

# Erdungsanlagen, Schutzleiter und Schutzpotentialausgleichsleiter (2)

## Weitere Begriffe und Berechnungen

Hartmut Zander

Dieser zweite Beitragsteil befasst sich mit den Begriffen Erdungsleiter, Haupterdungsschiene, Schutzleiter und Schutzleiterquerschnitt.

Die einführenden Erläuterungen der neuen Norm im ersten Beitragsteil gaben einen Überblick über die Neuerungen im Vergleich zur alten Norm (Bild 1). Weiterhin gab es Erläuterungen zu den Begriffen Erdungsanlage und Erder sowie zu speziellen Ausführungsformen von Fundamenterdern.

An dieser Stelle knüpfen wir an die am Schluss des ersten Beitragsteils getätigte Aussage an, dass für Erder, bei denen ein bestimmter Erdungswiderstand gefordert ist, u.a. die örtliche Bodenqualität beachtet werden muss: Auch die Möglichkeit der elektrochemischen Korrosion bei Zusammenschluss verschiedener Erderwerkstoffe oder bei Vorhandensein unterirdischer Metallkonstruktionen oder Rohleitungen aus Metall ist dabei zu beachten. Chemische Vorgänge können Erdermaterialien zerstören. So findet man z. B. im Fachbuch von Schmolke, H.; Vogt, D.: Potentialausgleich, Fundamenterder, Korrosionsgefährdung, VDE-Schriftenreihe 28, VDE Verlag, Berlin, diesbezüglich Hinweise und Lösungen für solche Probleme (Glossar 6). Als *Erder* kommen *in keinem Fall* in Frage:

- Wasser- und Gasrohre,
- Rohrleitungen zur Fortleitung brennbarer Flüssigkeiten und
- in Wasser eingetauchte Metallteile, z. B. in Bäche, Flüsse oder Seen.

### Zum Begriff Erdungs- und Schutzerdungsleiter

Ist die Erdungsanlage für Schutzzwecke vorgesehen, so ist der Erdungslei-

Dipl.-Ing. Hartmut Zander,  
ABB Schweiz, Schaffhausen

Fortsetzung aus »de« 11/2007, S. 24 ff.

DIN VDE 0100-540:2007-06	DIN VDE 0100-540:1991-11
541 Allgemeines	1 Anwendungsbereich
542 Erdungsanlagen	2 Begriffe
543 Schutzleiter	3 Allgemeines
544 Schutzpotentialausgleichsleiter	4 Verbindungen zur Erde
Anhang A normativ – Berechnung Faktor k	5 Schutzleiter
Anhang B informativ – Darstellung Begriffe	6 Anwendung von Erdungsleitern und Schutzleitern
Anhang ZA informativ – Erderwiderstände	7 Erdung für Funktionszwecke
Anhang ZB informativ – Fundamenterder	8 Kombinierte Erdung für Schutz- und Funktionszwecke
Anhang ZC informativ – A-Abweichungen	9 Potentialausgleichsleiter
Anhang ZD normativ – nat. Bedingungen	Anhänge A/B/C

Bild 1: Vergleich der Gliederungen von DIN VDE 0100-540:2007-06 mit DIN VDE 0100-540:1991-11

### GLOSSAR 6

#### Erdungsleiter

Leiter, der einen Strompfad oder einen Teil des Strompfades zwischen einem gegebenen Punkt eines Netzes, einer Anlage oder eines Betriebsmittels und einem Erder oder einem Erdernetz herstellt.  
DIN VDE 0100-200:2006-06 – 826-13-12

#### Funktionserdung

Erdung eines Punktes oder mehrerer Punkte eines Netzes, einer Anlage oder eines Betriebsmittels zu anderen Zwecken als die elektrische Sicherheit.  
DIN VDE 0100-200:2006-06 – 826-13-10

#### Funktionserdungsleiter

Erdungsleiter zum Zweck der Funktionserdung.  
DIN VDE 0100-200:2006-06 – 826-13-28

#### Schutzerdungsleiter

Leiter zum Zweck der Schutzerdung.  
DIN VDE 0100-200:2006-06 – 826-13-23

#### Schutzerdung

Erdung eines Punktes oder mehrerer Punkte eines Netzes, einer Anlage oder eines Betriebsmittels zu Zwecken der elektrischen Sicherheit.  
DIN VDE 0100-200:2006-06 – 826-13-09

ter ein Schutzleiter. Man bezeichnet ihn deshalb als *Schutzerdungsleiter*. Wie oben bereits beschrieben, verfolgt die vorliegende Norm DIN VDE 0100-540:2007-06 das Ziel der Sicherheit elektrischer Anlagen. Die hier beschriebenen Anforderungen an den Erdungsleiter stellen deshalb Anforderungen an einen Schutzerdungsleiter dar. Insofern muss der in dieser Norm beschriebene Erdungsleiter in Bezug auf seine Ausführung die Anforderungen erfüllen, die an Schutzleiter gestellt werden. Somit ist der Querschnitt des Erdungsleiters entsprechend den für Schutzleiter vorgegebenen Tabellenwerten (Tabelle 2) auszuwählen oder mit dem für Schutzleiter angegebenen Rechenverfahren zu ermitteln.

Da der Schutzleiterquerschnitt entsprechend dem im Stromkreis zugehörigen Außenleiterquerschnitt zu bemessen ist, stellt sich dann jedoch die Frage, welcher Außenleiterquerschnitt für die Auswahl des Erdungsleiterquerschnitts der maßgebliche ist. Formal wäre das der querschnittsstärkste durch Überstrom-Schutzeinrichtungen geschützte Außenleiterquerschnitt der Anlage. Die Dimensionierung des

Querschnitts erfolgt hierbei unter dem Gesichtspunkt der Stromtragfähigkeit im Fehlerfall.

### Korrosion und mechanische Festigkeit

Wird ein Erdungsleiter im Erdreich verlegt, so muss man seinen Mindestquerschnitt auch mit Blick auf Korrosion und mechanische Festigkeit auswählen. Tabelle 3 gibt Mindestquerschnitte von Erdungsleitern unter Beachtung des mechanischen Schutzes und des Korrosionsschutzes an. Verfügt ein Erdungsleiter im Erdreich über einen Korrosionsschutz – z.B. Isolierhülle oder mechanisch geschützt, durch Verlegung in einem Schutzrohr –, so darf man den geforderten Mindestquerschnitt deutlich reduzieren.

Hierzu ein Beispiel: In einem Gebäude beträgt der stärkste verlegte Außenleiterquerschnitt  $70 \text{ mm}^2$  Cu. Der zugehörige Schutzleiterquerschnitt muss gemäß Tabelle 2  $35 \text{ mm}^2$  Cu betragen. Das wäre dann auch der Querschnitt für einen aus Cu bestehenden Erdungsleiter, der aufgrund der notwendigen Stromtragfähigkeit zu

Schutzleiter I	
Querschnitt des Außenleiters $S$ $\text{mm}^2$	Mindestquerschnitt des zugehörigen Schutzleiters $\text{mm}^2$
$S \leq 16$	$S$
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$S/2$

**Tabelle 2: Mindestquerschnitte, bei zugehörigem Außenleiter aus demselben Werkstoff**

fordern wäre. Der Erdungsleiter soll aus einem mehrdrätigen, nicht isolierten (nicht gegen Korrosion geschützten) Kupferleiter bestehen und ist teilweise im Erdreich verlegt. Gemäß Tabelle 3 müsste er aufgrund der notwendigen mechanischen Festigkeit deshalb über einen Mindestquerschnitt von  $25 \text{ mm}^2$  verfügen. Da aber der Erdungsleiterquerschnitt hinsichtlich der Stromtragfähigkeit  $35 \text{ mm}^2$  betragen muss (mehr als  $25 \text{ mm}^2$ ) ist auch die notwendige mechanische Festigkeit gegeben.

Es ist eigentlich selbstverständlich, dass der Anschluss eines Erdungsleiters einerseits an den Erder, andererseits an die elektrische Anlage oder an das Be-

triebsmittel (Verbrauchsmittel) mechanisch fest und elektrisch zuverlässig ausgeführt sein muss. Es eignen sich Schraubverbindungen, die gegen Selbstlockern geschützt sind, Schweiß- oder Klemm- und Pressverbindungen mit den entsprechend dafür vorgesehenen Verbindern. Lötverbindungen bieten im Allgemeinen keine dauernd sichere Verbindung.

### Zum Begriff Haupterdungsschiene

An der Haupterdungsschiene schließt man sowohl einen oder mehrere Erdungsleiter sowie die Verbindung zu einem Punkt in der Anlage oder im Netz an, z.B. zum Schutzleiter oder zu einem

## Leiterquerschnitte im Erdreich

Leiterwerkstoff	Mindestquerschnitt in mm <sup>2</sup>			
	Cu	Stahl	Cu	Stahl
Gegen Korrosion geschützt	2,5	10	16	16
Gegen Korrosion nicht geschützt	25	50	25	50
Art der Verlegung	mechanisch geschützt		mechanisch nicht geschützt	

**Tabelle 3: Mindestquerschnitte für Erdungsleiter im Erdreich**

Betriebsmittel. Gleichzeitig dient die Haupterdungsschiene als Potentialausgleichsschiene zur Herstellung eines Potentialausgleichs. Insofern war die früher übliche Bezeichnung Hauptpotentialausgleichsschiene logisch. Allerdings erscheint dieser Begriff nicht im internationalen elektrotechnischen Wörterbuch (Glossar 7).

Folgende Leiter sind mit der Haupterdungsschiene zu verbinden:

- Erdungsleiter (Schutzerdungsleiter),
- Funktionserdungsleiter (sofern vorhanden),
- Schutzleiter und
- Schutzpotentialausgleichsleiter.

Man muss hierbei nicht jeden Schutzleiter oder Schutzpotentialausgleichsleiter einzeln an die Haupterdungsschiene führen. Das sogenannte Durchschleifen ist hier möglich, sofern sich durchgehend die Anforderungen für Schutzleiter erfüllen lassen.

Der Haupterdungsschiene kommt mit dieser Aufgabe eine zentrale Stellung innerhalb der Erdungsanlage zu. Die Verbindungen müssen deshalb auch elektrisch sicher und dauerhaft hergestellt werden können. DIN VDE 0100-540:2007-06 verlangt grundsätzlich, dass es möglich sein muss, jeden der angeschlossenen Leiter einzeln von der Haupterdungsschiene zu trennen. Das Lösen dieser Verbindungen darf jeweils nur mit Werkzeug möglich sein. Um allerdings eine einfache Messung des Erdungswiderstands zu ermöglichen, dürfen geeignete Trennmöglichkeiten

auch direkt an der Haupterdungsschiene angeordnet sein.

Haupterdungsschienen, die in Deutschland der Norm DIN VDE 0618 entsprechen, erfüllen im Allgemeinen diese Anforderungen.

### Zum Begriff Schutzleiter

Wendet man als Fehlerschutzmaßnahme die »Automatische Abschaltung der Stromversorgung« nach DIN VDE 0100-410 Abschnitt 411 an, so müssen die Körper elektrischer Betriebsmittel mit einem Schutzleiter verbunden sein, entsprechend den Bedingungen, die sich aus dem angewendeten oder vorliegenden Netzsystem (System nach Art der Erdverbindung) ergeben. Dieser Schutzleiter ist entsprechend den normativen Vorgaben mit Erde zu verbinden.

Bei Auswahl und Errichtung des Betriebsmittels »Schutzleiter« muss der Anwender Folgendes beachten:

- Der Querschnitt des Schutzleiters muss das Einhalten der Bedingungen für die automatische Abschaltung und in Bezug auf die Belastung mit dem Fehlerstrom sicherstellen.
- Material und Art des Schutzleiters müssen in Bezug auf seine Stromtragfähigkeit und durchgehende elektrische Verbindung abgestimmt sein.
- Mehrfachfunktionen des Schutzleiters, z.B. als Kombination mit einem N-zum PEN-Leiter oder als kombinierter Schutz- und Funktionserdungsleiter, dürfen sich natürlich niemals nachteilig

lig auf die jeweilige Schutzfunktion des Leiters auswirken.

- Die Anschlussklemmen für Schutzleiter müssen den entsprechend diesen Vorgaben geforderten Leiter nach Querschnitt und Material aufnehmen können.

### Zum Schutzleiterquerschnitt

Im ungestörten Betrieb führt der Schutzleiter keinen Strom. Liegt allerdings ein Isolationsfehler vor, so kann der Fehlerstrom je nach Art des verwendeten Netzsystems als Kurzschlussstrom beträchtliche Größenordnungen annehmen. Für die Zeit bis zur Abschaltung dieses Stroms durch eine vorgeschaltete Schutzeinrichtung muss der Schutzleiter ausreichend stromtragfähig sein, das heißt, es darf weder für ihn selbst, für seine Isolierung – sofern vorhanden – noch für seine Umgebung aus dieser Strombelastung eine Gefahr entstehen, z. B. eine Brandgefahr.

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass diese Gefahr nicht besteht, wenn der Schutzleiter den gleichen Querschnitt aufweist, wie der diesem Stromkreis zugeordnete Außenleiter. Da jedoch der Außenleiter nicht nur für kurzzeitig fließende Fehlerströme, sondern auch für die die ständig zu erwartenden Betriebsströme zu bemessen ist, hat dies Auswirkungen auf seinen Querschnitt. Im ungestörten Dauerbetrieb darf z. B. ein PVC-isolierter Kupferleiter an seiner Oberfläche eine maximale Temperatur von 70 °C erreichen. Wird diese Temperatur ständig oder für längere Zeitabschnitte überschritten, so wird das Isoliermaterial thermisch überproportional stark belastet. Die Versprödung des Isoliermaterials durch Austritt des vorhandenen Weichmachers, welche ohnehin ständig stattfindet, wird durch die erhöhte Temperatur beschleunigt. Die Lebensdauer der Isolierung eines derart beanspruchten Leiters nimmt stark ab.

Findet hingegen nur selten und dann auch nur für eine kurze Zeitspanne eine Strombelastung statt, z. B. bei einem Schutzleiter, so darf der Strom deutlich größer sein als im Dauerbetrieb. Für eine kurze Zeitspanne bis max. 5 s darf z. B. ein PVC-isolierter Kupferleiter eine Temperatur von höchstens 160 °C erreichen. Man geht davon aus, dass die in dieser kurzen Zeit im Leiter entstehende Wärmemenge dort gespeichert und dass keine nennenswerte Wärmemenge an die

## Schutzleiter II

Leiterwerkstoff	Mindestquerschnitt in mm <sup>2</sup>	
Cu	2,5	16
Al	4	16
Art der Verlegung	mechanisch geschützt	mechanisch nicht geschützt

**Tabelle 4: Mindestquerschnitte von Schutzleitern, die nicht Bestandteil von Kabeln und Leitungen sind oder nicht mit dem Außenleiter in gemeinsamer Umhüllung geführt sind**

Umgebung abgegeben wird (adiabatische Erwärmung).

Diese speicherbare Wärmemenge – hervorgerufen durch den Fehlerstrom (Kurzschlussstrom) – hängt u.a. ab von

- der Temperatur des Leiters vor Beginn des Fehlerstromflusses – das könnte die zulässige Betriebstemperatur für den Leiter sein –,
- der kurzzeitig zulässigen Endtemperatur des Leiters sowie
- vom Leitermaterial und in gewisser Weise auch von seinem Querschnitt (bei großen Querschnittswerten).

Diesen Zusammenhang berücksichtigt eine Bemessungskonstante (Bemessungskurzzeitstromdichte  $k$ ), welche bei der Berechnung des Querschnitts eines Schutzleiters zu beachten ist.

### Anwendung in der Praxis

In der Praxis reicht es jedoch für die allermeisten Anwendungsfälle aus, den Schutzleiterquerschnitt pauschal auf den zugehörigen Außenleiterquerschnitt abzustimmen. Die DIN VDE 0100-540: 2007-06 liefert hierfür – wie bereits

auch die Vorgängernorm – eine einfache Bemessungstabelle (dort Tabelle 2). Aus dieser Tabelle geht hervor, dass bei kleinen Leiterquerschnitten bis  $16\text{ mm}^2$  Außenleiter und Schutzleiter mit gleichem Querschnitt ausgeführt werden. Bei größeren Leiterquerschnitten darf der Schutzleiterquerschnitt gegenüber dem Außenleiterquerschnitt den halben Wert betragen.

Im Allgemeinen führt man den Schutzleiter mit dem Außenleiter gemeinsam in einem Kabel oder einer Leitung. Dies ist sogar gefordert, wenn der Schutz durch Abschalten der Stromversorgung angewendet wird und als Schutzeinrichtung eine Überstrom-Schutzeinrichtung zum Einsatz kommt. In diesem Fall erwärmen die betriebswarmen Außenleiter den Schutzleiter. Er nimmt also nicht die Umgebungstemperatur des Kabels oder der Leitung an, sondern eher deren Betriebstemperatur.

Deshalb ist eine Reduzierung des Leiterquerschnitts – insbesondere bei kleineren Querschnitten – nicht angebracht.

Die in Tabelle 2 genannten Schutzleiterquerschnitte berücksichtigen diesen Sachverhalt. Ist der Schutzleiter allerdings ein PEN-Leiter, so gelten für diesen Leiter die Bemessungsregeln für Neutralleiter entsprechend DIN VDE 0100-520.

Es ist zu beachten, dass die Tabelle 2 nur dann gilt, wenn sowohl der Schutzleiter als auch der zugehörige Außenleiter aus demselben Werkstoff bestehen. Es ist durchaus möglich, dass getrennt vom Kabel oder der Leitung verlegte Schutzleiter einen vom Außenleiter abweichenden Werkstoff aufweisen. In diesem Fall müssen die Mindestquerschnitte des Schutzleiters – ermittelt gemäß Tabelle 2 – mit einem Faktor ( $n$ ) korrigiert werden, der das Verhältnis der für das jeweilige Leiter- und Isoliermaterial gültigen Bemessungskurzzeitstromdichten von Außen- und Schutzleiter berücksichtigt. Die Vorgängernorm enthielt diese Möglichkeit so nicht.

In TT-Systemen dürfen die Schutzleiterquerschnitte nach oben hin begrenzt werden auf

- 25 mm<sup>2</sup> bei Verwendung des Leiterwerkstoffs Cu
- 35 mm<sup>2</sup> bei Verwendung des Leiterwerkstoffs Al.

In (echten) TT-Systemen hängen der Erder des Neutralpunkts im Verteilungssystem (in der Regel am Netztransformator) und der Erder der Verbraucheranlage elektrisch nicht voneinander ab. In diesem Fall (nur für diesen gilt die genannte Querschnittsbegrenzung des Schutzleiters) ist nicht mit dem Auftreten von hohen Fehlerströmen zu rechnen. In Stromkreisen mit querschnittstarken Außenleitern würde der Schutzleiter für die zu erwartenden Fehlerströme zu stark bemessen sein. Deshalb besteht die Möglichkeit der pauschalen Begrenzung der Schutzleiterquerschnitte. Eine weitere Optimierung der Schutzleiterquerschnitte ist natürlich möglich, wenn man das zu deren Bemessung in DIN VDE 0100-540 angegebene Rechenverfahren für Schutzleiter anwendet.

Für Schutzleiter, die nicht Bestandteil eines Kabels oder einer Leitung sind und sich auch nicht in gemeinsamer Umhüllung mit dem zugehörigen Außenleiter befinden, gilt aus Gründen der möglichen mechanischen Beanspruchung eine Begrenzung des Leiterquerschnittes nach unten. In diesem Fall dürfen die Querschnitte für den Schutzleiter nicht kleiner sein, als in **Tabelle 4** angegeben. Schutzleiter dürfen auch aus dem Werkstoff Stahl bestehen (siehe Schutzerdungsleiter), vorausgesetzt sie sind in ihrem Querschnitt entsprechend den zu erwartenden mechanischen Beanspruchungen ausgeführt (z.B. bei Stahl mit Korrosionsschutz mindestens 10 mm<sup>2</sup>, siehe **Tabelle 3**) und für den zu erwartenden Fehlerstrom bemessen.

In der **Tabelle 4** ist der Werkstoff »Stahl« jedoch nicht enthalten. Das liegt daran, dass ein Schutzleiter bestehend aus Stahl in Bezug auf seinen Querschnitt um den Faktor 5,8 stärker ausgeführt sein müsste als ein entsprechender Schutzleiter aus Cu. Dem Mindestquerschnitt von 2,5 mm<sup>2</sup> Cu würde ein Querschnitt von etwa 16 mm<sup>2</sup> Stahl entsprechen. Bei diesem Querschnitt ist jedoch die mechanische Festigkeit eigentlich keine Frage mehr, so dass in der **Tabelle 4** auf die Angabe der entsprechenden Querschnittsangaben verzichtet werden konnte. Ein Schutzleiter gilt als mechanisch geschützt, wenn er in einem Elektroinstallationsrohr, in einem Elektroinstallationskanal oder in einem baulichen Hohlraum verlegt oder auf ähnliche Weise geschützt ist.

## GLOSSAR 7

### Haupterdungsschiene, Haupterdungsklemme

Anschlusspunkt, Klemme oder Schiene, die Teil der Erdungsanlage einer Anlage ist und die elektrische Verbindung von mehreren Leitern zu Erdungszwecken ermöglicht.  
DIN VDE 0100-200:2006-06 – 826-13-15

### Potentialausgleich

Herstellen elektrischer Verbindungen zwischen leitfähigen Teilen, um Potentialgleichheit zu erzielen.  
DIN VDE 0100-200:2006-06 – 826-13-19

### Potentialausgleichsschiene

Schiene als Teil einer Potentialausgleichsanlage für den elektrischen Anschluss einer Anzahl von Leitern zum Zweck des Potentialausgleichs.  
DIN VDE 0100-200:2006-06 – 826-13-35

### Potentialausgleichsanlage

Gesamtheit der Verbindungen zwischen leitfähigen Teilen, die den Potentialausgleich zwischen diesen Teilen herstellt.  
DIN VDE 0100-200:2006-06 – 826-13-30

### Berechnung von Schutzleitern

Wie ausgeführt darf man Schutzleiterquerschnitte gemäß tabellarischen Angaben (**Tabelle 2**) auswählen oder mit einem geeigneten Rechenverfahren unter Berücksichtigung des zu erwartenden Fehlerstroms berechnen. Ein hierfür geeignetes, wenngleich umfangreiches und ein wenig aufwändiges Rechenverfahren beschreibt die IEC 60949. Es geht hierbei um die Berechnung von thermisch zulässigen Kurzschlussströmen unter Berücksichtigung der »nicht adiabatischen« Leitererwärmung.

Eine »adiabatische« Erwärmung ist wie bereits erwähnt eine Leitererwärmung, bei der keine Wärme an die Umgebung abgegeben wird. Die Berechnung der Leitererwärmung ist unter dieser Voraussetzung relativ einfach, weil keine Wärmeausgleichsvorgänge mit der Umgebung berücksichtigt werden müssen.

Das Rechenverfahren nach IEC 60949 für »nicht adiabatische« Leitererwärmung macht diese Vereinfachung nicht und ist deshalb relativ kompliziert.

Auf der ausreichend genauen, vereinfachenden Annahme der »adiabatischen« Leitererwärmung beruht auch das in DIN VDE 0100-540:2007-06 angegebene Rechenverfahren nach folgender Formel:

$$S = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k}$$

Hierbei bedeuten:

- $S$  – Schutzleiterquerschnitt in mm<sup>2</sup>
- $I$  – Effektivwert des zu erwartenden Fehlerstroms in A, der bei einem Fehler mit vernachlässigbarer Impedanz durch die Schutzeinrichtung fließen kann (ggf. mit Hilfe einer Kurzschlussstromberechnung ermitteln). Es kann hierbei auch die energiebegrenzende Wirkung von Überstrom-Schutzeinrichtungen berücksichtigt werden.
- $t$  – Abschaltzeit der Schutzeinrichtung in s, die für den Schutz durch automatische Abschaltung vorgesehen ist. Nur für Abschaltzeiten im Zeitrahmen von 5 s ist diese Formel genau.
- $k$  ist ein Faktor, der als »Bemessungskurzzeitstromdichte« (Einheit As/mm<sup>2</sup>) wird. Er wird beeinflusst durch den Schutzleiterwerkstoff, seinen Isolierwerkstoff, durch seine Anfangs-Leitertemperatur vor Beginn des Stromflusses und die bis zur Abschaltung erreichbare max. zulässige Endtemperatur sowie durch weitere Parameter bestimmt. Diesen Faktor kann man nach Anhang A der Norm DIN VDE 0100-540:2007-06 berechnen. Für viele übliche Anwendungen wurde die Berechnung des jeweiligen Faktors  $k$  bereits vorgenommen. Diese  $k$ -Faktoren sind in Tabellen des Anhangs A für die Anwendung im Rahmen des beschriebenen Rechenverfahrens niedergelegt.

Ergibt die Berechnung nach der genannten Formel keinen Standardquerschnitt, so ist für den Schutzleiter der nächst höhere Normquerschnitt auszuwählen.

### Eine Beispielrechnung

Das Zuleitungskabel für einen Energieverteiler in einem Industriebetrieb soll für einen Betriebsstrom von 250 A ausgelegt werden. Es wird ein Kabel mit einem Querschnitt von 120 mm<sup>2</sup> ausgewählt. Der im Kabel enthaltene Schutzleiter weist den halben Außenleiterquerschnitt, also 70 mm<sup>2</sup> auf. Das Kabel wird mit einem Leistungsschalter geschützt, für den der Hersteller bei einem Kurzschlussstrom von 50 kA eine Durchlassenergie von  $I^2 t = 7000000 \text{ A}^2 \text{ s}$  angibt. Es soll überprüft werden, ob der halbe Schutzleiterquerschnitt für den Kurzschlussstrom und die ausgewählte Schutzeinrichtung ausreicht.

Die Lösung dieses Beispiels erarbeiten wir im dritten Beitragsteil in der nächsten Ausgabe.

(Fortsetzung folgt)