13-26)
- Ein **PEL-Leiter** ist ein geerdeter Leiter, der zugleich die Funktion eines Schutzleiters (PE) und die eines Außenleiters (L) in einem Gleichstromsystem erfüllt (DIN VDE 0100-200, Abschnitt 826-13-27)

12.6 Anordnung von Schutzleitern – DIN VDE 0100-540, Abschnitt 543.8

Wenn in einer elektrischen Anlage zum Schutz gegen elektrischen Schlag Überstrom-Schutzeinrichtungen verwendet werden, muss der Schutzleiter in demselben Kabel bzw. derselben Leitung verlegt sein wie die aktiven Leiter, also die Außenleiter und der Neutralleiter, d. h., er sollte in der Leitung einbezogen sein (der fünfte Leiter). Wird der Schutzleiter getrennt verlegt, so muss er in unmittelbarer Nähe der Außenleiter angeordnet sein.

12.7 Verstärkte Schutzleiter bei Schutzleiterströmen größer 10 mA – DIN VDE 0100-540, Abschnitt 543.7

Die zulässigen Ableitströme für elektrische Betriebsmittel und Geräte sind in den jeweiligen Betriebsmittelnormen festgelegt. In der Regel darf ein Gerät der Schutzklasse I einen Ableitstrom von 3,5 mA nicht überschreiten. Für Wärmegeräte und Leuchtenanlagen sind maximal 5 mA zulässig. Ableitströme können als reiner Wirkstrom und als Wirkstrom mit kapazitivem oder induktivem Anteil auftreten. Siehe hierzu auch Kapitel 12.8.

Durch den Einsatz von modernen elektronischen Einrichtungen, z. B. Frequenzumrichtern, kommt es immer häufiger zu deutlich höheren Ableitströme ($> 10 \text{ mA}$), die in der Regel hauptsächlich über den Schutzleiter als Schutzleiterströme zur Spannungsquelle zurückfließen.

Anmerkung: In solchen Fällen sind auch beim Einsatz von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs) betriebliche Probleme durch ungewünschte Auslösungen zu erwarten. Dort, wo fest angeschlossene Verbrauchsmittel eingesetzt und Schutzleiterströme größer 10 mA zu erwarten sind, muss der Schutzleiter wie folgt bemessen werden

- der Schutzleiter muss in seinem gesamten Verlauf einen Querschnitt von mindestens
 - 10 mm^2 Kupfer oder
 - 16 mm^2 Aluminiumaufweisen, oder
- ein zweiter Schutzleiter ist zusätzlich zu verlegen, der mindestens den gleichen Querschnitt hat, wie es für den Schutz bei indirektem Berühren (Fehlerschutz) festgelegt ist, und bis zu dem Punkt der Anlage verlegt werden muss, an dem der Schutzleiter einen Querschnitt von 10 mm^2 Cu oder 16 mm^2 Al aufweist. Dies erfordert eine getrennte (zweite) Anschlussklemme für den Schutzleiter am Betriebsmittel (Gerät).

In TN-C-Systemen, in denen ein PEN-Leiter bis zur Anschlussstelle des Betriebsmittels verlegt ist, darf der Schutzleiterstrom als Betriebsstrom behandelt werden. Ein nach Kapitel 12.4 dimensionierter PEN-Leiter erfüllt die oben genannte Forderung.

12.8 Schutzleiterströme – DIN VDE 0100-510, Abschnitt 516

Das Thema Schutzleiterströme (Ableitströme) ist zurzeit bei IEC in Beratung.

Ein Schutzleiterstrom im Sinne von DIN VDE 0100-510, Abschnitt 516 ist ein Strom, der im Schutzleiter fließt, wenn die Betriebsmittel fehlerfrei in Betrieb sind.

Die Hersteller von elektrischen Betriebsmitteln sind aufgefordert, in einer Dokumentation die Schutzleiterströme der Betriebsmittel anzugeben.

Schutzleiterströme, die von elektrischen Betriebsmitteln bei normalen Betriebsbedingungen erzeugt werden, und die elektrische Anlage müssen so aufeinander abgestimmt sein, dass eine ausreichende Sicherheit besteht und ein bestimmungsgemäßer Betrieb möglich ist. Die Größe der Ableitströme ist in der Regel in der Betriebsmittelnorm angegeben. Die zulässigen Schutzleiterströme (Ableitströme) von Betriebsmitteln und deren Grenzen sind in IEC 61140 und DIN EN 61140 (**VDE 0140-1**) festgelegt. Die zulässigen Werte für Schutzleiterströme sind in DIN VDE 0100-510, Anhang NA, dargestellt.

Für Verbrauchsmittel mit einer Bemessungsfrequenz bis 1 kHz sind die Grenzwerte der Schutzleiterströme nach **Tabelle 12.4** zu beachten:

| Betriebsmittelbemessungsstrom | maximaler Schutzleiterstrom bis 1 kHz |
|--|---------------------------------------|
| $\leq 2 \text{ A}$ | 1 mA |
| $> 2 \text{ A}$, aber $\leq 20 \text{ A}$ | 0,5 mA/A |
| $> 20 \text{ A}$ | 10 mA |

Tabelle 12.4 Maximale Schutzleiterströme für Frequenzen bis 1 kHz
(Quelle: DIN EN 61140 (VDE 0140-1):2016-11, Tabelle 4)

Für Verbrauchsmittel mit verstärktem Schutzleiter (siehe Kapitel 12.7), die dauerhaft fest angeschlossen sind, sollen die Produktkomitees der DKE den maximalen Schutzleiterstrom so festlegen, dass er in keinem Fall 5 % des Bemessungsstroms je Außenleiter überschreitet.

Betriebsmittel für Wechselstrom (AC) dürfen im normalen Betrieb keine Gleichspannungsanteile (DC) im Schutzleiter erzeugen, die die Werte der **Tabelle 12.5** überschreiten.

| Betriebsmittelbemessungsstrom AC | maximaler Schutzleiterstrom DC |
|--|--------------------------------|
| $\leq 2 \text{ A}$ | 5 mA |
| $> 2 \text{ A}$, aber $\leq 20 \text{ A}$ | 2,5 mA/A |
| $> 20 \text{ A}$ | 50 mA |

Tabelle 12.5 Maximale DC-Schutzleiterströme
(Quelle: DIN EN 61140 (VDE 0140-1):2016-11, Tabelle 5)

Die genannten Werte sind von den Produktkomitees zu berücksichtigen, um übermäßig große Schutzleiterströme zu vermeiden und um elektrische Betriebsmittel und Schutzmaßnahmen in der Anlage zu koordinieren. Bei der Festlegung von Schutzleiterströmen muss von den Produktkomitees berücksichtigt werden, dass für Schutzzwecke auch Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen in einer Anlage vorgesehen sein können. In diesen Fällen muss der Schutzleiterstrom mit der vorgesehenen Schutzeinrichtung verträglich sein, d. h., es darf zu keinen Fehlauflösungen durch die Fehlerstrom-Schutzeinrichtung kommen. Detaillierte Angaben zu Gleichstromanteilen im Schutzleiterstrom sind in der Norm DIN EN 61140 (VDE 0140-1) „Schutz gegen elektrischen Schlag – Gemeinsame Anforderungen für Anlagen und Betriebsmittel“ enthalten.

Die genannten Werte sind von den Produktkomitees zu berücksichtigen, um übermäßig große Schutzleiterströme zu vermeiden und um elektrische Betriebsmittel und Schutzmaßnahmen in der Anlage zu koordinieren.

Bei der Festlegung von Schutzleiterströmen muss von den Produktkomitees berücksichtigt werden, dass für Schutzzwecke auch Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen in einer Anlage vorgesehen sein können. In diesen Fällen muss der Schutzleiterstrom mit der vorgesehenen Schutzeinrichtung verträglich sein, d. h., es darf zu keinen Fehlauslösungen durch die Fehlerstrom-Schutzeinrichtung kommen.