Elektrotechnik
Hillebrand
Aus- und Weiterbildung

Inbetriebnahme elektrischer Anlagen nach DIN VDE 0100 - 600

Inhalt:

Allgemeines **3**
Reihenfolge der Prüfungen **3**
Besichtigen **3**
Auswahl der Schutzmaßnahmen **4**
Schutz durch automatische Abschaltung 4
Basisschutz 4
Schutz durch Schutzpotentialausgleich 5
Mindestquerschnitt und Ausführung 7
Schutz durch Abschaltung im TN-System 8
TN-S-System 9
TN-C-System 9
TN-C-S-System 9
Schutz durch Abschaltung im TT-System 10
Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung 10
Schutz durch Schutztrennung 10
Schutz durch Kleinspannung (SELV, PELV) 10
Zusätzlicher Schutz 11
Schutz gegen Überlast - Brandschutz **12**
Pläne und Schaltungsunterlagen **12**
Zusammenfassung **13**
Erproben und Messen **14**
Erdungsmessung **14**
Messverfahren 15
Messprinzip des Strom- Spannungsmessverfahrens 15
Messung des Erdungswiderstandes 15
Der Spannungstrichter 16
Messung des spez. Erdwiderstandes nach der Wennermethode 17
Aufbau der Messung 18
Messung des Schutzleiterwiderstands **19**
Messung des Isolationswiderstands **20**
Isolationsfehler und ihre Auswirkung 21
Schutz durch Kleinspannung **22**
Messung des Widerstands von isolierenden Fußböden **22**
Schutz durch Abschaltung **22**
Prüfen von RCDs **26**
Impulsstrommethode 27
Methode des ansteigenden Prüfstroms 28
Prüfen der Spannungspolarität **28**
Dokumentation der Ergebnisse **29**
Zusammenfassung **32**
Stichwortverzeichnis **33**

1. Allgemeines

Nach DIN VDE 0100-600 besteht folgende Forderung:

„Jede Anlage muss - soweit sinnvoll durchführbar - während der Errichtung und nach Fertigstellung geprüft werden, bevor sie vom Benutzer in Betrieb genommen wird.“

Diese Forderung gilt auch für elektrische Anlagen, die geändert und/oder erweitert werden.

2. Reihenfolge der Prüfungen

Aus Sicherheitsgründen ist die Überprüfung elektrischer Anlagen in einer festen Reihenfolge durchzuführen.

- Besichtigen
- Erproben und
- Messen

2. 1. Besichtigen

Das Besichtigen ist üblicherweise bei abgeschalteter Anlage durchzuführen. Dies sollte besonders sorgfältig erfolgen. Dabei ist zu überprüfen:

- dass alle fest angeschlossenen Betriebsmittel den Sicherheitsanforderungen entsprechend ausgewählt wurden (z.B. bei Leuchtenmontage auf Holz Kennzeichnung ▽F, ▽D oder ▽M) und entsprechend installiert wurden (z.B. Einhaltung des Mindestabstands von Leuchten mit hoher thermischer Abstrahlung)
- sowie die Betriebsmittel ohne erkennbare Schäden (z.B. geplatzte Gehäuse in Folge zu fest angezogener Schrauben) und entsprechend geschlossen (z.B. Blindabdeckungen in Verteilungen) sind.
- Ebenfalls muss geprüft werden, ob der Schutz gegen elektrischen Schlag erfüllt ist:

Bild: geplatztes Gehäuse bei einer Schukosteckdose

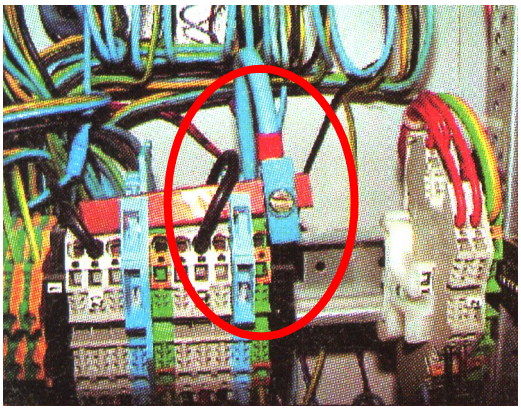


Bild: verbogene N-Schiene an einer N-Trennklemme

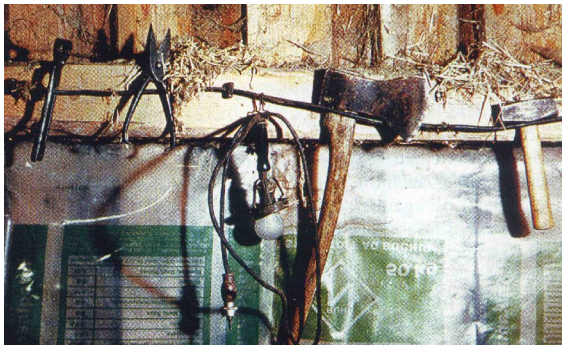


Bild: zweckentfremdete Leitung

Bild: nicht fachgerecht befestigte Leitungen

2. 1. 1. Auswahl der Schutzmaßnahmen

Eine Schutzmaßnahme muss nach DIN VDE 0100-410 immer aus zwei unabhängigen Schutzvorkehrungen bestehen. Diese sollte aus einem Basisschutz und einem Fehlerschutz bzw. einer verstärkten Schutzvorkehrung bestehen, die den Basisschutz und den Fehlerschutz beinhaltet.

2. 1. 1. 1. Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung

Beim Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung wird der Basisschutz durch Basisisolierung, Umhüllung oder Abdeckung der aktiven Teile erreicht. Der Fehlerschutz wird durch Schutzpotentialausgleich und Abschaltung der Stromversorgung realisiert.

2. 1. 1. 1. 1. Basisschutz

Isolierungen, Abdeckungen und Umhüllungen sind vorgesehen, um jedes Berühren aktiver Teile zu verhindern. Deshalb sind:

- Isolierungen nicht zu beschädigen (kein Anschneiden der Aderisolation),
- abisolierte Adern sind so weit in die Klemmen einzuführen, dass kein Leitermaterial berührt werden kann,
- Abdeckungen oder Umhüllungen müssen fest angebracht sein, diese dürfen nur mit Werkzeug geöffnet oder entfernt werden,

Bild: Berührungsschutz bei einer Kammschiene

Da bei den Netzformen TT- und TN-System die gefährliche Berührungsspannung schon direkt gegen Erde entsteht, ist bei diesen Systemen ein guter Schutzpotentialausgleich Vorraussetzung für ein Funktionieren der Abschaltung im Fehlerfall.

Beim Besichtigen muss vorab die Sicherheit durch Abschaltung überprüft werden. Dabei kommt es auf die Zuordnung der Abschaltorgane, Leitungsquerschnitte, Leitungslängen, Potentialausgleich usw. an.

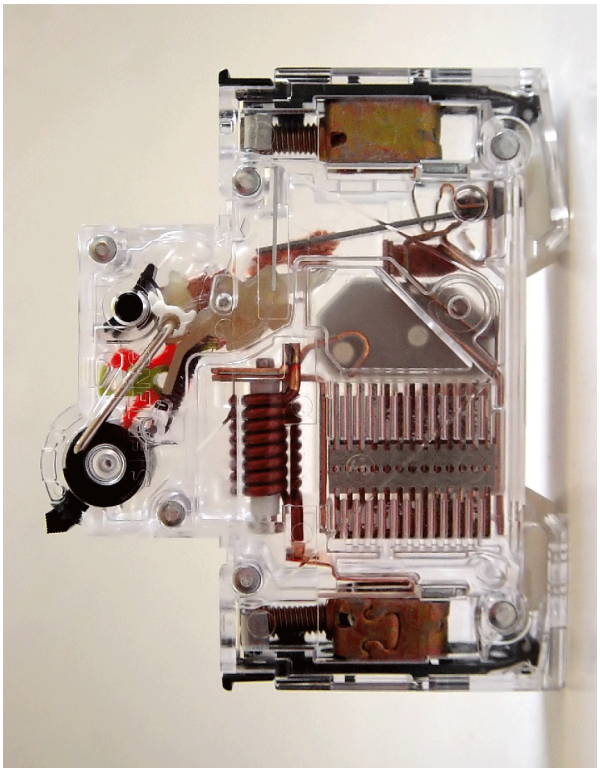


Bild: Leitungsschutzschalter

2. 1. 1. 1. 2. Schutz durch Schutzpotentialausgleich

Definition nach DIN VDE 0100-200: Potentialausgleich

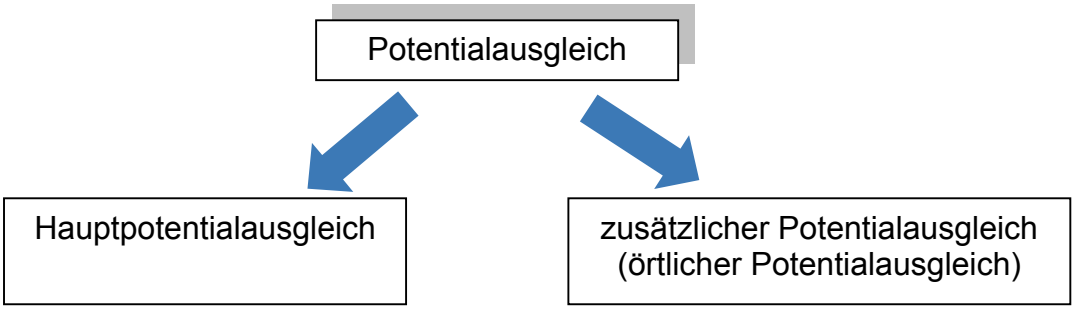
„Herstellen elektrischer Verbindungen zwischen leitfähigen Teilen, um Potentialgleichheit zu erzielen“

Daraus ergibt sich: Führt ein Körper in Folge eines Fehlers eine unzulässig hohe Spannung, so werden benachbarte elektrisch leitfähige Teile annähernd auf das gleiche Potential gebracht. Somit entsteht nahezu kein Spannungsunterschied. Die Gefahr gefährlicher elektrischer Berührungsströme wird somit verringert.

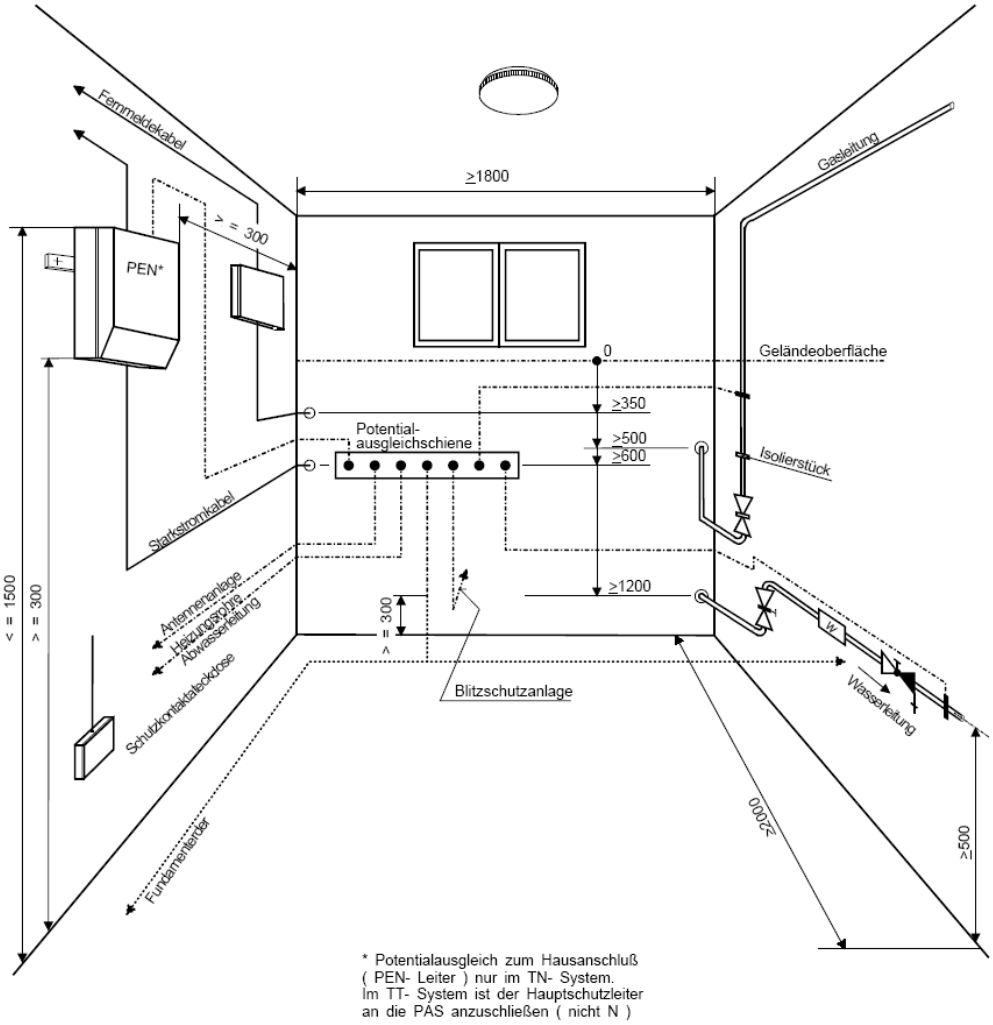
Definition nach DIN VDE 0100-200: Schutzpotentialausgleich

„Potentialausgleich zum Zweck der Sicherheit“

Einteilung des Potentialausgleichs:



Hausanschlussraum nach DIN 18 012 mit Hauptpotentialausgleich:



In den Hauptpotentialausgleich sind mit einzubeziehen:

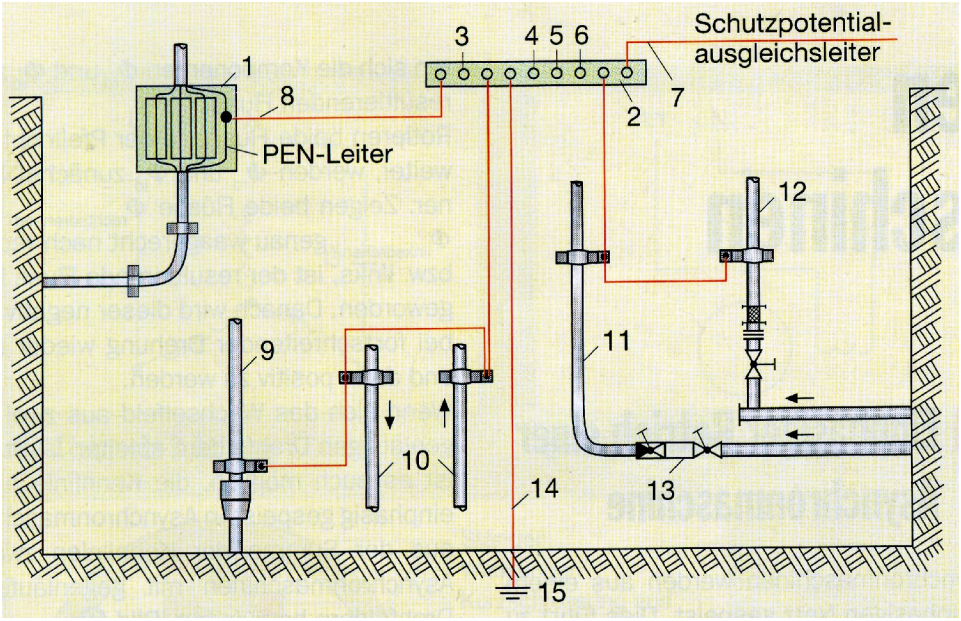
- metallene Rohrleitungen von Versorgungssystemen innerhalb des Gebäudes, z. B. für Gas, für Wasser
- Metallteile der Gebäudekonstruktion, Zentralheizungs- und Klimaanlagen
- wesentliche metallene Verstärkungen von Gebäudekonstruktionen aus bewehrtem Beton, soweit möglich.

2. 1. 1. 1. 3. Mindestquerschnitt und Ausführung des Potentialausgleichs

Leiter für den Hauptpotentialausgleich

„Der Querschnitt von Schutzpotentialausgleichsleitern, die nach … DIN VDE 100-410(VDE 0100-410):2007-06 für den Schutzpotentialausgleich über die Haupterdungsschiene vorgesehen sind und die an die Haupterdungsschiene … angeschlossen sind, darf nicht kleiner sein als:

- 6 mm^2 Kupfer oder
- 16 mm^2 Aluminium oder
- 50 mm^2 Stahl.“ (DIN VDE 0100-540)



1 Hausanschlusskasten; **2** Hauptpotentialausgleichsschiene; **3** Schutzleiter (PE); **4** Antennenanlage; **5** Fernmeldeanlage; **6** Blitzschutzanlage; **7** leitfähige Gebäude- und Ausrüstungsteile; **8** Verbindung zum Hauptschutzleiter; **9** metallenes Abwasserrohr; **10** Zentralheizung (Vor- und Rücklauf); **11** metallene Wasserverbrauchsleitungen; **12** Gasinnenleitung mit Isolierstück; **13** Wasseruhr; **14** Haupterdungsleiter z.B. Anschlussfahne des Fundamenterders; **15** Anlagenerder der Verbrauchsanlage

Leiter für den zusätzlichen Potentialausgleich

Ein Leiter für den zusätzlichen Potentialausgleich, der zwei Körper elektrischer Betriebsmittel verbindet, muss einen Querschnitt besitzen, der mindestens so groß ist wie der des kleineren Schutzleiters, der an die Körper angeschlossen ist.
Ein Leiter für den zusätzlichen Potentialausgleich, der Körper mit fremden leitfähigen Teilen verbindet, muss einen Querschnitt haben, der mindestens halb so groß ist wie der Querschnitt des entsprechenden Schutzleiters.

Mindestquerschnitt für Leiter, die Körper elektrischer Betriebsmittel mit fremden leitfähigen Teilen verbinden:

- 2,5 mm^2 wenn mechanisch geschützt,
- 4 mm^2 wenn mechanisch nicht geschützt (DIN VDE 0100-540)

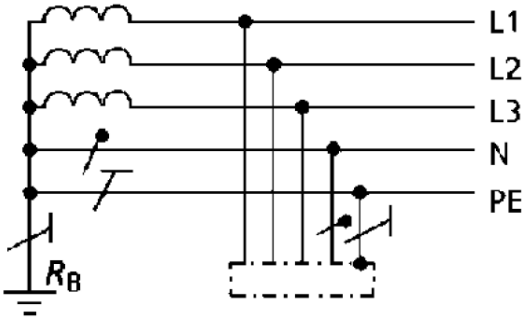
Querschnitte für Potentialausgleichsleiter:

	Hauptpotentialausgleich	zusätzlicher Potentialausgleich	
normal	0,5 • Querschnitt des größten Schutzleiters	zwischen zwei Körpern	1 • Querschnitt des kleineren Schutzleiters
		zwischen einem Körper und einem fremden leitfähigen Teil	0,5 • Querschnitt des Schutzleiters
mindestens	6 mm²	bei mechanischem Schutz	2,5 mm² CU oder Al *)
		ohne mechanischen Schutz	4 mm² Cu oder Al *)
mögliche Begrenzung	25 mm² Cu oder gleichwertiger Leitwert	-	-
*) Bei ungeschützter Verlegung von Leitern aus Aluminium besteht wegen möglicher Korrosion und geringer mechanischer Robustheit eine erhöhte Möglichkeit der Leiterunterbrechung.			

2. 1. 1. 1. 4. Schutz durch Abschaltung im TN-System

Im TN-System werden alle Körper einer Anlage mit dem geerdeten Sternpunkt des Generators oder Trafos mit einem Schutzleiter verbunden.

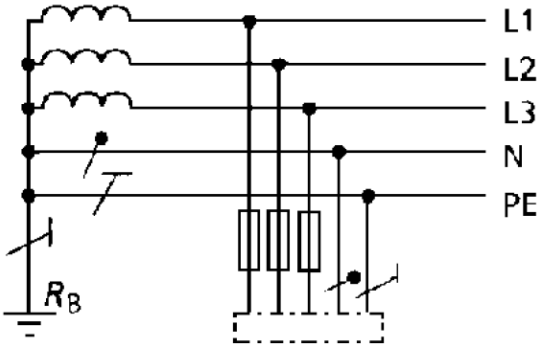
Prinzip:



Da Versorgungsleitungen vom Trafo zum Abnehmer aus ökonomischen Gründen in der Regel nur 4-adrig ausgeführt sind, werden verschiedene Kombinationen dieser Netzform eingesetzt.

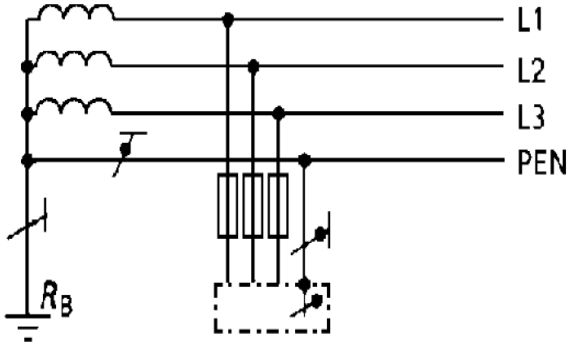
TN-S-System:

Beim TN-S-System werden separate Neutral- und Schutzleiter verwendet. Bei größeren Querschnitten führt dies aber zu einem erhöhten Materialverbrauch. Dieses System ist deshalb selten anzutreffen. Aus Gründen der EMV ist dieses Netzsystem aber von großer Bedeutung, da Störungen über den Schutzleiter gut abgeleitet werden. Der Schutzleiter hat keinerlei Funktion als betrieblicher Rückleiter und somit ist die Gefahr der Einkopplung von Störungen durch betriebliche Ströme relativ gering.



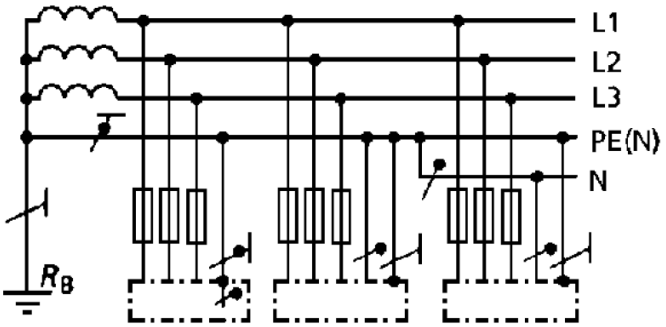
TN-C-System:

Beim TN-C-System sind Schutzleiter und Neutralleiter ein kombinierter Leiter. Dieser Leiter wird auch PEN (PE für Schutzleiter, N für Neutralleiter) genannt. Für den PEN-Leiter ist ein Mindestquerschnitt von 10 mm^2 vorgeschrieben. (DIN VDE 0100-540)



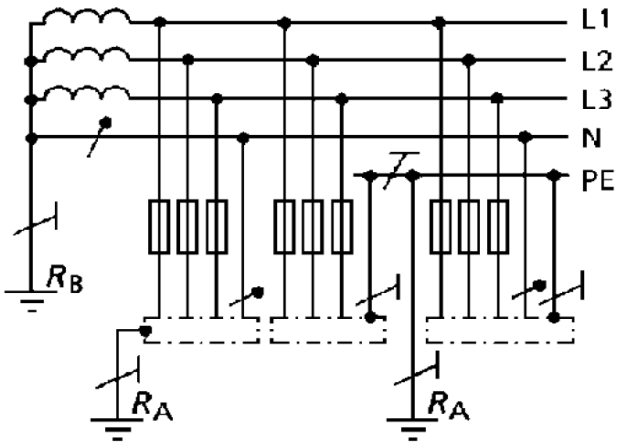
TN-C-S-System:

Das TN-C-S-System ist eine Kombination aus TN-C- und TN-S-System. Kennzeichnend ist die 4-adrige Zuleitung zum Abnehmer mit anschließender Aufteilung auf 5 Adern in der Anlage. Dabei ist zu beachten, wenn auf 5 Adern aufgeteilt wurde, dürfen der PE- und der N-Leiter nicht mehr miteinander verbunden werden. Die Auftrennung erfolgt möglichst gleich nach dem Hausanschluss.



2. 1. 1. 1. 5. Schutz durch Abschaltung im TT-System

In diesem System besitzen Erzeuger (Trafo/Generator) und Abnehmer eigene nicht direkt miteinander verbundene Erdungsanlagen. Der Widerstand in der Fehlerschleife ist deshalb sehr stark vom Widerstand der Erdungsanlage abhängig. Beim Besichtigen muss hier besonders auf die Ausführung der Erdungsanlage geachtet werden.



2. 1. 1. 2. Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung

Bei dieser Schutzmaßnahme werden der Basisschutz und der Fehlerschutz durch eine Isolierung erreicht. Bei elektrischen Betriebsmitteln bei denen diese Schutzmaßnahme angewendet wird, erfolgt eine zusätzliche Kennzeichnung mit diesen doppelten Quadraten:

2. 1. 1. 3. Schutz durch Schutztrennung

Das Prinzip der Schutztrennung beruht auf der galvanischen Trennung von anderen Stromkreisen und auch vom Erdpotential. Damit gibt es beim Berühren eines Außenleiters kein zweites Potential und somit keine gefährliche Berührungsspannung. Bei Spiegelleuchten für Badezimmer kommen solche Trenntrafos für Rasiersteckdosen zum Einsatz. An diese Steckdosen darf nur <u>ein</u> Verbraucher angeschlossen werden (entsprechende Beschriftung muss vorhanden sein). Des Weiteren darf kein Schutzleiter angeschlossen werden. Der Trenntrafo muss mit dem Symbol gekennzeichnet sein.

2. 1. 1. 4. Schutz durch Kleinspannung (SELV[1)], PELV[2)])

Der Schutz durch Kleinspannung beruht darauf, die Berührungsspannung auf ungefährliche Werte zu senken und damit gefährliche Körperströme zu verhindern.

Dabei darf eine Spannung von:

$$50V_{AC} \text{ bzw. } 120V_{DC}$$

nicht überschritten werden.

[1)] Safety Extra-Low Voltage
[2)] Protection Extra-Low Voltage

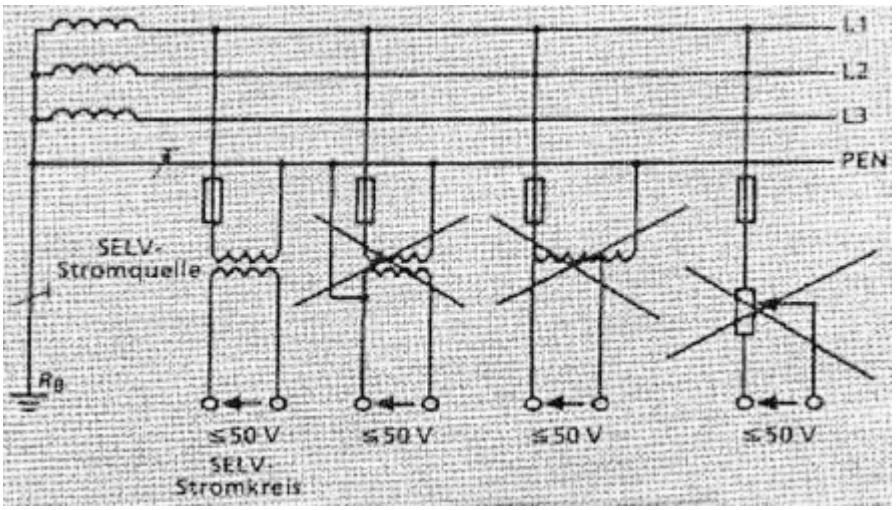
Unter bestimmten Bedingungen (z.B. Tierhaltung, Gärtnereien) ist sogar nur die Hälfte dieser Spannung zugelassen. Zur Bereitstellung dieser Spannung sind nur vom Versorgungsnetz galvanisch getrennte Spannungsquellen zugelassen.

Beispiele:

- Transformatoren mit sicherer Trennung
- galvanische Spannungsquellen (Akkus)
- Motorgeneratoren (Fahrraddynamo, Autolichtmaschine)
- Photovoltaikanlagen, wenn die Spannungsgrenzen nicht überschritten werden

weitere Forderungen an Kleinspannungsstromkreise:

- Kleinspannungsstromkreise sind getrennt von Stromkreisen mit höherer Spannung zu führen. Sind diese im gleichen Gehäuse verlegt (z.B. in Verteilungen), so sind diese sicher voneinander zu trennen (z.B. mit Trennstegen).
- Steckverbindungen von Kleinspannungsstromkreisen dürfen nicht mit Steckverbindungen anderer Stromkreise kombinierbar sein (Verwechslungsgefahr).
- Aktive Teile von SELV-Stromkreisen dürfen nicht mit Erde oder mit aktiven Teilen oder Schutzleitern anderer Stromkreise verbunden sein.
- Wird eine Spannung von $25V_{AC}$ bzw. $60V_{DC}$ nicht überschritten, darf auf eine Basisisolierung verzichtet werden. (Modelleisenbahn, Niedervolthalogen-leuchtensysteme) Unter bestimmten Bedingungen ist ein Basisschutz aber zwingend gefordert (z.B. in Räumen mit Badewanne/Dusche).



2. 1. 1. 5. Zusätzlicher Schutz

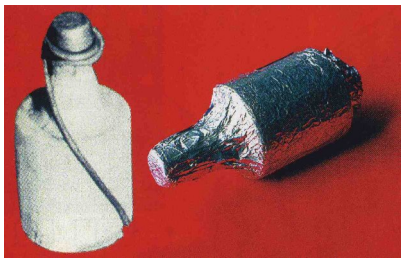
Durch Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs) mit einem Bemessungsdifferenzstrom ≤30mA müssen alle Steckdosen bis 20A zusätzlich geschützt werden, die auch von Laien bedient werden können.

Auch ein zusätzlicher Schutzpotentialausgleich kann zur Erhöhung der Sicherheit errichtet werden.

2. 1. 2. Schutz gegen Überlast - Brandschutz

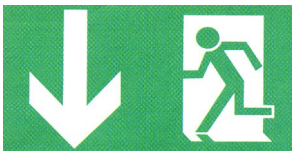
Die DIN VDE 0100 – 430 fordert: „Kabel und Leitungen müssen mit Überstromschutzeinrichtungen gegen zu hohe Erwärmung geschützt werden, die sowohl durch betriebsmäßige Überlast als auch bei vollkommenem Kurzschluss auftreten kann.“

Jeder Stromkreis ist mit einer eigenen Sicherung am Anfang des Stromkreises (in der Verteilung) abzusichern. Die Größe der Sicherung richtet sich nach der Belastung des Stromkreises, dem Leiterquerschnitt, der Verlegeart der Leitung und der Häufung (wie viele Leitungen zusammen verlegt werden).



„überdimensionierte“ nicht VDE-gerechte Sicherung

Bei der Besichtigung ist zu überprüfen, ob die Überstromschutzeinrichtungen vorhanden und richtig dimensioniert bzw. eingestellt sind. Im Rahmen des Brandschutzes muss auch geprüft werden, ob Brandabschottungen vorschriftengerecht hergestellt sind sowie nötige Abstände von Betriebsmitteln zu brennbaren Gegenständen eingehalten wurden. Falls gefordert müssen entsprechende Fluchtwegskennzeichnungen vorhanden und funktionsbereit sein.

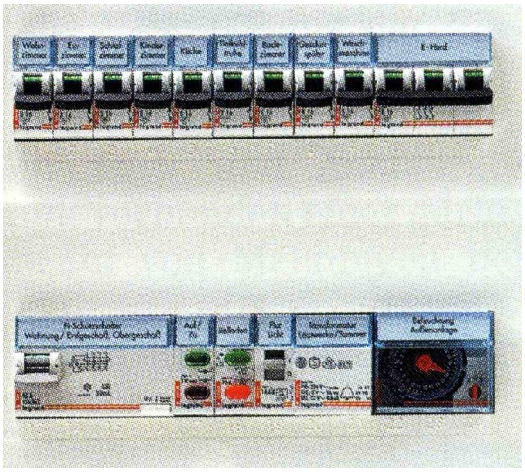


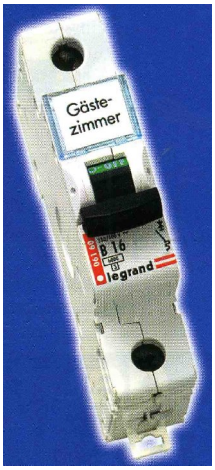
2. 1. 3. Pläne und Schaltungsunterlagen

Nach DIN VDE 0100 – 510 müssen zu jeder elektrischen Anlage Unterlagen vorhanden sein. Diese Unterlagen dürfen Schaltpläne, Tabellen oder auch Diagramme sein. Bei übersichtlichen Anlagen (z.B. Einfamilienhäuser) sind Tabellen als Unterlage ausreichend.

Aus den Unterlagen muss hervorgehen:

- Art und Aufbau der Stromkreise (Anzahl und Querschnitt der Leitungen)
- die Zuordnung der Schutz-, Trenn- und Schalteinrichtungen zu den Stromkreisen.





2. 1. 4. Zusammenfassung

Zusammenfassend sind beim Besichtigen diese Fragen zu beantworten:

- Ist der Schutz gegen direktes Berühren aktiver Teile (noch) vorhanden?
- Entsprechen die Schutzmaßnahmen bei indirektem Berühren noch den Errichtungsnormen?
- Sind die Überspannungs- und Überstromschutzeinrichtungen vorhanden, richtig eingestellt oder bestückt?
- Sind die Überstromschutzeinrichtungen dem Leiterquerschnitt entsprechend bemessen und bestückt?
- Sind die Schaltpläne, Beschriftungen der Stromkreise, Betriebsanleitungen oder Betriebsanweisungen vorhanden und zutreffend?
- Sind die Einrichtungen zur Unfallverhütung und Brandbekämpfung vorhanden?
- Sind die notwendigen Brandabschottungen vorhanden?
- Ist der Zustand von Erdungsanlagen nach DIN 18014 und DIN VDE gegeben?

2. 2. Erproben und Messen

Nach DIN VDE 0100 – 600 ist das Erproben und Messen „...sofern zutreffend, die in diesem Abschnitt genannten Prüfungen durchgeführt werden, vorzugsweise in der folgenden Reihenfolge: …“

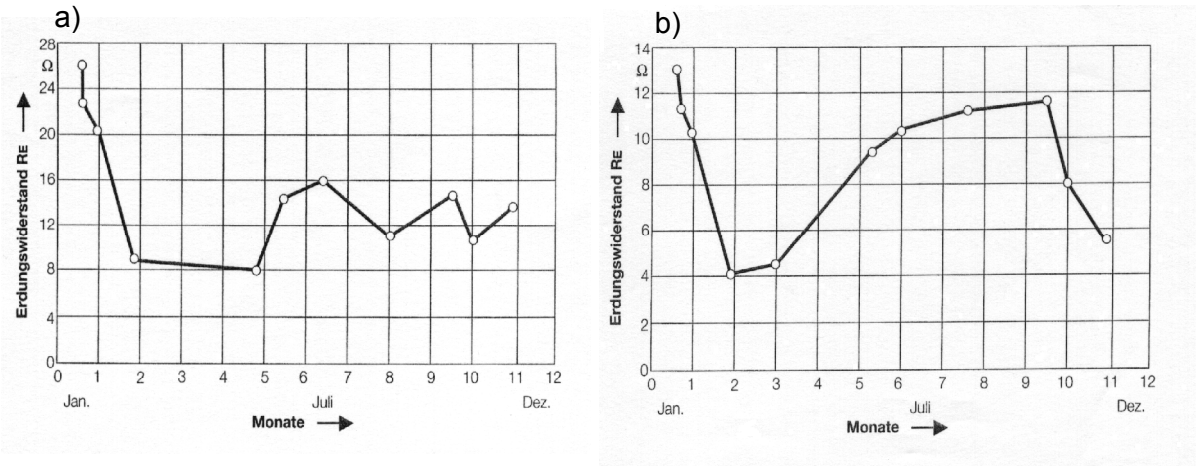
- Durchgängigkeit der Schutzleiter, der Verbindungen des Hauptpotentialausgleichs und des zusätzlichen Potentialausgleichs
- Isolationswiderstand der elektrischen Anlage
- Schutz durch sichere Trennung der Stromkreise bei SELV, PELV und Schutztrennung
- Widerstand von isolierenden Fußböden und isolierenden Wänden
- Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung
- Zusätzlicher Schutz
- Spannungspolarität
- Phasenfolge der Außenleiter
- Spannungsfestigkeit
- Funktionsprüfung
- Thermische Einflüsse
- Spannungsfall

Im Falle eines festgestellten Fehlers sind Erprobungen und Messungen, die durch diesen Fehler möglicherweise beeinflusst wurden, zu wiederholen, nachdem dieser Fehler behoben wurde.

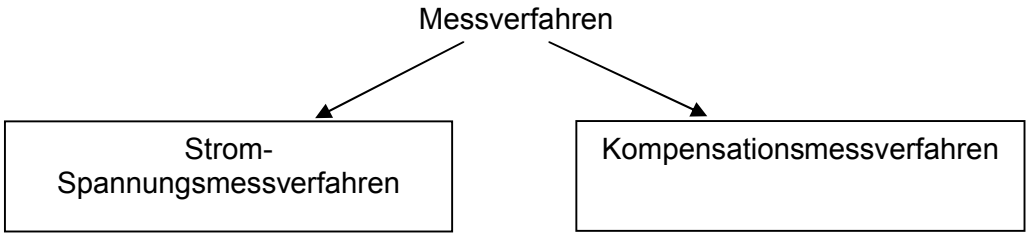
2. 2. 1. Erdungsmessung

Eng in Verbindung mit dem Potentialausgleich ist die Erdungsanlage zu sehen. Erst mit einer gut dimensionierten Erdungsanlage werden beschriebene Schutzmaßnahmen sicher funktionieren.

Der Erdausbreitungswiderstand unterliegt jahreszeitlichen und wetterabhängigen Schwankungen. Die im Erdreich verfügbare freie Feuchtigkeit beeinflusst diesen Wert ganz erheblich (siehe Diagramme).

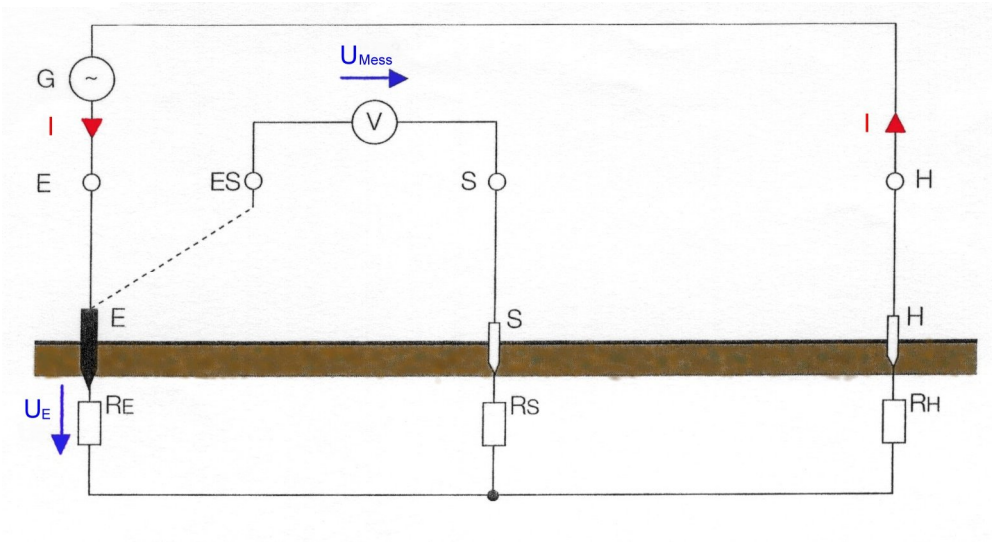


a) zeitliche Veränderung des Erdausbreitungswiderstandes bei einem Oberflächenerder
b) zeitliche Veränderung des Erdausbreitungswiderstandes bei einem Tiefenerder

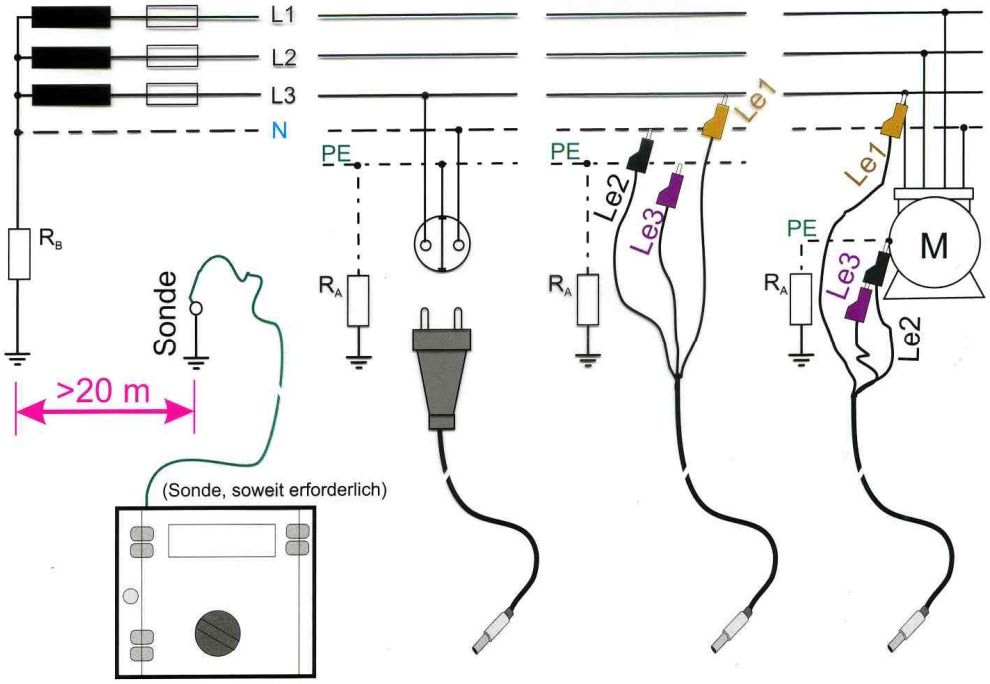


Bei „neuen“ Erdungsmessgeräten wird meist das Strom- Spannungsmessverfahren angewandt, wobei die Messspannung max. $50V_{AC}$ und die Messfrequenz ein ungleiches Vielfaches von 16⅔Hz, bzw. 50Hz beträgt. (ca. 70 – 140 Hz)

2. 2. 1. 1. Messprinzip des Strom- Spannungsmessverfahrens

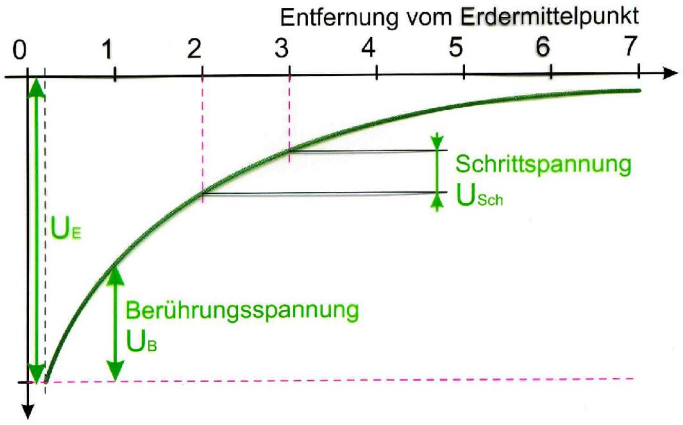


2. 2. 1. 2. Messung des Erdungswiderstandes

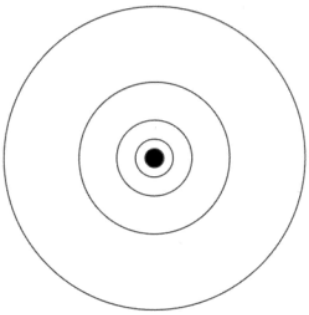


2. 2. 1. 3. Der Spannungstrichter

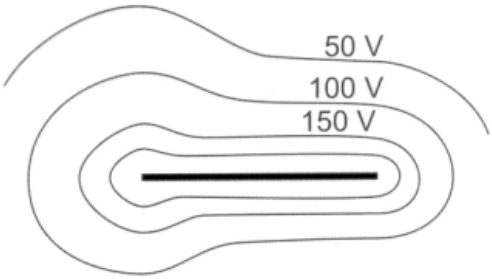
Um jeden Erder bildet sich beim Fließen eines elektrischen Stromes ein sogenannter Spannungstrichter aus. Der Durchmesser dieses Spannungstrichters ist ausschließlich vom spezifischen Erderwiderstand abhängig. Der Durchmesser kann je nach Leitfähigkeit des Bodens zwischen ca. 10m bis ca. 60m liegen. In der Praxis wird für die Erdungsmessung erst einmal ein Spannungstrichter von ca. 20m Durchmesser angenommen.



Potentialfelder von Erdern:

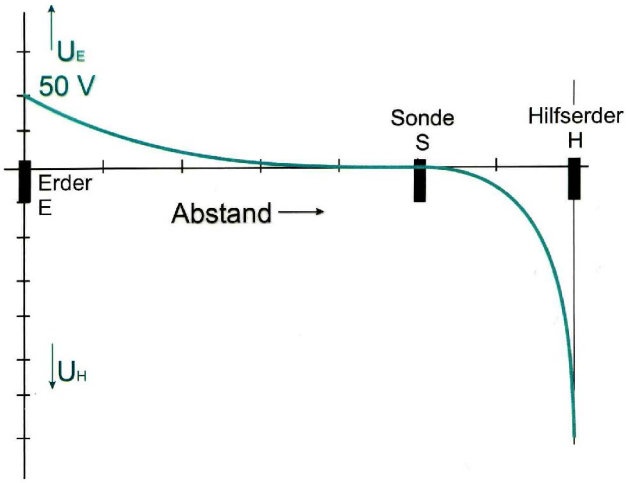


Staberder
in homogenem Erdreich



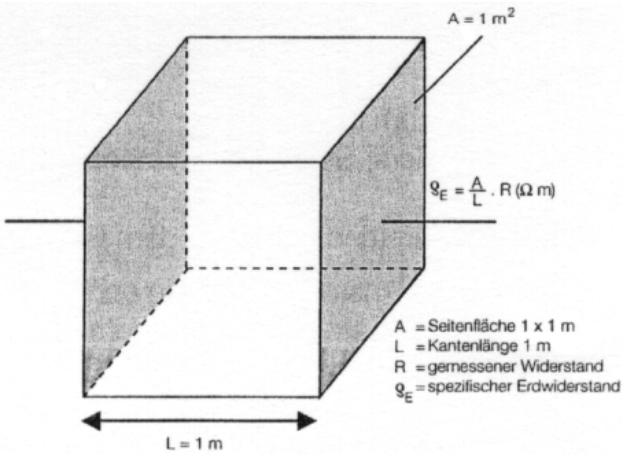
Banderder
in inhomogenem Erdreich

Einfluss der Spannungstrichter auf die Erdungsmessung:



2. 2. 1. 4. Messung des spez. Erdwiderstandes nach der Wennermethode

Definition des spezifischen Erdwiderstandes:



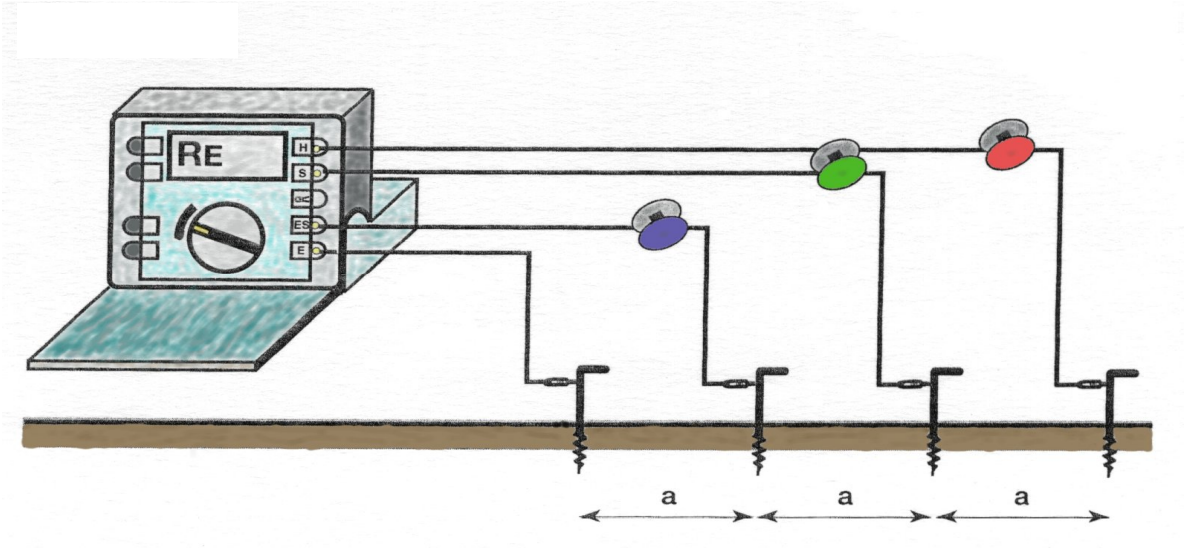
Diese Methode wird angewendet, um schon bei der Planung von Erdungsanlagen eine Entscheidung zu treffen, welcher Erder die Ansprüche an die Erdungsanlage am besten erfüllt.

Faustformel zur Berechnung von Erdern:

Erder	Faustformel	Hilfsgröße
Banderder (Strahlenerder)	$R_A = \frac{2 \bullet \rho_E}{l}$	□
Staberder (Tiefenerder)	$R_A = \frac{\rho_E}{l}$	□
Ringerder	$R_A = \frac{2 \cdot \rho_E}{3 \cdot D}$	$D = 1{,}13 \cdot \sqrt[2]{F}$
Maschenerder	$R_A = \frac{\rho_E}{2 \cdot D}$	$D = 1{,}13 \cdot \sqrt[2]{F}$
Plattenerder	$R_A = \frac{\rho_E}{4{,}5 \cdot a}$	□
Halbkugelerder	$R_A = \frac{\rho_E}{\pi \cdot D}$	$D = 1{,}57 \cdot \sqrt[3]{I}$

R_A = Ausbreitungswiderstand (Ω)
ρ_E = spezifischer Erdwiderstand (Ωm)
l = Länge des Erders (m)
D = Durchmesser eines Ringerders, Durchmesser der Ersatzkreisfläche eines Maschenerders oder Durchmesser eines Halbkugelerders (m)
F = Fläche (m^2) der umschlossenen Fläche eines Ring- oder Maschenerders
a = Kantenlänge (m) einer quadratischen Erderplatte, bei Rechteckplatten ist für a einzusetzen: $\sqrt{b \cdot c}$, wobei b und c die beiden Rechteckseiten sind
I = Inhalt (m^3) eines Einzelfundamentes

Aufbau zur Messung des spezifischen Erdwiderstandes:



Die vier Erdspieße werden in gerader Linie eingetrieben. Die Einschlagtiefe sollte dabei ⅓ von „a“ nicht überschreiten. Da durch im Erdreich verlaufende metallene Rohrleitungen etc. das Messergebnis verfälscht werden kann, sollte immer eine zweite Messung mit um 90° gedrehtem Messaufbau durchgeführt werden.

Aus dem abgelesenen Widerstandswert R_E kann nach folgender Beziehung der spezifische Erdwiderstand errechnet werden.

$$\rho_E = 2\pi \cdot a \cdot R_E$$

Richtwerte für ρ_E :

Spezifische Erdwiderstände und Erdausbreitungswiderstände für verschiedene Bodenarten und Erderausführungen:

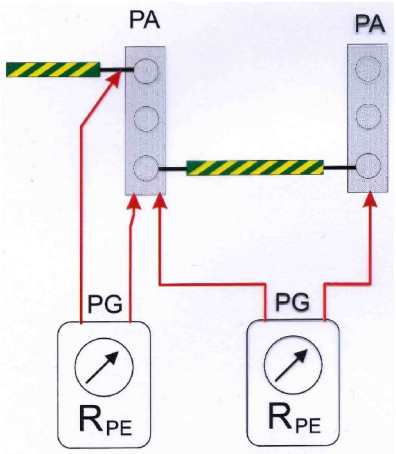
Bodenart	Spezifischer Erdwiderstand ρ_E	Erdungswiderstand (Ω)					
		Staberder m Tiefe			Banderder m Länge		
	Ω•m	3	6	10	5	10	20
feuchte Humuserde, Moorboden, Sumpf	30	10	5	3	12	6	3
Ackerboden, Lehm- und Tonböden	100	33	17	10	40	20	10
sandige Lehmböden	150	50	25	15	60	30	15
feuchter Sandboden	300	66	33	20	80	40	20
trockener Sandboden	1000	330	165	100	400	200	100
Beton 1:5	400				160	80	40
feuchter Kies	500	160	80	48	200	100	50
trockener Kies	1000	330	165	100	400	200	100
steiniger Boden	3000	1000	500	300	1200	600	300

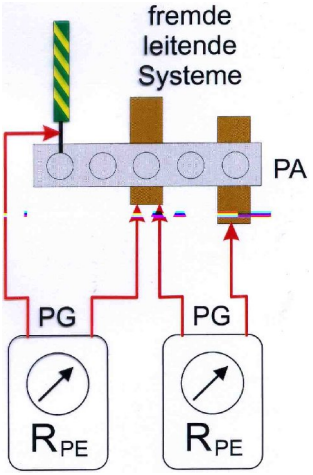
2. 2. 2. Messung des Schutzleiterwiderstands

Die Güte der Schutzleiterverbindung bestimmt im Fehlerfall, ob die Schutzmaßnahme bei indirektem Berühren wirksam ist. Bei der Messung ist nachzuweisen, dass die vollständige niederohmige Durchgängigkeit aller Schutzleiter zur Haupterdungsschiene gegeben ist.

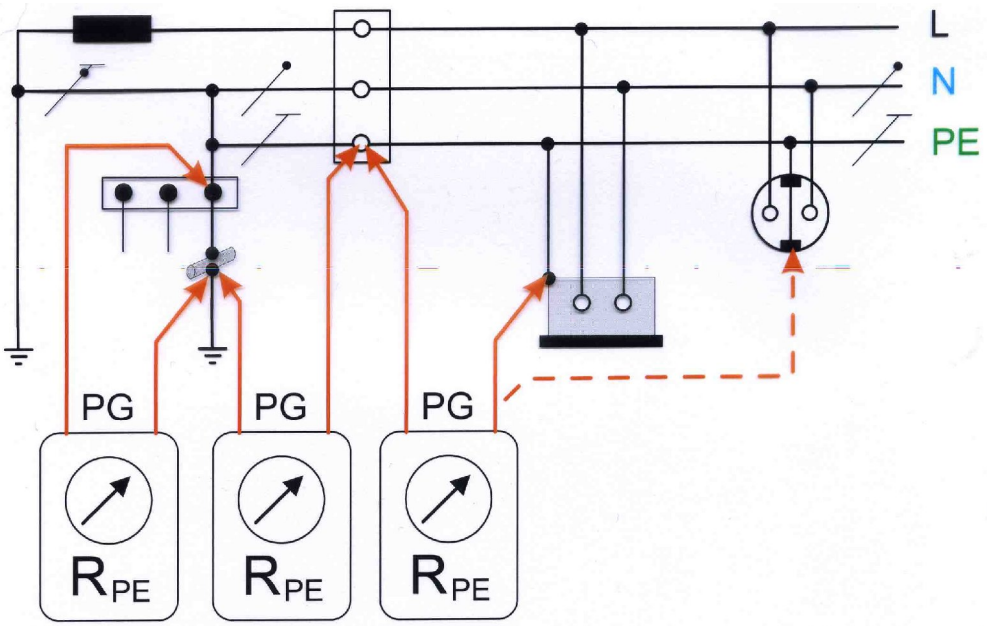
Nach DIN VDE 0413 liefert das Messgerät einen Strom von mindestens **0,2A** bei einer Leerlaufspannung **zwischen 4 und 24V** Gleich- oder Wechselspannung.

Widerstandsmessung an den Verbindungsstellen von Schutzleitern oder Potentialausgleichsleitern:





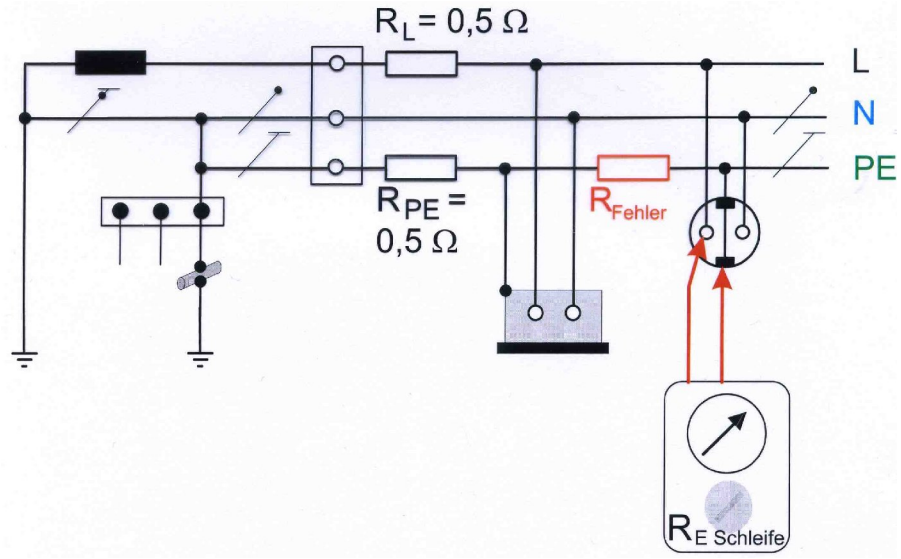
Richtwert: ca. 0,01Ω für einwandfreie Verbindungsstellen



Richtwert: ca. 0,1Ω und niedriger
(je nach Querschnitt, Material und Länge)

Ersatzweise könnte im TN-System mit der Messung des Schleifenwiderstands die Qualität der Schutzleiterverbindung nachgewiesen werden. Durch Vergleichen mit anderen Werten können fehlerbedingte Widerstandänderungen erkannt werden. Da ältere Messgeräte bei dieser Messung einen Strom von ca. 1A fließen lassen, kann die Messung nach einem RCD evtl. nicht durchgeführt werden. (Anmerkung: Diese Ersatzmessung darf nicht bei der Erstprüfung durchgeführt werden!)

Im TT-System ist diese Qualitätsprüfung nicht geeignet.

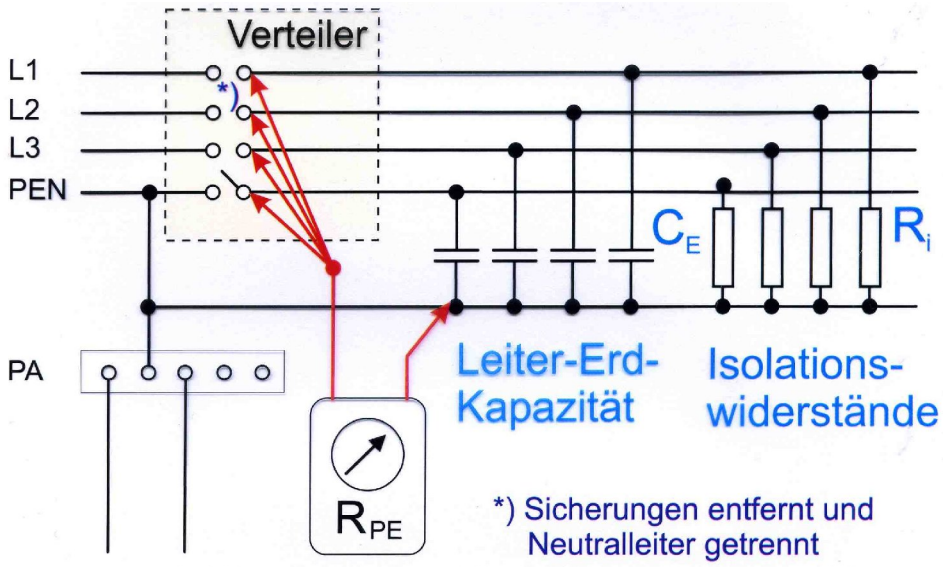


Richtwert: ca. 1Ω und niedriger (max. 2Ω)

2. 2. 3. Messung des Isolationswiderstands

Die Isolation von aktiven Teilen in einer elektrischen Anlage ist Teil des Schutzes gegen direktes Berühren. Der Isolationswiderstand gibt Aufschluss darüber, wie gut die Isoliereigenschaften der eingesetzten Materialien zum Zeitpunkt der Messung noch sind.

Prinzipdarstellung der Messung:



Richtwert: mindestens 1MΩ (bei Netzspannungsstromkreisen)

Der Isolationswiderstand ist zwischen jedem aktiven Leiter und Erde (ersatzweise gegen den Schutzleiter) zu messen. Für die Messung sind in den Stromkreisen die Schalter zu schließen und es sollten die Verbraucher angeschlossen sein. Zur Reduzierung des Arbeitsaufwandes und um Zerstörungen an den Verbrauchern zu vermeiden, dürfen für die Messung alle aktiven Leiter miteinander verbunden sein.

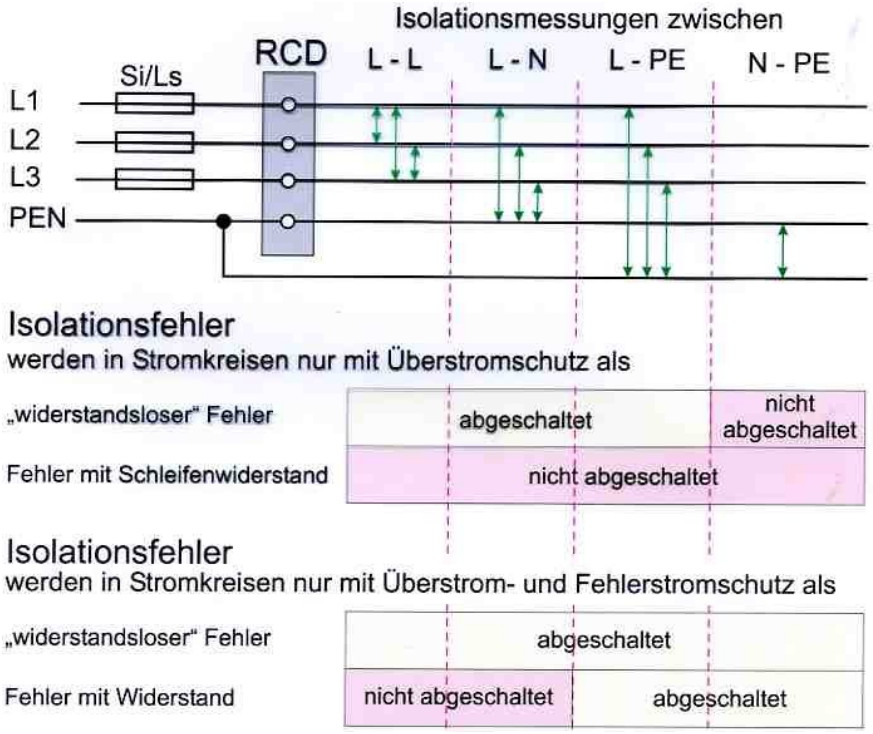
In feuergefährdeten Betriebsstätten und explosionsgefährdeten Bereichen darf diese Erleichterung nicht gemacht werden.

Die Messung wird mit speziellen Messgeräten durchgeführt. Diese liefern für die Messung einen Messstrom von 1mA und eine Gleichspannung von:

Nennspannung des Stromkreises	Messgleichspannung V	Isolationswiderstand MΩ
Spannung bei SELV und PELV	250	≥ 0,5
bis einschließlich 500V sowie FELV	500	≥ 1,0
über 500 V	1000	≥ 1,0

2. 2. 3. 1. Isolationsfehler und ihre Auswirkung

Im Falle eines Fehlers der Isolation können direkte Gefahren für Personen und Nutztiere durch elektrischen Schlag auftreten sowie durch Überhitzung Brände entstehen. Untenstehende Grafik zeigt Möglichkeiten der Erkennung und Abschaltung durch entsprechende Schutzorgane:



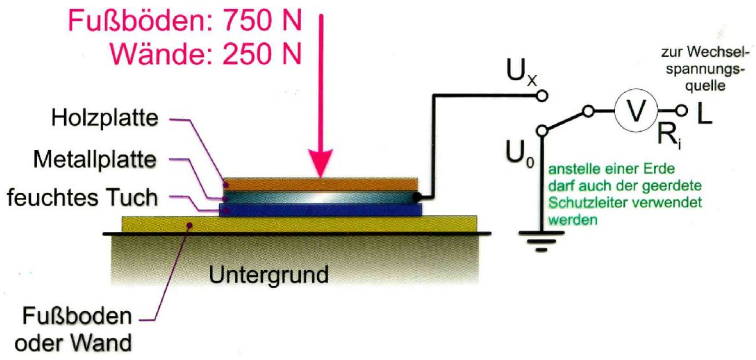
Da Isolationsfehler zwischen aktiven Leitern nicht zwangsläufig zur Abschaltung führen, sollte zusätzlich auch eine Isolationswiderstandsmessung zwischen den aktiven Leitern durchgeführt werden.

2. 2. 4. Schutz durch Kleinspannung

Beim Schutz durch Kleinspannung muss die Höhe der Spannung nachgewiesen werden wie auch die sichere Trennung von anderen Stromkreisen durch Isolationswiderstandsmessung (gegen PE).

2. 2. 5. Messung des Widerstands von isolierenden Fußböden

In seltenen Fällen (Schutz durch nichtleitende Räume) muss der Widerstand von isolierenden Fußböden und Wänden gemessen werden. Die Messung muss an drei Stellen im Raum durchgeführt werden.



Der Widerstand von Wänden und Fußböden muss betragen:

- bei Anlagen bis zu 500V: mindestens 50kΩ (DIN VDE 0100-410)
- bei Anlagen über 500V: mindestens 100kΩ (DIN VDE 0100-410)

Messung mit einer belasteten Messelektrode:

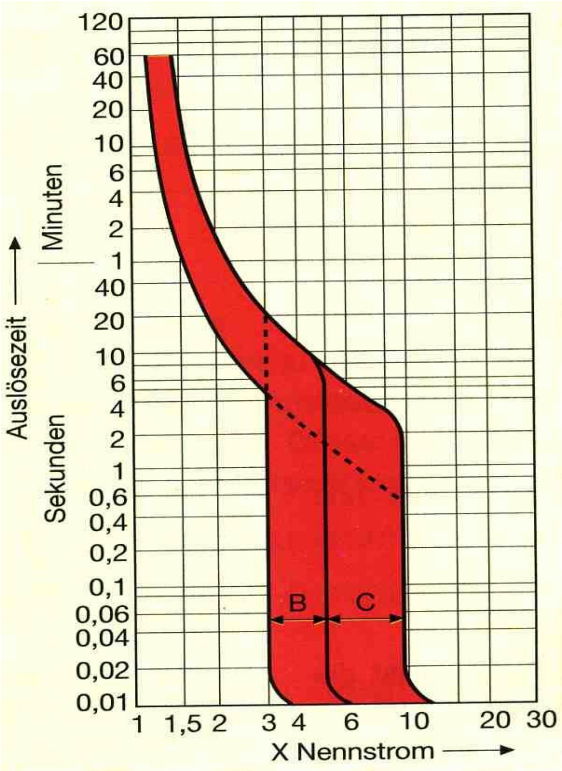
- feuchtes Tuch: 270 mm x 270 mm
- quadratische Metallplatte: 250 mm x 250 mm

2. 2. 6. Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung

Der Schleifenwiderstand bestimmt maßgeblich den im Fehlerfall fließenden Kurzschlussstrom. Der Kurzschlussstrom muss ausreichend groß sein, um das Schutzorgan (Sicherung oder RCD) im Fehlerfall innerhalb einer festgelegten Zeit zum Abschalten zu bringen.

Die DIN VDE 0100 – 410 nennt für die Abschaltzeiten folgende Werte:

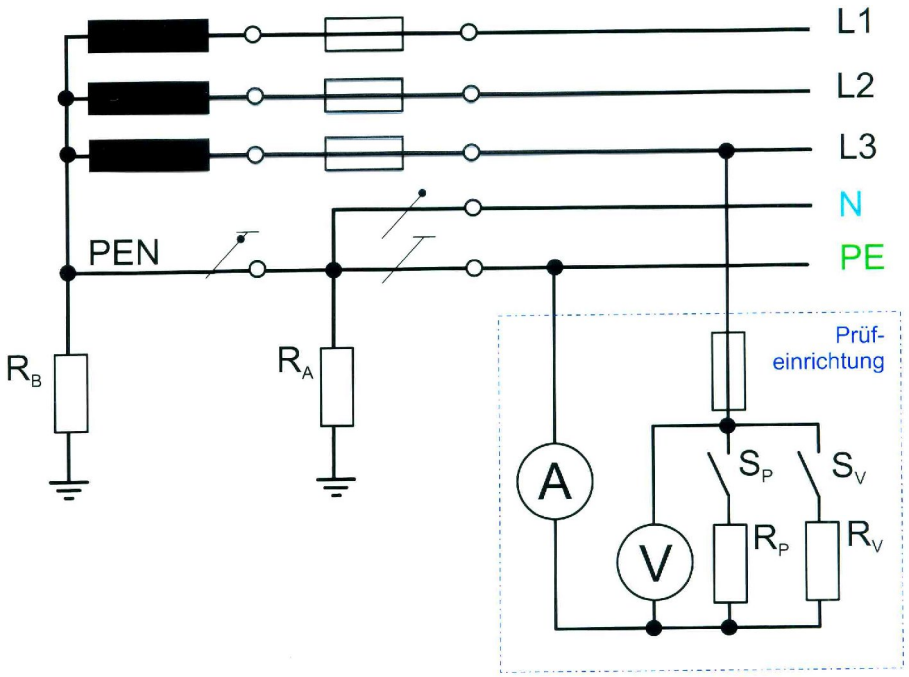
- Nennspannung 230V: 0,4s (TN-System) 0,2s (TT-System
- Nennspannung 400V: 0,2s (TN-System) 0,07s (TT-System)
- Nennspannung >400V: 0,1s (TN-System) 0,04s (TT-Systen)



Aus nebenstehendem Diagramm kann für Leitungsschutzautomaten der Kategorie B und C der Faktor für die Berechnung des Auslösestroms I_a abgelesen werden.

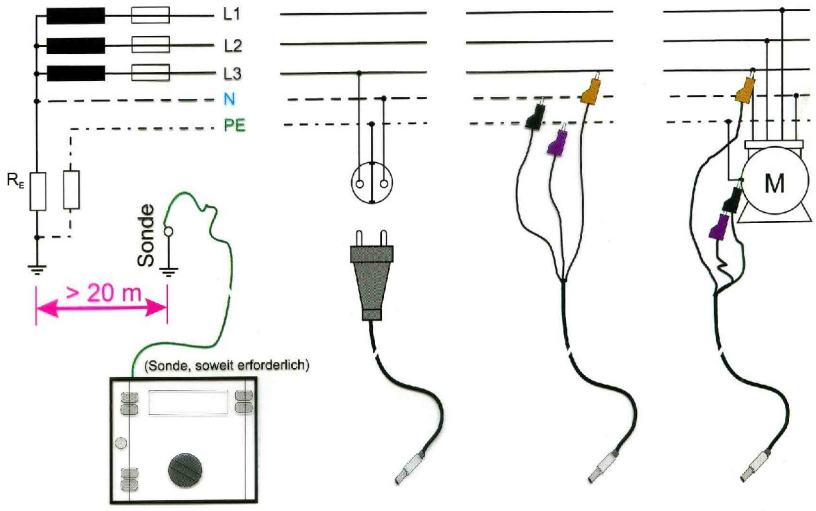
$$I_a = k \cdot I_{Nenn}$$

Aus den Größen Netzspannung U_0 und Schleifenimpedanz[1)] kann der Kurzschlussstrom berechnet werden. Untenstehende Grafik stellt die prinzipielle Messschaltung dar. Der Kurzschlussstrom muss ≥ dem Auslösestrom I_a der Schutzeinrichtung sein.



[1)] Impedanz → Scheinwiderstand bestehend aus ohmschem Widerstand und Blindwiderstand

Messung der Schleifenimpedanz:



Bei Messungen in Mehrphasensystemen muss zwischen jedem Außenleiter (L_1, L_2, L_3) und Schutzleiter (PE) gemessen werden.

Nach DIN VDE 0100 – 410 muss in **TN-System** folgende Bedingung erfüllt sein:

$$Z_S \cdot I_a \leq U_0$$

Z_S Schleifenimpedanz
I_a Abschaltstrom
U_0 Nennspannung gegen geerdeten Leiter

Aus den gemessenen Werten muss nun der rechnerische Nachweis der Abschaltbedingung erbracht werden. Als Erleichterung werden häufig Tabellen mit Vergleichswerten verwendet.

Schleifenimpedanzwerte im TN-System:

U_0 = 230V_{AC} 50 Hz	Niederspannungssicherung nach Normen DIN VDE 0636 mit Charakteristik gL				I_a und Z_S von Leitungsschutzschaltern und Leistungsschaltern für die überschlägige Prüfung					
I_N [A]	I_a (5s) [A]	Z_S (5s) [Ω]	I_a (0,2s) [A]	Z_S (0,2s) [Ω]	I_a =5 I_N [A]	Z_S (≤0,2s) [Ω]	I_a =10 I_N [A]	Z_S (≤0,2s) [Ω]	I_a =15 I_N [A]	Z_S (≤0,2s) [Ω]
2	9,21	24,972	20	11,5	10	23	20	11,5	30	7,66
4	19,2	11,979	40	5,75	20	11,5	40	5,75	60	3,833
6	28	8,21	60	3,833	30	7,666	60	3,833	90	2,555
10	47	4,893	100	2,3	50	4,6	100	2,3	150	1,533
16	73	3,194	148	1,554	80	2,879	160	1,437	240	0,958
20	88	2,613	191	1,204	100	2,3	200	1,15	300	0,766
25	120	1,916	270	0,851	125	1,84	250	0,92	375	0,613
32	156	1,474	332	0,692	160	1,437	320	0,718	480	0,479
35	173	1,329	367	0,692	175	1,314	350	0,657	525	0,438
40	200	1,15	410	0,56	200	1,15	400	0,579	600	0,383
50	260	0,884	578	0,397	250	0,92	500	0,46	750	0,306
63	351	0,655	750	0,306	315	0,73	630	0,365	945	0,243
80	452	0,508	-	-	-	-	-	-	-	-
100	573	0,401	-	-	-	-	-	-	-	-
125	751	0,306	-	-	-	-	-	-	-	-

Nach DIN VDE 0100 – 410 muss im **TT-System** folgende Bedingung erfüllt sein:

$$R_A \cdot I_a \leq 50V$$

R_A Summe der Widerstände des Erders und des Schutzleiters der Körper
I_a Abschaltstrom der Sicherung

Aus den gemessenen Werten muss nun der rechnerische Nachweis der Abschaltbedingung erbracht werden. Zur Hilfe kann auch folgende Tabelle verwendet werden:

Niederspannungssicherung nach Normen DIN VDE 0636 mit Charakteristik gL				I_a und Z_S von Leitungsschutzschaltern und Leistungsschaltern für die überschlägige Prüfung								
I_N [A]	I_a (5s) [A]	R_A bei U_L=50V [Ω]	R_A bei U_L=25V [Ω]	I_a =5 I_N [A]	R_A bei U_L=50V [Ω]	R_A bei U_L=25V [Ω]	I_a =10 I_N [A	R_A bei U_L=50V [Ω]	R_A bei U_L=25V [Ω]	I_a =15 I_N [A]	R_A bei U_L=50V [Ω]	R_A bei U_L=25V [Ω]
2	9,2	5,4	2,7	10	5,0	2,5	20	2,5	1,25	30	1,7	0,83
4	19,2	2,6	1,3	20	2,5	1,25	40	1,25	0,63	60	0,83	0,41
6	28	1,8	0,9	30	1,7	0,83	60	0,83	0,41	90	0,56	0,28
10	47	1,1	0,54	50	1,0	0,5	100	0,5	0,25	150	0,33	0,16
16	73	0,69	0,36	80	0,63	0,32	160	0,31	0,16	240	0,21	0,1
20	88	0,57	0,29	100	0,5	0,25	200	0,25	0,13	300	0,17	-
25	120	0,42	0,21	125	0,4	0,2	250	0,2	0,1	375	0,13	-
32	156	0,32	0,17	160	0,31	0,16	320	0,16	-	480	0,1	-
35	173	0,29	0,14	175	0,29	0,14	350	0,14	-	525	0,09	-

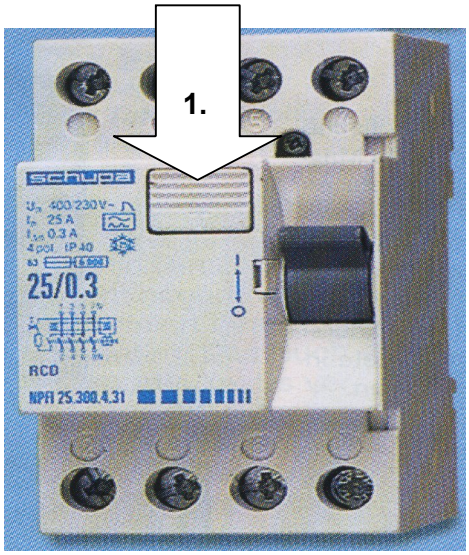
Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, dass im TT-System beim Einsatz von Sicherungen die Werte nach DIN VDE nicht erfüllt werden können.

Beim Einsatz von RCDs im TT-System darf der Erdungswiderstand größer sein:

Erdungswiderstand	Nenn-fehlerstrom	$I_{\Delta N}$	10mA	30mA	100mA	300mA	500mA
maximal zulässiger Erdungswiderstand, gemessen an Körpern von Betriebsmitteln	R_A bei	U_L=50V	5.000Ω	1.666Ω	500Ω	166Ω	100Ω
		U_L=25V	2.500Ω	833Ω	250Ω	83Ω	50Ω
maximal zulässiger Erdungswiderstand, gemessen an Körpern von Betriebsmitteln hinter selektiven RCDs	R_A bei	U_L=50V	-	-	250Ω	83Ω	50Ω
		U_L=25V	-	-	125Ω	41Ω	25Ω

2. 2. 6. Prüfen von RCDs (FI-Schutzschalter

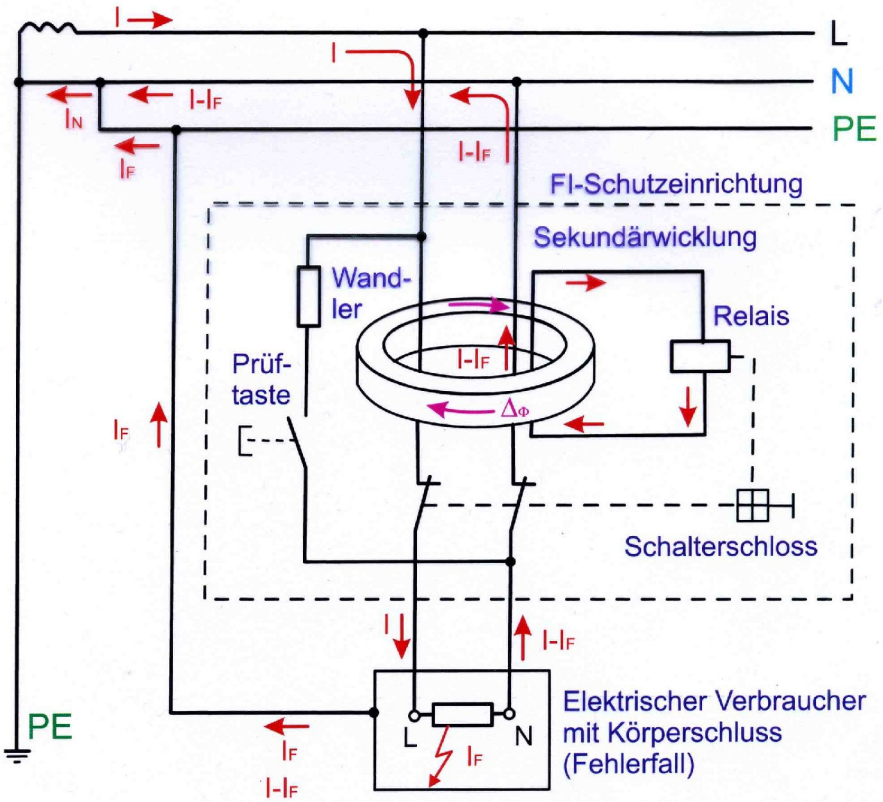
Da RCDs[1)] schon bei sehr kleinen Fehlerströmen sicher auslösen sollen, sind diese besonders sorgfältig und vor allem regelmäßig (halbjährlich) zu prüfen.



Reihenfolge der Prüfung:

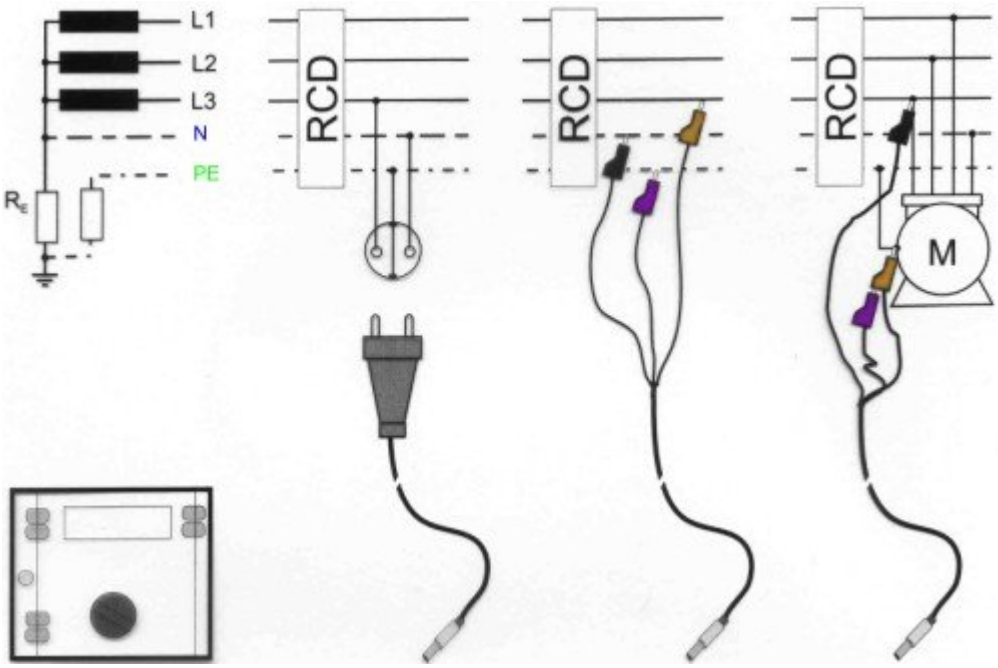
1. Prüftaste am RCD betätigen
2. RCD-Prüfung durch Prüfgeräte
   - Impulsstromprüfung
   - Verfahren mit ansteigendem Prüfstrom

Funktionsprinzip eines RCDs:

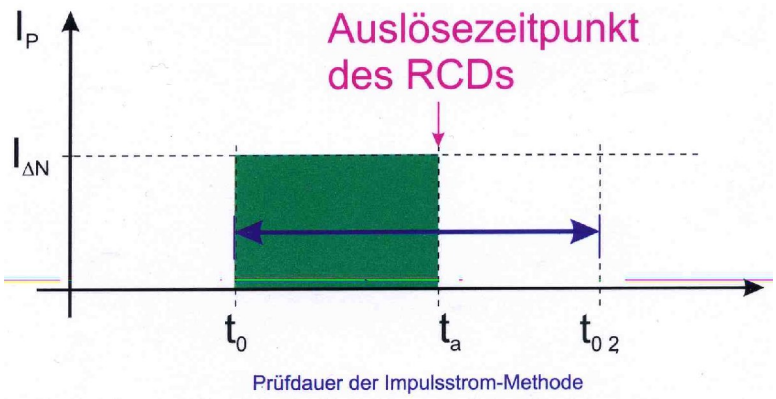


1) englisch: residual current protective devices

RCD-Prüfung:



Prüfen nach der Impulsstrommethode:



Bei der Impulsstrommethode wird vom Prüfgerät ein Fehlerstrom ($I_{\Delta N}$) für eine bestimmte Zeit (Auslösezeit eines RCDs) generiert.

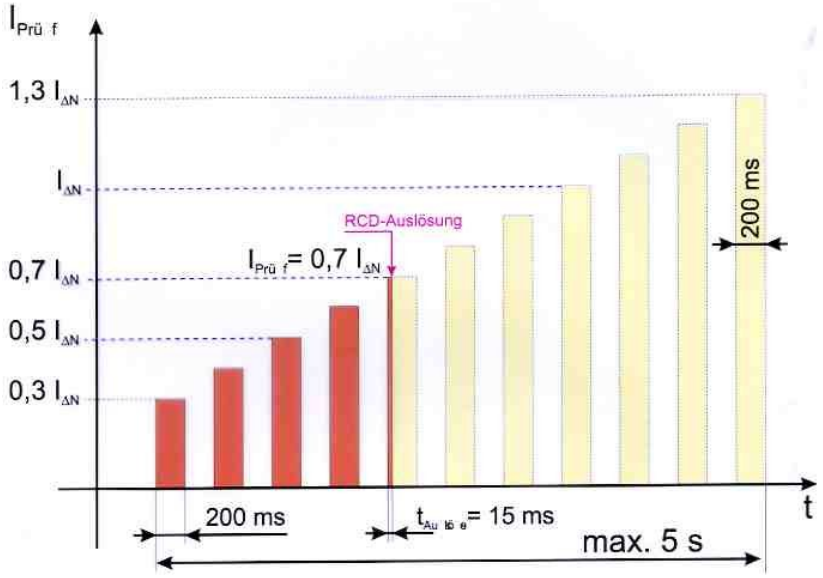
Die Prüfung gilt als erfolgreich, wenn der RCD innerhalb einer festgelegten Zeit (0,2s bzw. 0,07s) ausgelöst hat.

Mit diesem Prüfverfahren kann nur geprüft werden, ob der RCD die Abschaltbedingungen einhält. Eine qualitative Aussage, ob der zu prüfende RCD die Abschaltbedingungen

- nach den eingestellten Parametern des Herstellers bzw.
- gerade noch erfüllt hat,

ist nicht möglich

Prüfen nach der Methode des ansteigenden Prüfstroms:



Diese Methode ist derzeit nicht durch Normen gefordert. Sie hat aber den Vorteil, dass durch die Prüfzyklen

- der Auslösestrom des RCD
- mit der zugehörigen Auslösezeitspanne

des RCD ermittelt werden kann.

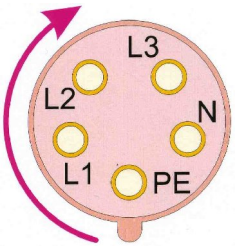
Bei der Messung erfolgen 10 Prüfungen mit $I_{Prüf}$ = (0,3 bis 1,3) $I_{\Delta N}$ bei einer jeweiligen Prüfdauer von 0,2s.

Sollte der RCD <u>nicht</u> auslösen, wird nach der 10. Prüfung (bei 1,3 $I_{\Delta N}$) die Messung abgebrochen. Dann muss der RCD so schnell wie möglich ausgetauscht werden.

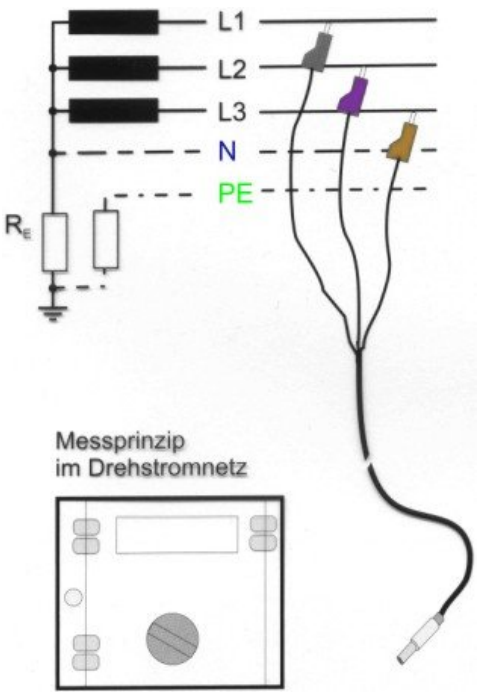
2. 2. 7. Prüfen der Spannungspolarität

Zum Prüfen der Spannungspolarität gehört auch das Prüfen der Phasenfolge bei Drehstromnetzen (Drehfeldprüfung).

An Drehstromsteckdosen soll nach DIN VDE wie im Bild dargestellt **Rechtsdrehfeld** anliegen.



Zur Messung werden in der Regel alle 3 Außenleiter an das Messgerät angeschlossen:



2. 2. 8. Dokumentation der Ergebnisse

Alle Ergebnisse der Prüfungen sind zu dokumentieren. Zur Dokumentation gehören alle Details zu den Stromkreisen (z.B. Anzahl der Steckdosen) wie auch alle Messergebnisse.

Zur Dokumentation können vorgefertigte Prüfprotokolle vom ZVEH aber auch Prüfprotokolle der Messgerätehersteller verwendet werden. Diese werden meist mit einer Zusatzsoftware mitgeliefert.

Prüfung elektrischer Anlagen

Prüfprotokoll

Nr. Blatt ..... von ..... Kunden Nr.:

Auftraggeber: Auftrag Nr.: Auftragnehmer:

Anlage:

Prüfung nach: DIN VDE 0100 Teil 610 ☐ DIN VDE 0105 ☐ BGV ☐ ..... / .... ☐

Neuanlage ☐ Erweiterung ☐ Änderung ☐ Instandsetzung ☐ Wiederholungsprüfung ☐ E-CHECK ☐

Beginn der Prüfung: Beauftragter des Auftraggebers: Prüfer:

Ende der Prüfung:

Netz ..... / ..... V Netzform: TN-C ☐ TN-S ☐ TN-C-S ☐ TT ☐ IT ☐

EVU/VNB

Besichtigen	i.O.	n.i.O.		i.O.	n.i.O.		i.O.	n.i.O.
Auswahl der Betriebsmittel	☐	☐	Kennzeichnung Stromkreis, Betriebsmittel	☐	☐	Zugänglichkeit	☐	☐
Trenn- und Schaltgeräte	☐	☐	Kennzeichnung N- und PE-Leiter	☐	☐	Hauptpotentialausgleich	☐	☐
Brandabschottungen	☐	☐	Leiterverbindungen	☐	☐	Zus. örtl. Potentialausgleich	☐	☐
Gebäudesystemtechnik	☐	☐	Schutz und Überwachungseinrichtungen	☐	☐	Dokumentation	☐	☐
Kabel, Leitungen, Stromschienen	☐	☐	Schutz gegen direktes Berühren	☐	☐	siehe Ergänzungsblätter ☐		
Erproben			Funktion der Schutz-, Sicherheits- und			Rechtsdrehfeld der		
Funktionsprüfung der Anlage	☐	☐	Überwachungseinrichtungen	☐	☐	Drehstromsteckdose	☐	☐
FI-Schutzschalter (RCD)	☐	☐	Drehrichtung der Motoren	☐	☐	Gebäudesystemtechnik	☐	☐

Messen Stromkreisverteiler Nr.:

Stromkreis Nr.	Stromkreis Zielbezeichnung	Leitung/Kabel Typ	Leitung/Kabel Leiter Anzahl	Leitung/Kabel Quers. (mm²)	Überstrom-Schutzeinrichtung Art Charakteristik	I_n (A)	Z_s (Ω) ☐ I_k (A) ☐	R_{iso} (MΩ) ohne ☐ mit ☐	Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD)		I_{Mess} (mA)	Ausl.-Zeit t_A (ms)	U_L ..... V U_{Mess} (V)	Fehlercode siehe auch
	Hauptleitung			x										
				x										
				x										
				x										
				x										
				x										
				x										
				x										

Durchgängigkeit Potentialausgleich (< 1 Ω nachgewiesen) Erdungswiderstand: R_E ..... Ω

Fundamenterder ☐	Hauptwasserleitung ☐	Heizungsanlage ☐	EDV-Anlage ☐	Antennenanlage/BK ☐
Potentialausgleichschiene ☐	Hauptschutzleiter ☐	Klimaanlage ☐	Telefonanlage ☐	Gebäudekonstruktion ☐
Wasserzwischenzähler ☐	Gasinnenleitung ☐	Aufzugsanlage ☐	Blitzschutzanlage ☐	☐

Verwendete Messgeräte nach DIN VDE	Fabrikat: Typ:	Fabrikat: Typ:	Fabrikat: Typ:

Prüfergebnis: keine Mängel festgestellt ☐ Mängel festgestellt ☐ Prüf-Plakette angebracht: ja ☐ nein ☐ Nächster Prüftermin:

Auftraggeber:

Gemäß Übergabebericht elektrische Anlage vollständig übernommen ☐
Zustandsbericht erhalten ☐

Ort Datum Unterschrift

Prüfer:

Die elektrische Anlage entspricht den anerkannten Regeln der Elektrotechnik ☐
Die elektrische Anlage entspricht nicht den anerkannten Regeln der Elektrotechnik ☐

Ort Datum Unterschrift

© 2002 Zentralverband der Deutschen Elektro- und Informationstechnischen Handwerke Bundesfachbereich Elektrotechnik

MUSTER

Prüfung elektrischer Anlagen

Übergabebericht [1] ☐ **Zustandsbericht** [1] ☐

Nr. Blatt ..... von ..... Kunden Nr.:

Auftraggeber [3]: Auftrag Nr.: Auftragnehmer [4]:

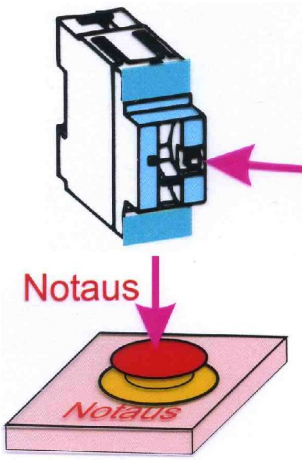
Anlage: Zähler Nr.:

Zählerstand kWh

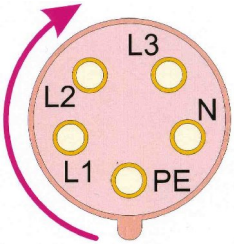
Ort/Anlagenteil [3] / Anzahl Betriebsmittel ☐ Fehler-Code ☐																	
Elektrotechnische Geräte:																	
[illegible]																	
[illegible]																	
[illegible]

2. 2. 9. Zusammenfassung

Erproben:



- der Isolationsüberwachungsgeräte sowie der FI- (RCD) und FU-Schutzschalter
- der Wirksamkeit von Schutzeinrichtungen
- des Rechtsdrehfeldes bei Drehstromsteckdosen



Messen und Prüfen von:

- Erdungswiderstand
- Durchgängigkeit und Widerstand des Schutz- und Potentialausgleichsleiters
- Isolationswiderstand
- Widerstand von Fußböden und Wänden
  - soweit erforderlich -
- Nennwerte (Spannung, Strom)
- Schleifenwiderstand und Abschaltstrom
- RCD-Prüfung (Fehlerspannung, Nennfehlerstrom)
- Drehfeld
- Dokumentation der Ergebnisse

Stichwortverzeichnis:

A

Abdeckung 3
Abdeckungen 4
Abschaltorgan 5
Abschaltstrom 26
Abschaltung 4, 8, 10
Abschaltzeit 23
aktives Teil 14
Anlagenerder 7
ansteigender Prüfstrom 29
Auslösezeit 29

B

Basisschutz 4, 12
Berührungsspannung 5
Besichtigen 3
Betriebsmittel 3, 7
Blitzschutzanlage 7
Brandschutz 13

D

direktes Berühren 4
Dokumentation 30
Drehfeld 29

E

Erdausbreitungswiderstand 15
Erder 18
  Band- 18
  Maschen- 18
  Platten- 18
  Ring- 18
  Stab- 18
Erdung 14
Erdungsanlage 10, 15
Erdungsmessung 15
  Messverfahren 16
Erdungswiderstand 26
  Messung 16
Erdungswiderstand 16
Erdwiderstand 18
  spezifischer 19
Erpotential 10
Erproben 3
Ersung 15

F

Fehler 5
Fehlerstrom 27
FI-Schutzschalter 27, 28, 29
Fundamenterder 7

G

galvanische Trennung 12
Gehäuse 3

H

Häufung 13
Haupterdungsschiene 7
Hauptpotentialausgleich 6, 7, 8
  Querschnitt 7, 8
Hausanschlussraum 6

I

Impulsstrommethode 28
indirektes Berühren 20
Isolationsfehler 22
Isolationswiderstand 21
Isolierender Fußboden 23
Isolierung 4, 10
  doppelte 10
  verstärkte 10
Isolierungen 4

K

Kleinspannung 10, 23
Klemmen 4
Kurzschluss 13
Kurzschlussstrom 23, 24

L

Leiterquerschnitt 14
leitfähiges Teil 7

M

Messen 3
Messung 3
Mindestabstand 3
Mindestquerschnitt 7, 9

O

Oberflächenerder 15

P

PELV 10, 22
PEN-Leiter 7, 9
Pläne 13, 14
Potentialausgleich 5, 15
  örtlicher 6
  Querschnitt 7, 8
  zusätzlicher 6, 7, 8
Potentialausgleichsleiter 20
Prüfdauer RCD 29
Prüftaste 27

R

RCD 21, 27, 28, 29

S

Schaltungsunterlagen 13
Schleifenimpedanz 24, 25
Schleifenwiderstand 21, 23
Schutz
  zusätzlicher 12
Schutzleiter 10, 20
Schutzleiterwiderstand 20
Schutzmaßnahmen 4
Schutzpotentialausgleich 5
Schutztrennung 10
SELV 10, 22
Sicherung 13
Spannungspolarität 29
Spannungstrichter 17
Sternpunkt 8

T

Tiefenerder 15
TN-C-S-System 9
TN-C-System 9
TN-S-System 9
TN-System 5, 8, 21, 25
Trenntrafo 10
TT-System 5, 10, 21, 26

U

Überstromschutz 13, 14
Überstromschutzeinrichtung 13
Umhüllungen 4

V

Verlegeart 13

W

Wennermethode 18

Quellen:
VDE Vorschriften
WEKA MEDIA GmbH & Co. KG Ausbildungs- und Unterweisungsfolien