

Messungen und Prüfungen an Erdungsanlagen

Messungen von Erdungswiderständen

Der Erdungswiderstand ist eine für die Wirksamkeit der Erdungsanlagen maßgebende Größe. Der Beitrag behandelt die Messungen von Erdungswiderständen, kurz Erdungsmessungen genannt.

1 Allgemeingültiges

1.1 Erdungswiderstand und Erdungsimpedanz

Für die Wirksamkeit einer Erdungsanlage ist vor allem deren Scheinwiderstand (Erdungsimpedanz) Z_E maßgebend, der sich entsprechend Bild 1 und Gleichung (1) zusammensetzt.

$$Z_E = \sqrt{R_E^2 + X_E^2} \quad (1)$$

$$R_E = R_A + R_M + R_L \quad (2)$$

Der Erdungswiderstand R_E ist gemäß Gleichung (2) die Summe aus dem Ausbreitungswiderstand R_A , dem Wirkwiderstand R_M des als Erder dienenden metallenen Leiters und dem Wirkwiderstand R_L des Erdungsleiters (Leiter zwischen Potentialausgleichsschiene oder Haupterdungsschiene und Erder). Der Ausbreitungswiderstand R_A ist der Widerstand zwischen dem Erder und der Erde.

Die Reaktanz (Blindwiderstand) der Erdungsanlage X_E ergibt sich aus der Gleichung (3).

$$X_E = X_M + X_L \quad (3)$$

X_M Reaktanz des Erders
 X_L Reaktanz des Erdungsleiters.

Für Netzwechselstrom haben nur lange gestreckte Horizontalerder und lange Staberder eine erhebliche Reaktanz. Ansonsten ist die Differenz zwischen Erdungsimpedanz und Erdungswiderstand so gering, dass diese beiden Größen oftmals nicht auseinander gehalten werden. Auch in den Normen wird kein Unterschied gemacht.

Die Erdungsmessungen werden mit Wechselstrom durchgeführt. Darum wird die Erdungsimpedanz gemessen. Ist die Messfrequenz größer als 50 Hz, so wird eine etwas größere Erdungsimpedanz angezeigt. Das ist jedoch kein Nachteil, weil man damit auf der sicheren Seite liegt.

1.2 Erfordernis für Erdungsmessungen

Erdungsmessungen sind u. a, dann erforderlich, wenn die Einhaltung eines bestimmten Erdungswiderstands oder einer bestimmten

Erdungsimpedanz gefordert ist, z. B. bei folgenden Erdungsanlagen:

- Schutzerder für die Schutzmaßnahmen TT- und IT-System in Niederspannungsanlagen ([1], Abschnitte 411.5 und 411.6; [2]),
- Gemeinsame Erdungsanlage für Hochspannungsschutzerdung und Niederspannungsbetriebserdung bei Transformatorenstationen,
- Erdungsanlage für Erdschlussdrosselspule einer Mittelspannungsanlage.

Bei Blitzschutzanlagen müssen Erdungsmessungen auch dann erfolgen, wenn die Einhaltung eines bestimmten Wertes nicht gefordert ist. Bei Wiederholungsprüfungen müssen die Ergebnisse mit denen früherer Messungen verglichen werden.

1.3 Normen für Messgeräte

Die Normen enthalten Forderungen an die Hersteller der Messgeräte. Für die Benutzer haben sie nur informative Bedeutung.

In Niederspannungsanlagen müssen die Erdungsmessungen mit Geräten der Normenreihe VDE 0413 durchgeführt werden ([3], Abschn. 61.1). Für die Anforderungen an alle Geräte gilt VDE 0413-1 [4]. Zusätzlich müssen die Geräte je nach ihrer Art (in Abhängigkeit vom Messverfahren) folgende Normen erfüllen:

- VDE 0413-5 Messgeräte für Erdungswiderstand [5]
 - VDE 0413-6 Messgeräte für Schutzmaßnahmen mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen [6]
 - VDE 0413-10 Kombinierte Messgeräte [7].
- Geräte, die nach früheren Ausgaben von Normen der Reihe VDE 0413 hergestellt wurden, können natürlich auch eingesetzt werden.

1.4 Auswahl der Messgeräte

Es genügt nicht, die – oft unklaren – Bedienungsanleitungen der Geräte zu befolgen, sondern der Durchführende muss sich auch darüber im Klaren sein, welches Messverfahren er anwendet. Messgeräte, die nicht erkennen lassen, welches Messverfahren zur Anwendung kommt, sollten nicht benutzt werden. Es ist ratsam, vor der Beschaffung von Geräten deren Beschreibungen und Kennblätter, nach Möglichkeit auch die Bedienungsanleitungen anzufordern und sich daraus ein Urteil zu bilden. Einige Hersteller sind in der Tafel 1 aufgeführt. Die Erdungsmesser der Firma LEM (früher Norma Goerz

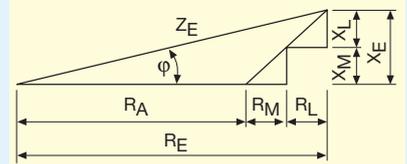
Instruments) werden jetzt von der Firma Fluke Deutschland hergestellt.

1.5 Vermeidung von Gefahren und Messfehlern

Durch das Messen und die begleitenden Maßnahmen (z. B. Trennen regulärer Verbindungen, Herstellen irregulärer Verbindungen) dürfen keine Gefahren hervorgerufen werden ([3], Abschn. 61.1.3). Die Messspannung oder der Messstrom muss begrenzt sein (siehe Abschnitte 3.1 und 4.1). Bevor Verbindungen getrennt werden, die für den Schutz gegen elektrischen Schlag erforderlich sind, muss die gesamte Starkstromanlage spannungsfrei geschaltet und gegen Wiedereinschalten gesichert werden.

Eine Messung, die das Trennen von Verbindungen (z. B. das Öffnen der Trennstellen einer Blitzschutzanlage) erfordert, darf nur dann erfolgen, wenn kein Gewitter besteht oder erwartet werden kann. Das Nichtbefolgen könnte zu Gefahren führen, insbesondere für den Durchführenden. Nach der Messung müssen alle gelösten Verbindungen wieder zuverlässig hergestellt werden.

Wenn sich der Messstrom verzweigt, so dass ein Teil von ihm parallel zum Messobjekt fließt, wird ein zu kleiner Erdungswiderstand angezeigt. Darum muss sich der



1 Widerstandsdiagramm einer Erdungsanlage

R_A Ausbreitungswiderstand; R_E Erdungswiderstand (Wirkwiderstand der Erdungsanlage); R_M Wirkwiderstand des metallenen Leiters, der den Erder bildet; R_L Wirkwiderstand des Erdungsleiters (z. B. Anschlussfahne, Kabel); X_E Erdungsreaktanz (Blindwiderstand der Erdungsanlage); X_M Reaktanz des metallenen Leiters, der den Erder bildet; X_L Reaktanz des Erdungsleiters; Z_E Erdungsimpedanz (Scheinwiderstand der Erdungsanlage); φ Impedanzwinkel

Tafel 1 Einige Hersteller von Geräten und Zubehör für Erdungsmessungen

■ Amprobe Europe , 41065 Mönchengladbach
■ Chauvin Arnoux , 77694 Kehl am Rhein
■ Ch. Beha (Tochter von Fluke), 79286 Glottertal
■ Fluke Deutschland , 34123 Kassel
■ GMC-Instruments Deutschland , (Vertriebsgesellschaft der Gossen-Metrawatt) 90471 Nürnberg

Autor

Dipl.-Ing. (FH) *Enno Hering* ist Mitglied des AK „Blitzschutz“ und des AK „Starkstromanlagen bis 1000 V“ des VDE-Bezirksvereins Dresden.

Messende Kenntnis davon verschaffen, was alles mit dem Messobjekt verbunden ist [8]. Die Messungen dürfen nur von fachkundigen Personen ausgeführt werden.

1.6 Berücksichtigung von Witterungseinflüssen

Der spezifische Erdwiderstand sinkt bei steigender Temperatur und zunehmender Feuchtigkeit des Erdstoffes. Während bei Fundamentern unterkellerten Gebäude und bei langen Stabern diese Einflüsse gering sind, müssen sie insbesondere bei erdverlegten Horizontalern berücksichtigt werden. Wenn die Messung bei kaltem, trockenem Wetter erfolgt, gibt es kein Problem. Bei warmem Wetter und nach Regengüssen muss ein Zuschlag auf das Messergebnis gegeben werden.

1.7 Beurteilung der Messergebnisse

Ein objektiver Messfehler kann schon vom Messgerät hervorgerufen werden. Auch bei Einhaltung der in den Normen festgelegten und in den Bedienungsanleitungen angegebenen Bedingungen und Fehlen störender Einflüsse sind Betriebsmessabweichungen möglich. Diese können dem Datenblatt oder der Bedienungsanleitung entnommen werden. Bei den (in den Abschnitten 2.4 und 4 behandelten) Messverfahren mit unmittelbarer Stromentnahme aus dem Netz können die in diesem zufällig während der Messung auftretenden Strom- und Spannungsänderungen zusätzliche Messfehler bewirken.

Ursachen für subjektive Messfehler können u. a. sein:

- Nichtbeachtung der für das Messen schädlichen Verbindungen,
- Falscher Anschluss der Messleitungen oder falsche Stellung eines Umschalters,

- Falsche Einbringungsstelle von Hilfsleiter oder Sonde,
- Ablesefehler,
- Unterlassung erforderlicher Maßnahmen zur Reduzierung objektiver Messfehler.

Das Messergebnis sollte bei Erstprüfungen mit dem Projekt und bei Wiederholungsprüfungen mit den Ergebnissen früherer Messungen verglichen werden. Bei starker Abweichung sollte so weit wie möglich ihre Ursache ermittelt werden. Bezüglich der Berücksichtigung der Witterungseinflüsse wird auf den Abschnitt 1.6 verwiesen.

1.8 Prüfbericht

Die Erdungsmessung ist nur eine von mehreren an den Erdungsanlagen erforderlichen Prüfungen [9]. Für alle wird üblicherweise ein gemeinsamer Prüfbericht angefertigt.

Die durchgeführten Messungen einschließlich der begleitenden Maßnahmen müssen so deutlich beschrieben werden, dass sie später danach reproduziert werden können. Dazu gehören Angaben über

- das angewendete Messverfahren,
- den Typ des Messgerätes,
- die Stellungen von Umschaltern, soweit vorhanden,
- für die Messung getrennte und hergestellte Verbindungen.

Das Messergebnis muss eindeutig angegeben werden. Das gilt auch für den Zuschlag wegen der Witterungseinflüsse, sofern er nötig ist.

Der Prüfbericht wird gefordert durch

- [3], Abschnitt 61.1.6 bei Erdungsanlagen für Niederspannungsanlagen,
- [10], Anhang E, Abschnitt E.7.2.5 bei Blitzschutzerdungsanlagen,
- beide Vorschriften, wenn eine Erdungsanlage beiden Zwecken dient.

2 Übersicht über die Messverfahren

2.1 Grundsätze

Die Innenschaltungen der Messgeräte und die äußeren Schaltungsanordnungen sind sehr vielfältig. Allen Messverfahren ist jedoch gemeinsam, dass die vom Messstrom an der Erdungsanlage hervorgerufene Spannung zur Feststellung der Erdungsimpedanz dient. In den Bildern sind die den Messstrom führenden Leiter außerhalb der Messgeräte rot dargestellt.

Die bekannten Messverfahren sind in der Tafel 2 aufgeführt. Ihre Schaltungsprinzipien zeigen die Bilder 2 bis 4. Die außerordentliche Länge der Benennungen ist für die eindeutige Unterscheidung der Messverfahren unerlässlich.

Obwohl die einzelnen Messverfahren unterschiedlich beurteilt werden müssen, gibt es keines, was als ideal hervorgehoben werden kann. Jedes von ihnen hat den einen oder anderen Nachteil wie Anwendungsbeschränkung, Gefahr eines elektrischen Schlages, größere Messfehler, größerer Arbeitsaufwand. Die Vor- und Nachteile der einzelnen Messverfahren werden in den Abschnitten 3 und 4 näher beschrieben. Alle erfordern eine große Fachkenntnis und Umsicht des Ausführenden.

Bei den Messverfahren ohne unmittelbare Stromentnahme aus dem Netz (Spalten 1 bis 6 der Tafel 2) wird mit Messfrequenzen gearbeitet, die von 16,7 Hz, 50 Hz und deren ganzzahligen Vielfachen um mindestens 5 Hz abweichen. Damit werden störende, das Messergebnis verfälschende Einflüsse netzfrequenter Ströme („Störwechselströme“) vermieden.

Bei den Messverfahren mit unmittelbarer Stromentnahme aus dem Netz (Spalten 7 bis 9 der Tafel 2) ist natürlich die Gleichheit von

Tafel 2 Übersicht über die Messverfahren

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Benennung nach der Innenschaltung								
Kompensationsmessverfahren			Strom-Spannungs-Messverfahren					
Unterscheidung hinsichtlich unmittelbarer Stromentnahme aus dem Netz^{v)}								
ohne						mit		
Unterscheidung bezüglich Benutzung von Sonde und Hilfsleiter^{w)}								
mit Sonde und Hilfsleiter	mit Sonde, ohne Hilfsleiter	ohne Sonde, ohne Hilfsleiter ^{x)}	mit Sonde und Hilfsleiter	mit Sonde, ohne Hilfsleiter	ohne Sonde, ohne Hilfsleiter ^{x), y)}	mit Sonde	PEN- oder N-Leiter anstelle Sonde	ohne Sonde ^{x)}
Bild								
2	3 b) ^{z)}	3 c) ^{z)}	3 a)	3 b)	3 c)	4 a)	4 b)	4 c)
Eingehende Beschreibung im Abschnitt								
2.2			3.2	3.3	3.4	4.3	4.4	4.5
Ausführliches Bild								
-			5	6	7	11	12	13

- v) Diese Unterscheidung gehört bei den Strom-Spannungs-Messverfahren zu deren Benennung.
- w) Diese Unterscheidung gehört zur Benennung aller Messverfahren.
- x) Das ist eine Schleifenwiderstandsmessung über Erde.
- y) Das Einfügen eines Erdungsmessers in den Erdungsleiter kann entfallen, wenn dieser von einem Zangenwiderstandsmesser umfasst wird.
- z) Beim Kompensationsmessverfahren gilt das Bild nur für die Außenschaltung.

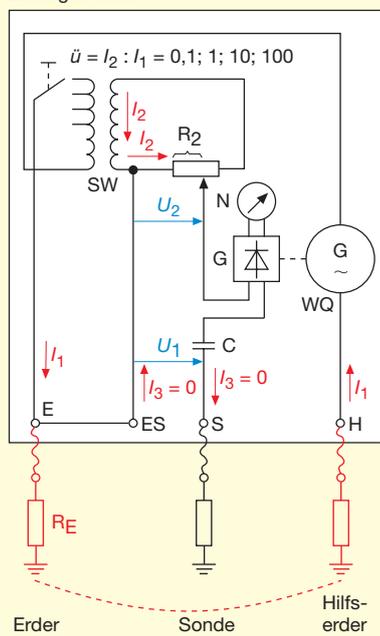
Netzfrequenz und Messfrequenz unumgänglich. Dadurch können leider die vorstehend erwähnten Störeinflüsse nicht ausgeschlossen werden. Diese Messverfahren haben dafür Vorteile bezüglich der Anwendbarkeit und Arbeitersparnis.

2.2 Kompensationsmessverfahren

Das Kompensationsverfahren nach Behrend gehört zu den Messverfahren ohne unmittelbare Stromentnahme aus dem Netz. Die damit ausgeführten Messgeräte werden nicht mehr hergestellt, weil für den gleichen Anwendungsbereich Geräte mit den Stromspannungs-Messverfahren (ebenfalls ohne unmittelbare Stromentnahme aus dem Netz) entwickelt wurden, die sich u. a. durch einen höheren Bedienungskomfort auszeichnen. Dennoch wird das Kompensationsmessverfahren nachstehend beschrieben, weil es fundamentale Bedeutung für die Entwicklung der Erdungsmesstechnik hat und weil entsprechende Geräte noch in Benutzung sind.

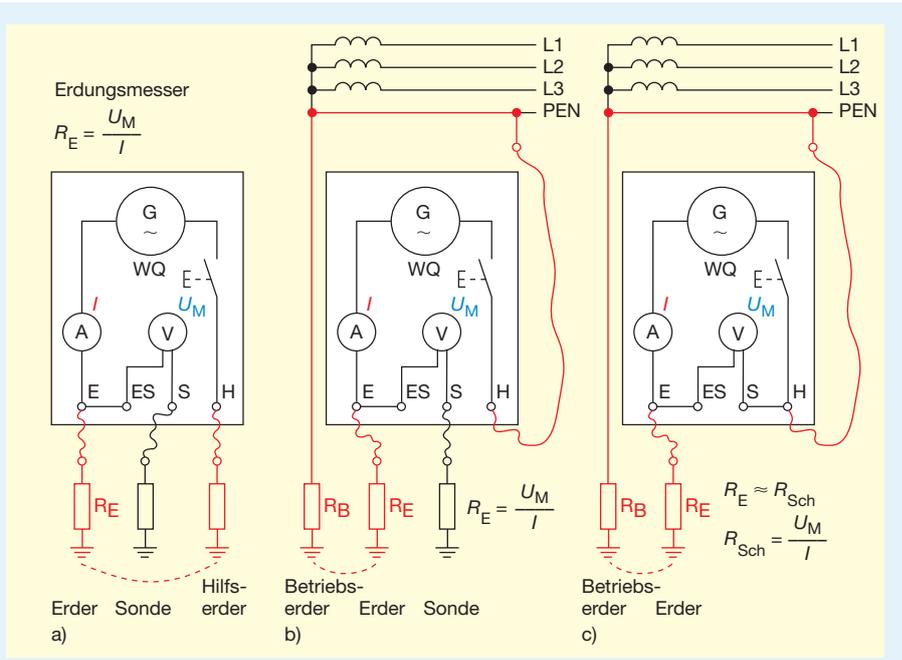
Die Kompensationschaltung ist im Bild 2 dargestellt. Zum Zweck der Messung werden ein Hilfserder und eine Sonde provisorisch in den Erdstoff eingebracht. Die Sonde ist im abgeglichenen Zustand des Erdungsmessers stromlos. Ihr Erdungswiderstand hat

Erdungsmesser



2 Kompensationsmessverfahren

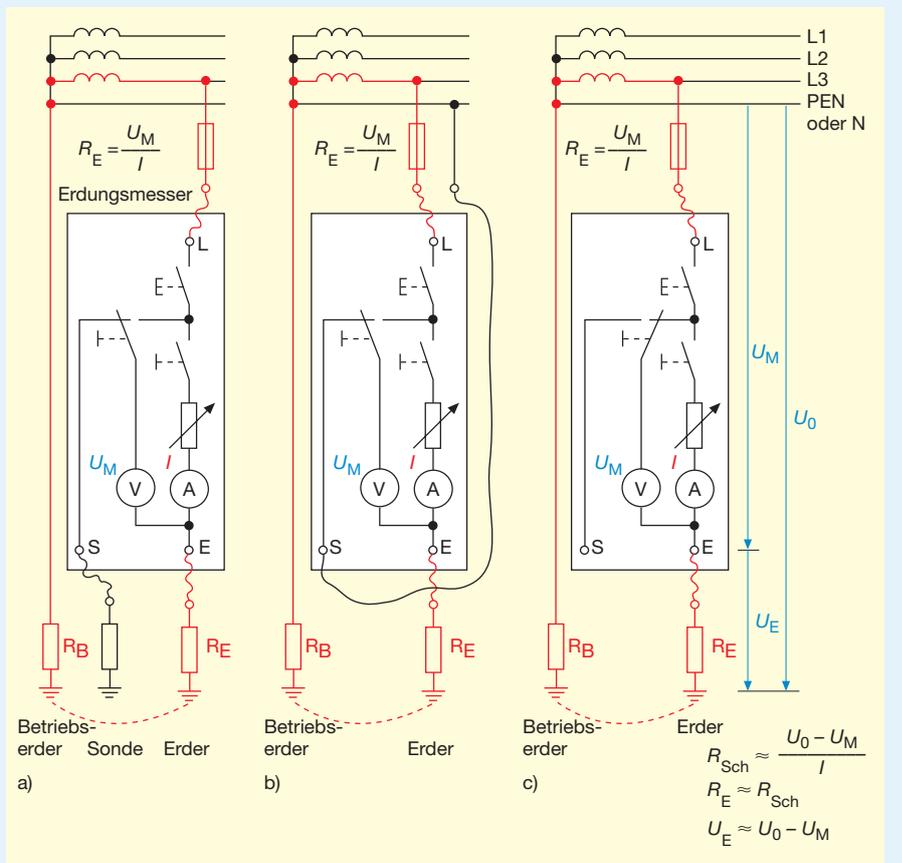
G Gleichrichter; I_1 Messstrom; I_2 Referenzstrom; I_3 auf Null abzugleichender Strom; **C** Kondensator; **N** Nullindikator; R_E zu messender Erdungswiderstand; R_2 Referenzwiderstand; **SW** Stromwandler; U_1 Erderdspannung des Messobjekts; U_2 Referenzspannung; \dot{u} Übersetzungsverhältnis von SW; **WQ** Wechselstromquelle



3 Strom-Spannungs-Messverfahren ohne unmittelbare Stromentnahme aus dem Netz

a) mit Sonde und Hilfserder; **b)** mit Sonde, ohne Hilfserder; **c)** ohne Sonde, ohne Hilfserder (eine Schleifenwiderstandsmessung über Erde)

I Messstrom; R_{Sch} Schleifenwiderstand; U_M Messspannung



4 Strom-Spannungs-Messverfahren mit unmittelbarer Stromentnahme aus dem Netz

a) mit Sonde; **b)** mit Benutzung des PEN-Leiters oder Neutralleiters statt Sonde; **c)** ohne Sonde (eine Schleifenwiderstandsmessung über Erde)

U_0 Leiter-Erde-Spannung

darum keinen Einfluss auf das Messergebnis; er setzt lediglich die Messempfindlichkeit herab. Angaben über Ausführung und Anordnung von Hilfserder und Sonde stehen im Abschnitt 3.

Die Wechselstromquelle WQ liegt zwischen dem Anschluss für das Messobjekt (Klemme E) und dem für den Hilfserder (Klemme H). In Reihe mit ihr liegt die Primärwicklung eines Stromwandlers SW. An dessen Sekundärwicklung ist ein Spannungsteiler mit veränderbarem Abgriff angeschlossen. Der eingestellte linke Teil R_2 („Referenzwiderstand“) wird durch eine Skala am Bedienteil des Spannungsteilers angezeigt. Zwischen den veränderbaren Abgriff und den Anschluss für die Sonde (Klemme S) ist ein Nullindikator N mit vorgeordnetem Gleichrichter G eingefügt. Dieser wird von der Wechselstromquelle gesteuert. Ein Kondensator C verhindert, dass Gleichstrom über die Sonde fließt. Von einem Ende des Spannungsteilers besteht noch eine Verbindung zum Messobjekt (über die Klemmen ES und E). Das Übersetzungsverhältnis \tilde{u} des Stromwandlers ist zur Erzielung mehrerer Messbereiche umschaltbar. Im Abgleichzustand ist der Strom I_3 in der Sonde Null. Somit fließt im Messobjekt und im Hilfserder der gleiche Strom I_1 . Ferner sind die Spannungen U_2 („Referenzspannung“) und U_1 gleich groß. Die Spannung U_1 entspricht der Erderspannung, die der Messstrom I_1 am gesuchten Erdungswiderstand R_E des Messobjekts E hervorruft, während U_2 der Spannungsfall ist, den der Strom I_2 („Referenzstrom“) am Referenzwiderstand R_2 bewirkt. Die Spannungsfälle folgen dem ohmschen Gesetz, was durch die Gleichungen $U_1 = I_1 \cdot R_E$ und $U_2 = I_2 \cdot R_2$ zum Ausdruck kommt. Wenn die Übersetzung des Stromwandlers $\tilde{u} = 1:1$ ist, dann ist $I_2 = I_1$, und der gesuchte Erdungswiderstand R_E ist genau so groß wie der eingestellte Referenzwiderstand R_2 . Der Erdungswiderstand kann darum an der oben erwähnten Skala abgelesen werden. Ist ein anderes Übersetzungsverhältnis eingeschaltet, so muss dieses mit dem Widerstand R_2 multipliziert werden, d. h. der Erdungswiderstand errechnet sich $R_E = \tilde{u} \cdot R_2$.

2.3 Sonstige Messverfahren ohne Netzstrom

Bei den Strom-Spannungs-Messverfahren ohne unmittelbare Stromentnahme aus dem Netz nach Bild 3 wird der Erdungswiderstand R_E aus der am Erder und zugleich an den Klemmen ES und S liegenden Messspannung U_M und dem Messstrom I ermittelt.

$$R_E = U_M / I \quad (4)$$

Das Bild 3 gibt nur das Prinzip und somit nur einen geringen Teil der umfangreichen Innenschaltung des Erdungsmessgeräts wieder. Üblicherweise wird unter Verzicht auf getrennte Anzeigen von Messspannung U_M und Messstrom I der Erdungswiderstand R_E di-

rekt digital angezeigt. Wenn die Wechselstromquelle WQ ein Konstantstromgenerator ist, kann der Erdungswiderstand vom Spannungsmesser angezeigt werden.

Als das Kompensationsmessverfahren entwickelt wurde, konnte man nur eine Außenschaltung entsprechend den Bildern 2 und 3 a). Darum war nur eine ganzheitliche Betrachtung von Innen- und Außenschaltung üblich. Das gleiche Gerät kann jedoch auch für Messungen mit den Außenschaltungen nach den Teilbildern 3 b) und 3 c) benutzt werden, was durch die Spalten 2 und 3 der Tafel 2 zum Ausdruck kommt. Umgekehrt können die Erdungsmesser für die Strom-Spannungs-Messverfahren ohne unmittelbare Stromentnahme aus dem Netz wie die Geräte mit der Kompensationsschaltung eingesetzt werden. Die Innenschaltungen sind also frei mit den Außenschaltungen kombinierbar.

2.4 Messverfahren mit Netzstrom

Diese Messverfahren sind nur in unmittelbar geerdeten Netzen anwendbar. Die Messungen erfolgen entsprechend Bild 4 mit einem Messstrom, der einem Außenleiter des Netzes entnommen wird. Es werden meist Messgeräte benutzt, die auch oder vorrangig zum Prüfen von Schutzmaßnahmen mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen bestimmt sind. Für die Verbindung mit dem Netz sind diese Geräte üblicherweise mit beweglicher Anschlussleitung und Schutzkontaktstecker versehen.

3 Strom-Spannungs-Messverfahren ohne Netzstrom

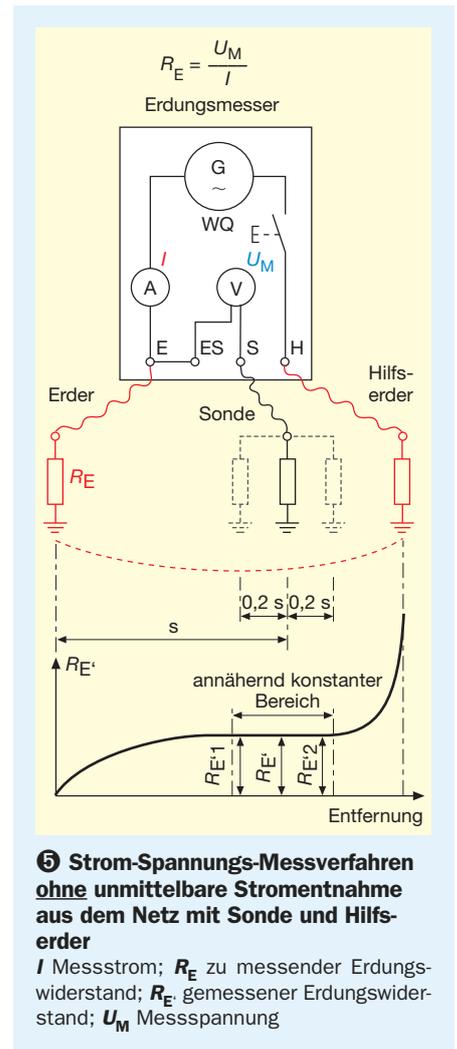
3.1 Erdungsmessgeräte

Die vier Anschlussklemmen sind gemäß Bild 5 bezeichnet. Sie bedeuten:

- Klemmen des Pfades für Stromquelle und ggf. Strommessung:
 - E** Erder (Messobjekt),
 - H** Hilfserder,
- Klemmen des Pfades für Spannungsmessung:
 - ES** Erder (bei der Messung des spez. Erdwiderstands die erternahe Sonde),
 - S** Sonde.

Die Klemmen E und ES sind beim Messen des Erdungswiderstands normalerweise durch eine lösbare Brücke oder ein Schaltglied eines Umschalters miteinander verbunden, weil der zu messende Erder (Messobjekt) an beide genannte Pfade der Innenschaltung angeschlossen ist. Wenn zudem die Klemmen H und S durch eine Brücke miteinander verbunden werden, kann der Erdungsmesser wie ein einfacher Widerstandsmesser eingesetzt werden.

Die Frequenz der Wechselstromquelle WQ weicht von 16,7 Hz und 50 Hz sowie den ganzzahligen Vielfachen um mindestens 5 Hz ab und liegt im Allgemeinen im Bereich von 41 Hz



bis 140 Hz, bei einigen Typen auch höher. Bei manchen Erdungsmessern ist sie wählbar. Einige Geräte schalten automatisch die Frequenz ein, bei der die geringsten Störungen auftreten („AFC – Automatic Frequency Control“).

Zum Schutz gegen elektrischen Schlag muss die vom Gerät im Leerlauf erzeugte Messspannung auf einen Effektivwert von 50 V und einen Scheitelwert von 70 V begrenzt sein, bei Erdungsmessern für den Einsatz in landwirtschaftlichen Betriebsstätten auf jeweils die Hälfte dieser Größen. Alternativ wird der Kurzschlussstrom auf einen Effektivwert von 3,5 mA und einen Scheitelwert von 5 mA begrenzt ([5], Abschn. 4.5). Wird keine der beiden Bedingungen erfüllt, muss eine selbsttätige Abschaltung erfolgen.

Der Energieversorgung des gesamten Gerätes dient ein Akku, eine Gruppe von Primärzellen oder – heute nur noch selten – ein Kurbelinduktor. Es muss erkennbar sein, ob die Spannung (der Entladezustand) der Energiequelle die Grenze für die Funktion des Gerätes einhält ([4], Abschn. 4.3).

Bei den Strom-Spannungs-Messverfahren ohne unmittelbare Stromentnahme aus dem Netz wird der Erdungswiderstand R_E als Quo-

tient aus der am Erder (und zugleich an den Klemmen ES und S) liegenden Messspannung U_M und dem (über die Klemmen E und H fließenden) Messstrom I ermittelt. Das Bild 5 zeigt nur das Prinzip der umfangreichen Innenschaltung. Üblicherweise wird unter Verzicht auf getrennte Anzeige von Messspannung U_M und Messstrom I der Erdungswiderstand R_E direkt digital angezeigt. Wenn die Wechselstromquelle ein Konstantstromgenerator ist, erübrigen sich die Strommessung und die Quotientenbildung, sodass ein Messinstrument, das wie ein Spannungsmesser beschaffen ist, den Erdungswiderstand anzeigt. Überwiegend ist ein Umschalter für die Wahl von Messschaltung, -frequenz und/oder -bereich sowie für das Ausschalten vorhanden. Die meisten Geräte weisen auch eine Taste für den Beginn des Messvorgangs auf. Der Erdungsmesser muss erkennen lassen, ob die maximal zuträglichen Hilfserder- und Sondenwiderstände eingehalten sind ([5], Abschn. 4.4). Auf eine warnende Anzeige sollte man sich nicht allzu sehr verlassen, denn wenn eine solche erscheint, kann der Grenzwert schon weit überschritten sein. Komfortable Geräte haben zusätzliche Funktionen wie z. B.

- Meldung oder automatische Abschaltung beim Auftreten einer zu hohen Störspannung,
- Meldung oder Messsperrung, wenn der Messstrom zu klein ist,
- Anzeige des Messstroms (bei Messung mit Konstantstromerzeuger nur zur Kontrolle),
- automatische Messbereichumschaltung,
- Bestehenbleiben der Anzeige („Hold“),
- Datenspeicherung für das Übertragen oder Drucken der Messergebnisse.

3.2 Messverfahren mit Sonde und Hilfserder

3.2.1 Prinzip

An das Erdungsmessgerät werden, wie im Bild 5 dargestellt, der zu messende Erder, ein Hilfserder und eine Sonde angeschlossen. Über den Erder, die Erde und den Hilfserder fließt der Messstrom I . Die dadurch am Erdungswiderstand R_E entstehende Spannung U_M liegt an den Klemmen ES und S des Erdungsmessers. Der Erdungswiderstand wird als Quotient aus U_M und I angezeigt.

3.2.2 Erder (Messobjekt)

Wird die Klemme E mit dem Anfang des Erdungsleiters (bei der Potentialausgleichsschiene oder Haupterdungsschiene) verbunden, so wird dieser in die Messung des Erdungswiderstands einbezogen. Bei der Verbindung direkt mit dem Erder wird dagegen der Widerstand des Erdungsleiters nicht mit gemessen. Der Unterschied ist jedoch meistens geringfügig.

Der Widerstand der Messleitung wird mit gemessen. Mit dem dadurch entstehenden Messfehler liegt man auf der sicheren Seite.

Damit er gering bleibt, ist es zweckmäßig und üblich, den Erdungsmesser in der Nähe der Anschlussstelle zu platzieren und eine kurze Messleitung zu benutzen. Der Widerstand der Messleitung kann aber auch gemessen und vom angezeigten Wert abgezogen werden. Wenn sein Einfluss unbedingt vermieden werden soll, muss die Brücke zwischen den Klemmen E und ES geöffnet und müssen diese über zwei Messleitungen mit der Erdungsanlage verbunden werden.

Das Messobjekt darf nicht mit anderen Erden verbunden sein, damit diese nicht das Messergebnis verfälschen. So muss in Verbraucheranlagen beim **TN-System** der Erdungsleiter von der Potentialausgleichsschiene getrennt sein, weil diese mit dem PEN-Leiter des Verteilungsnetzes verbunden ist. Beim **TT-System** ist diese Trennung nicht erforderlich, weil die Potentialausgleichsschiene nicht mit dem Neutralleiter des Verteilungsnetzes verbunden ist. Wird sie dennoch vorgenommen, so muss vorher die gesamte Anlage spannungsfrei geschaltet und gegen Wiedereinschalten gesichert sein.

3.2.3 Hilfserder

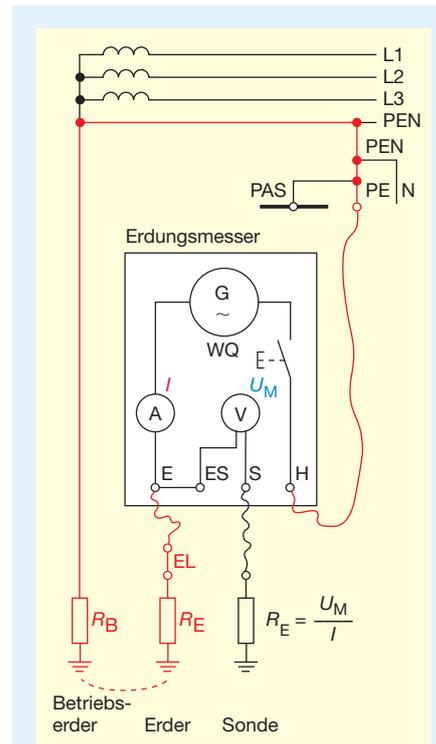
Der Hilfserder soll möglichst weit vom Messobjekt entfernt in den Erdstoff eingebracht werden, damit sich die Potentialtrichter dieser beiden Elektroden so wenig wie möglich überschneiden. Je größer der Erder ist, desto größer muss der Abstand sein. Als Richtwert für die minimale Entfernung kann man das Dreifache der Tiefe von Staberdern oder des mittleren Durchmessers von Ringerdern annehmen. Der in den Unterlagen mancher Hersteller angegebene Abstand von 40 m kann nur als Durchschnitt gelten. Ob im Einzelfall der gewählte Abstand ausreicht, wird sich beim Ermitteln der richtigen Sondenordnung (s. Abschn. 3.2.4) zeigen.

Der Hilfserder muss um so länger sein und um so tiefer eingebracht werden, je größer der spezifische Erdwiderstand ist. Ein zu großer Hilfserdungswiderstand kann zu Messfehlern führen, z. B. dadurch, dass der von der Wechselstromquelle normalerweise erzeugte Konstantstrom nicht zum Fließen kommt. Es kann evtl. hilfreich sein, die Einbringungsstelle für die Messung mit Wasser zu tränken.

3.2.4 Sonde

Der Innenwiderstand des Pfades für Spannungsmessung ist sehr groß, so dass es auf den Sondenwiderstand und somit auf die Größe der Sonde nicht so sehr ankommt. Diese wird vorzugsweise auf der Geraden zwischen Erder und Hilfserder eingebracht, und zwar an einer Stelle, die so weit wie möglich außerhalb der Potentialtrichter liegt und mit dem Diagramm im Bild 5 veranschaulicht wird.

Würde man eine Vielzahl von Messungen mit unterschiedlichem Abstand zwischen Erder und Sonde durchführen, dann würden die



6 Strom-Spannungs-Messverfahren ohne unmittelbare Stromentnahme aus dem Netz mit Sonde, ohne Hilfserder

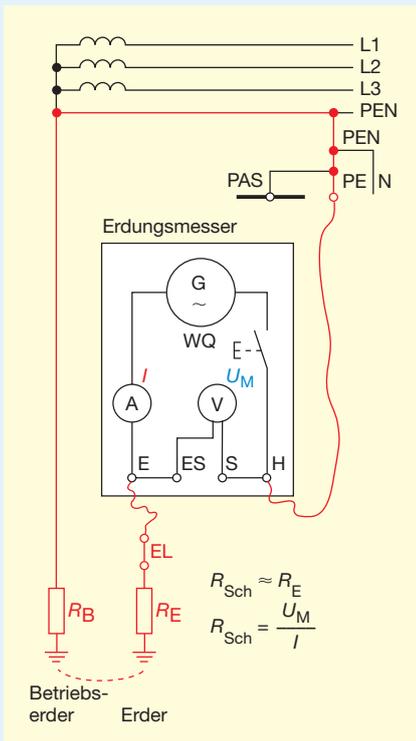
EL Erdungsleiter; PAS Potentialausgleichsschiene; RB Erdungswiderstand des Betriebserders

Messergebnisse eine Kurve bilden, die an den Enden relativ steil und dazwischen weniger steil ist. Bei genügend großem Abstand zwischen Erder und Hilfserder hat die Kurve einen annähernd konstanten Bereich, d. h. einen Bereich mit annähernd waagerechtem Verlauf. Dieser Bereich ist mit mindestens drei Messungen zu ermitteln. Sein Zentrum liegt nicht in der Mitte zwischen Erder und Hilfserder, sondern näher bei diesem, weil die Potentialtrichter unterschiedliche Ausdehnung haben. Im Allgemeinen beträgt der optimale Abstand zwischen Erder und Sonde etwa 2/3 des Abstandes zwischen Erder und Hilfserder ¹⁾.

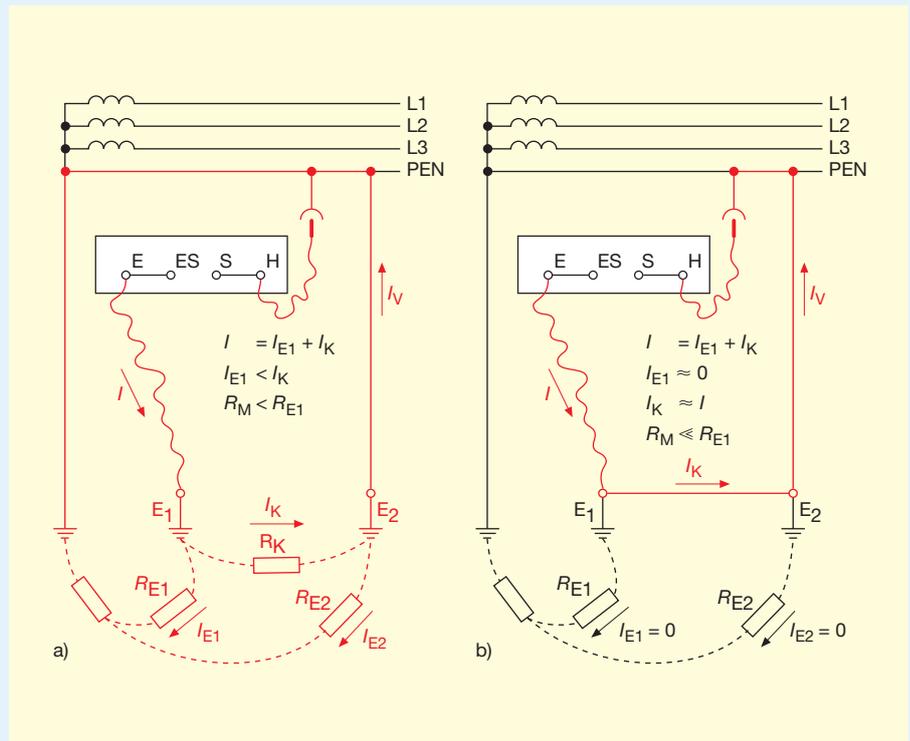
3.2.5 Anwendungsbeschränkungen

Kann kein Bereich mit annähernd waagerechtem Verlauf der Kurve festgestellt werden, so ist der Abstand zwischen Messobjekt und Hilfserder zu klein. Hat die Kurve einen unge-

¹⁾ Manche Hersteller schreiben, dass der Abstand Erder/Sonde die Hälfte des Abstands Erder/Hilfserder betragen soll. Das ist falsch! Von anderen Firmen wird empfohlen, die Entfernung Erder/Sonde immer 62 % der Entfernung Erder/Hilfserder zu wählen und wird das als „62%-Verfahren“ bezeichnet. Damit trifft man im Allgemeinen etwa die richtige Stelle. Diese muss jedoch in jedem Fall durch Versetzen der Sonde ermittelt werden.



7 Strom-Spannungs-Messverfahren ohne unmittelbare Stromentnahme aus dem Netz ohne Sonde, ohne Hilfs-erder (eine Schleifenwiderstandsmessung über Erde)
 R_{Sch} Schleifenwiderstand



8 Fälle der Nichteignung des Messverfahrens von Bild 7 im TN-System
a) Kleiner Abstand und dadurch kleiner Koppelwiderstand R_K zwischen dem Messobjekt E_1 und einem zweiten Erder E_2 , der mit dem PEN-Leiter verbunden ist. **b)** Metallene Verbindung zu einem zweiten Erder, der seinerseits mit dem PEN-Leiter verbunden ist.
 I_K das Messergebnis verfälschender Strom; R_{E1} zu messender Erdungswiderstand; R_M vom Erdungsmesser angezeigter Widerstand

wöhnlichen Verlauf, wird vermutlich durch unterirdische metallene Anlagen (z. B. Wasserleitung) die Messung beeinflusst. Unter diesen Umständen ist kein brauchbares Messeergebnis erzielbar. Es kann versucht werden, mit einer Messtrasse, die vorzugsweise rechtwinklig zur ursprünglichen oder zur Längsachse der unterirdischen metallenen Anlage oder entgegengesetzt liegt, zum Ziel zu kommen.

Die Messung ist auch unmöglich, wenn das Messobjekt von benachbarten Erden umgeben ist, z. B. in dicht bebauten Gebieten. Ferner ist sie undurchführbar, wenn Hilfs-erder und Sonde nicht an den richtigen Stellen eingebracht werden können. In all diesen Fällen muss ein anderes Messverfahren angewendet werden.

3.3 Messverfahren mit Sonde, ohne Hilfs-erder

3.3.1 Prinzip

Gemäß Bild 6 dient der Betriebs-erder des Verteilungsnetzes als Ersatz für den eingesparten Hilfs-erder. Es ist peinlich darauf zu achten, dass der Anschluss nicht versehentlich an einen Außenleiter erfolgt.

Beim **TN-System** wird die Klemme H des Messgeräts – z. B. über den Schutzkontakt eines Steckers – an den Schutzleiter (PE) angeschlossen, der seinerseits vom PEN-Leiter

abgezweigt ist. Die Klemme E wird an den Erdungsleiter EL angeschlossen, der von der Potentialausgleichsschiene getrennt sein muss, weil diese mit dem PEN-Leiter verbunden ist. Verteilungsnetze mit dem **TT-System** haben statt des PEN-Leiters einen Neutralleiter. Dieser muss als ein unter Spannung stehender Leiter behandelt werden, obwohl auch er an einen Betriebs-erder angeschlossen ist. Deswegen kann der Anschluss des Erdungsmessers an den Neutralleiter und somit die Anwendung dieses Messverfahrens im TT-System nicht gutgeheißen werden.

3.3.2 Probleme im TN-System

Im TN-System funktioniert dieses Messverfahren nicht, wenn das Messobjekt eine starke Kopplung oder eine metallene Verbindung mit einem anderen Erder hat, der seinerseits mit dem PEN-Leiter verbunden ist. Der Messstrom fließt dadurch teilweise auf falschem Weg, sodass die Anzeige des Erdungsmessers viel kleiner als der wahre Erdungswiderstand ist. Darauf wird noch im Abschnitt 3.4.2 eingegangen.

3.4 Messverfahren ohne Sonde, ohne Hilfs-erder

3.4.1 Prinzip

Dieses im Bild 7 dargestellte Messverfahren ist eine Schleifenwiderstandsmessung

über Erde, weil der Widerstand einer Leiterschleife gemessen wird, die über die Erde führt. Die Klemmen S und H des Erdungsmessers sind miteinander verbunden. Vorteilhaft ist es, dass weder Hilfs-erder noch Sonde eingebracht werden müssen.

Im **TN-System** wird der Erdungsleiter EL von der Potentialausgleichsschiene (PAS) getrennt und der Erdungsmesser dazwischen eingefügt. In Verbraucheranlagen mit dem **TT-System** ist dieses Messverfahren nicht geeignet.

Der Erdungswiderstand des Betriebs-erders und der Widerstand des PEN-Leiters werden mitgemessen. Sie könnten vom angezeigten Widerstand abgezogen werden, wenn sie genau bekannt wären. Sie sind jedoch schwer ermittelbar, zumal im TN-System die Betriebs-erdung nicht nur aus dem im Bild 7 dargestellten Betriebs-erder besteht, sondern von den zahlreichen Erden der Häuser mit den Verbraucheranlagen unterstützt wird. Mit dem Fehler, der durch die mitgemessenen Widerstände entsteht, liegt man auf der sicheren Seite.

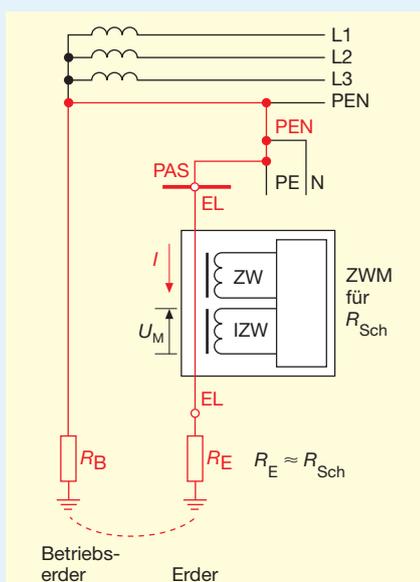
3.4.2 Probleme im TN-System

Das bereits im Abschnitt 3.3.2 geschilderte Problem kann auch hier auftreten. Das Bild 8 zeigt Beispiele dafür. Abhilfe können folgende vorübergehende Maßnahmen schaffen:

- Trennen der im Teilbild 8 b) vorhandenen metallenen Verbindung zwischen den Erden,
- Trennen des zweiten Erders vom PEN-Leiter, wenn der Besitzer das gestattet. Die verbleibende Beeinflussung des Messergebnisses durch den zweiten Erder ist kein Nachteil, denn sie steht in Einklang mit der Tatsache, dass dieser die Erderwirkung des ersten Erders verbessert. Näheres kann dem Beitrag [8] entnommen werden.

3.5 Messverfahren ohne Sonde, ohne Helferter, mit Zangenwiderstandsmesser

Es ist eine Variante des im Abschnitt 3.4 beschriebenen Messverfahrens. Der Unterschied besteht darin, dass hier in Abweichung vom Bild 7 kein Erdungsmesser in den Erdungsleiter eingefügt werden muss und dieser stattdessen gemäß Bild 9 von einem Zangenwiderstandsmesser ZWM („Erdungsprüfzange“, Typ „C.A 6410“, „C.A 6412“ oder „C.A 6415“, Hersteller: Chauvin Arnoux²⁾; „Erdschleifenmessgerät“, Typ „1630“, Hersteller: Fluke³⁾) umfasst wird, der einen Spannungsinduzierwandler IZW und einen Stromwandler ZW enthält. Der Quotient aus der vom IZW in den Erdungsleiter induzierten Spannung und dem dadurch fließenden, vom ZW erfassten Prüfstrom wird als Widerstand angezeigt. Hier ist es der Schleifenwiderstand R_{Sch} (siehe Abschnitt 3.4.1). Genau genommen ist es eine Schleifenimpedanz.



9 Messverfahren wie im Bild 7, jedoch mit Zangenwiderstandsmesser statt Erdungsmesser

EL Erdungsleiter; IZW Zangeninduzierwandler; ZW Zangenstromwandler; ZWM Zangenwiderstandsmesser

Bei einer anderen, hier nicht mit einem Bild dargestellten Lösung umfassen zwei Zangenstromwandler, von denen der Eine analog IZW als Spannungsinduzierwandler fungiert und der Andere entsprechend ZW der Strommessung dient, den Erdungsleiter. Sie sind an ein spezielles Erdungsmessgerät (Typ „1623“ oder „1625“, Hersteller: Fluke) angeschlossen. Dieses Zangenwandlerset („Stromzangen-set“) hat je nach zugeordnetem Erdungsmesser die Typbezeichnung „El-1623“ oder „El-1625“.

Vorteilhaft ist bei beiden Lösungen, dass der Erdungsleiter nicht getrennt werden muss. Das vermindert den Aufwand und vermeidet Gefahren. Das Problem nach Abschnitt 3.4.2 kann auch hier auftreten.

In Verbraucheranlagen ist dieses Messverfahren nur beim TN-System geeignet. In Freileitungsnetzen ist es für Masterder anwendbar, wenn der Erdungsleiter von den Zangenmessgeräten umfasst werden kann.

3.6 Selektive Erdungsmessung mit Sonde, Helferter und Zangenstrommesser

Die hier beschriebene Erdungsmessung⁴⁾ wird angewendet, wenn das Messobjekt nicht von anderen, mit ihm verbundenen Erden (nachstehend „fremde Erder“ genannt) getrennt werden kann oder soll. Sie beruht auf dem Messverfahren mit Sonde und Helferter nach Abschnitt 3.2, arbeitet jedoch gemäß Bild 10 a) mit einem speziellen Erdungsmessgerät (Typ „1623“ oder „1625“ Hersteller: Fluke) und einem zusätzlich einge-

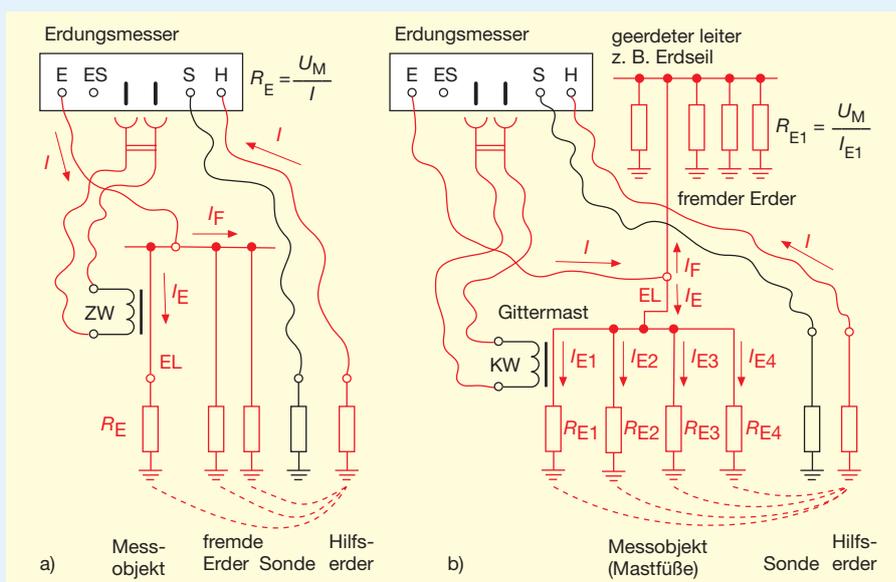
setzten Zangenstromwandler ZW. Dieser ist an eine mehrpolige Buchse des Erdungsmessers angeschlossen und umfasst den Erdungsleiter EL des Messobjekts. Durch die besondere Schaltung des Erdungsmessers bei entsprechender Stellung des Umschalters hat der zu den fremden Erden fließende Anteil I_F des Messstroms I keinen Einfluss auf das Messergebnis, sodass der vom Zangenstromwandler ZW erfasste Zweigstrom I_E allein für die Anzeige des Erdungswiderstands R_E maßgebend ist.

Das Bild 10 b) zeigt die Messschaltung für einen Gittermast, der sich elektrisch nicht vom geerdeten Leiter (z. B. Erdseil, PEN-Leiter, Neutralleiter) trennen lässt. Weil der als Erdungsleiter EL dienende Gittermast wegen seiner Gestalt nicht wie im Bild 10 a) mit einem Zangenstromwandler umfasst werden kann, wird nacheinander an den vier Eckstielen, die mit den vier als Erder wirkenden Mastfüßen verbunden sind, mit dem Klappstromwandler KW (Typ „El-162BN“, Hersteller: Fluke⁵⁾) gemessen. Der Erdungsmesser zeigt dabei nacheinander die Widerstände

2) Induzierte Spannung etwa 60 mV; Frequenz 2403 Hz; umfassbarer Durchmesser 32 mm. Angaben ohne Gewähr.

3) Induzierte Spannung etwa 30 mV; Frequenz 1667 Hz; umfassbarer Durchmesser 23 mm. Angaben ohne Gewähr.

4) Der Ausdruck „selektive Erdungsmessung“ für sich allein ist nicht eindeutig, weil auch andere Erdungsmessverfahren selektiv sind, z. B. die in den Abschnitten 3.4, 3.5 und 4.6 beschriebenen.



10 Selektive Erdungsmessung mit Sonde, Helferter und Zangenstromwandler

a) Messobjekt, dessen Erdungsleiter von einem Zangenstromwandler umfasst werden kann.
b) Gittermast, bei dem die Eckstiele am Fundament mit einem Klappstromwandler umfasst werden können.

I_E über das Messobjekt zum Helferter fließender Anteil des Messstroms; I_{E1} bis I_{E4} Anteile von I_E in den Eckstielen und Mastfüßen; I_F über die fremden Erden zum Helferter fließender Messstromanteil, dessen Verlauf durch die Erde im Teilbild b) nicht mit dargestellt ist

R_{E1} bis R_{E4} an. Der resultierende Erdungswiderstand R_E der vier durch den Mast elektrisch miteinander verbundenen Mastfüße errechnet sich nach Gleichung (5).

$$R_E = \frac{1}{\frac{1}{R_{E1}} + \frac{1}{R_{E2}} + \frac{1}{R_{E3}} + \frac{1}{R_{E4}}} \quad (5)$$

4 Strom-Spannungs-Messverfahren mit Netzstrom

4.1 Messgeräte

Meistens werden Messgeräte benutzt, die auch oder vorrangig für das Prüfen von Anlagen mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen bestimmt sind. Für die möglichst gefahrlose und einfache Verbindung mit dem Netz sind sie üblicherweise mit beweglicher Anschlussleitung und Schukostecker versehen. Darüber hinaus besitzen sie eine Anschlussklemme S für die Sonde, siehe Bilder 11 bis 13. Ferner sind sie mit einer Klemme E für die Verbindung mit dem zu messenden Erder (Messobjekt) ausgestattet, sofern nicht eine Ader (Schutzleiterader) in der beweglichen Anschlussleitung und der Schutzkontakt des Steckers für diese Aufgabe vorgesehen sind. Weil die Messgeräte in der Schutzklasse II ausgeführt sind ([4], Abschn. 4.5), dienen diese Ader und der Schutzkontakt nicht dem Schutz gegen elektrischen Schlag.

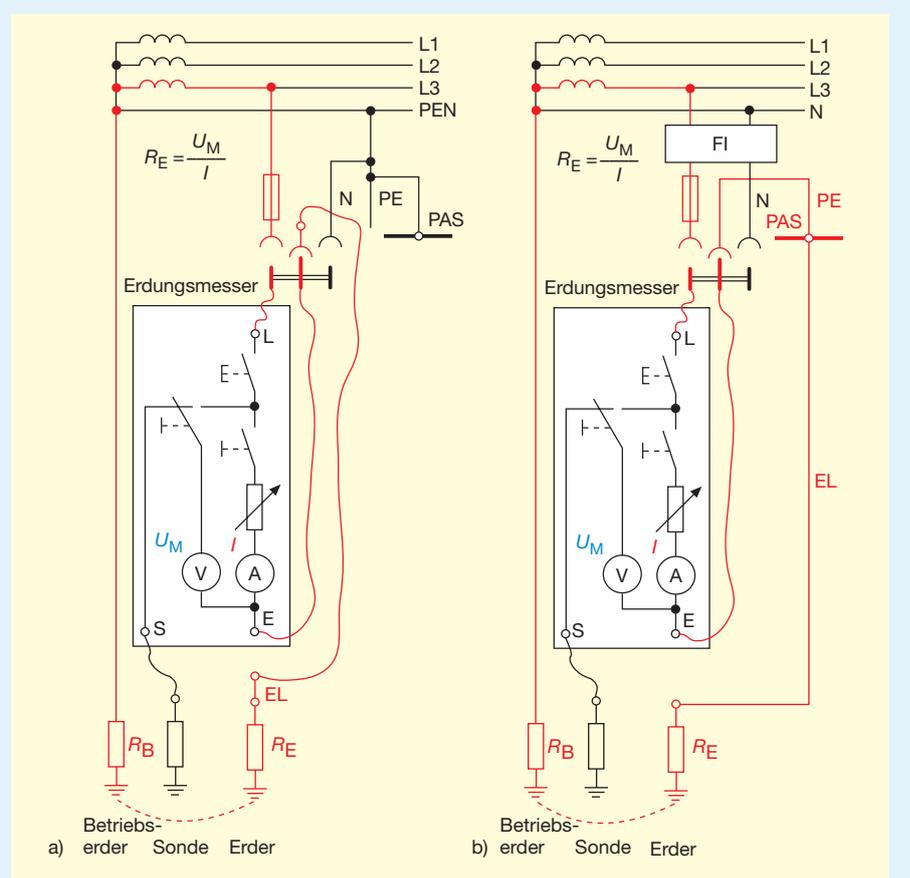
Die Messgeräte enthalten keine eigene Energiequelle, es sei denn, dass diese für eine weitere Messaufgabe benötigt wird. Spezielle Geräte können eine zusätzliche Anschlussmöglichkeit für einen Zangenstromwandler aufweisen.

Die Bilder 11 bis 14 zeigen nur die Prinzipien der umfangreichen Innenschaltungen. Die Messvorgänge einschließlich der evtl. angewendeten allmählichen Steigerung des Messstroms laufen bei den meisten Geräten automatisch ab. Statt getrennter Anzeige von Messspannung und -strom erfolgt eine Berechnung und digitale Anzeige des Erdungswiderstands.

Ein Umschalter ermöglicht die Wahl von Messaufgabe, -verfahren, -schaltung, -bereich und/oder -ablauf. Die meisten Typen sind mit einer Starttaste für den Beginn des Messvorgangs ausgestattet. Komfortable Geräte haben zusätzliche Funktionen wie z. B.

- Mehrfachmessung und Anzeige des Durchschnitts,
- Glätten der Messung („Smooth“),
- Bestehenbleiben der Anzeige („Hold“),
- Datenspeicherung für das Übertragen oder Drucken der Messergebnisse.

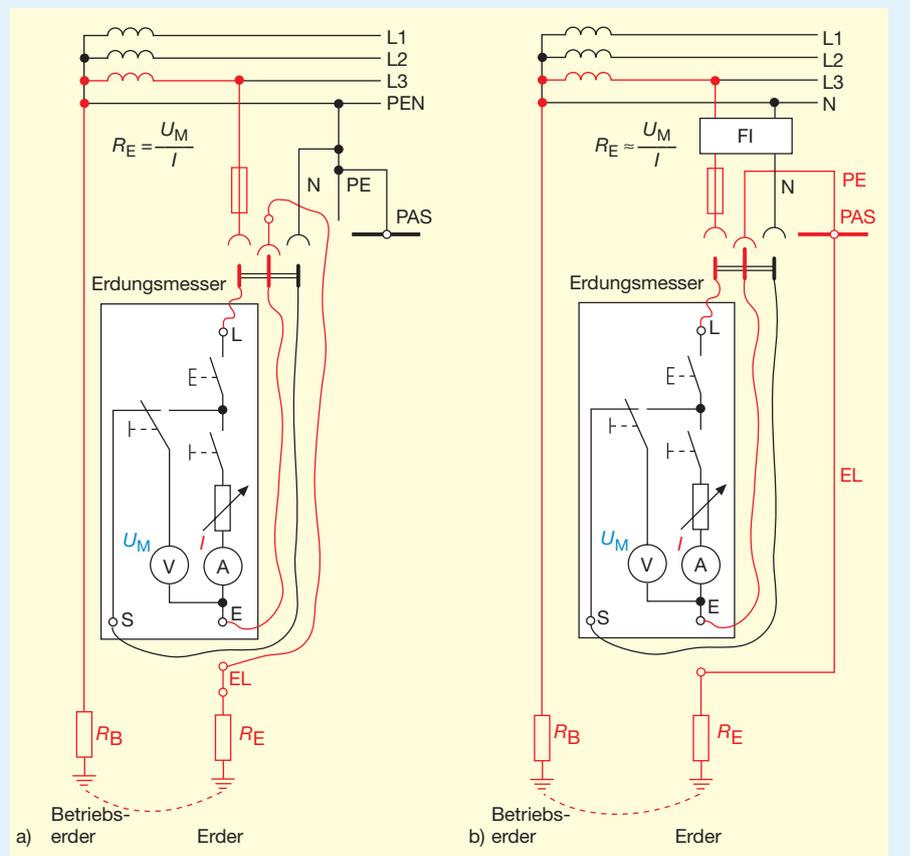
5) Der Klapstromwandler hat einen lichten Innendurchmesser von 320 mm. Er kann mit den Übersetzungsverhältnissen 200:1; 500:1 und 1000:1 eingesetzt werden. Angaben ohne Gewähr.



11 Strom-Spannungs-Messverfahren mit unmittelbarer Stromentnahme aus dem Netz, mit Sonde

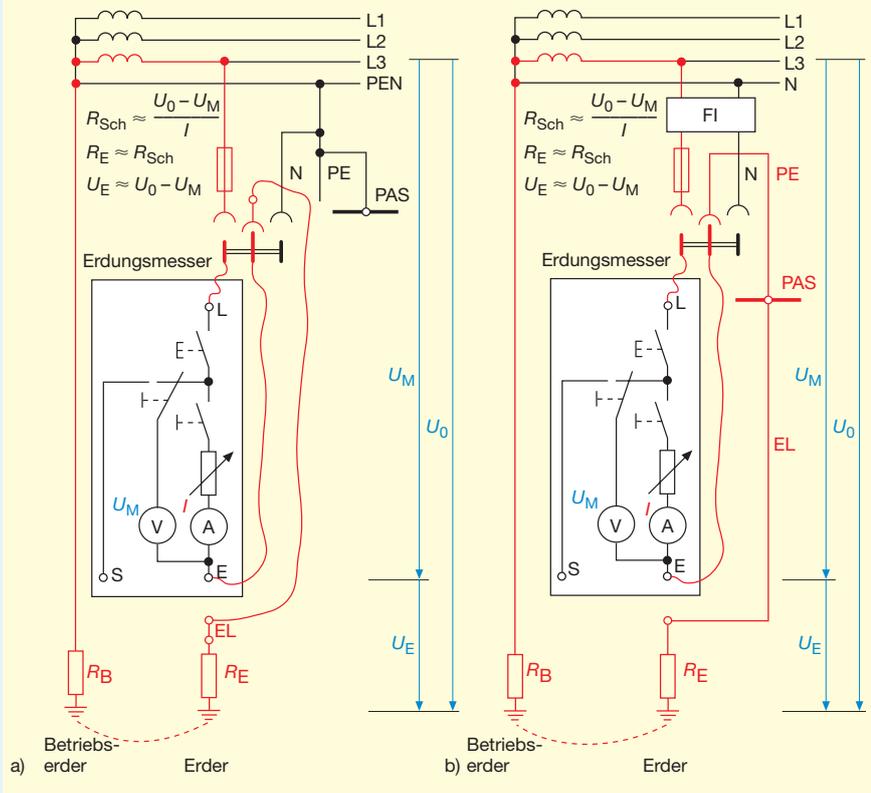
a) Anlage mit TN-System; b) Anlage mit TT-System

EL Erdungsleiter; FI FI-Schutzschalter; I Messstrom; PAS Potentialausgleichsschiene; R_B Widerstand des Betriebserders; R_E zu messender Erdungswiderstand; U_M Messspannung



12 Strom-Spannungs-Messverfahren mit unmittelbarer Stromentnahme aus dem Netz, mit Benutzung des PEN-Leiters oder Neutralleiters statt Sonde

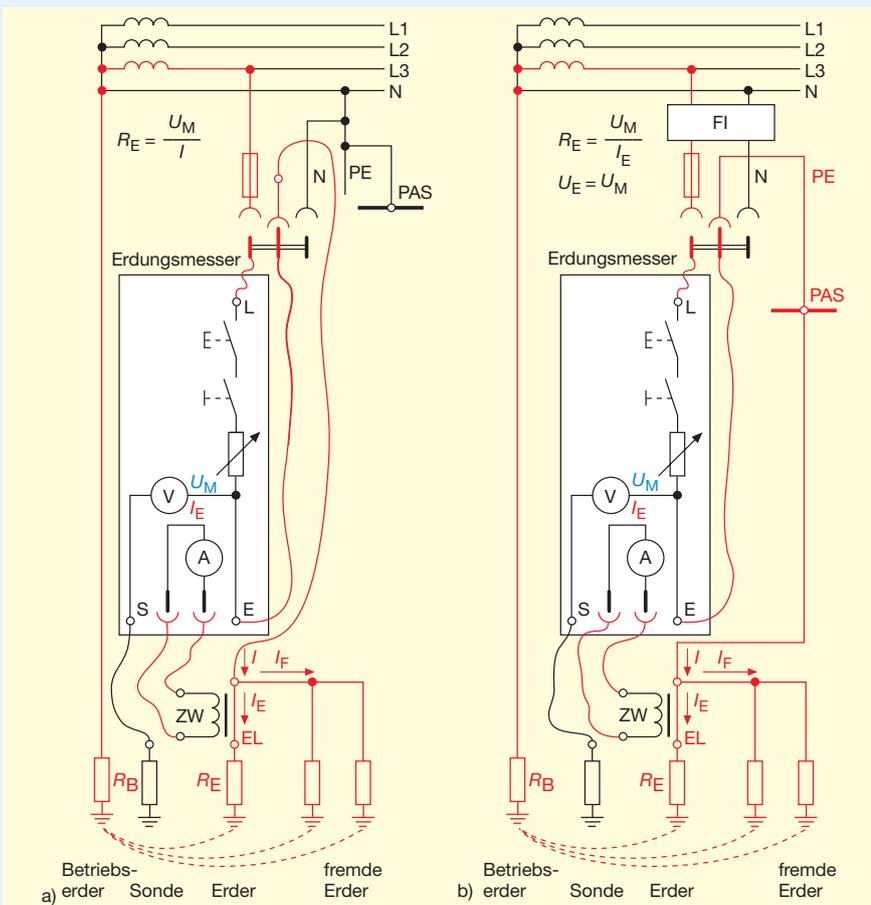
a) Anlage mit TN-System; b) Anlage mit TT-System



13 Strom-Spannungs-Messverfahren mit unmittelbarer Stromentnahme aus dem Netz, ohne Sonde

a) Anlage mit TN-System; b) Anlage mit TT-System

R_{Sch} Schleifenwiderstand; U_0 Leiter-Erde-Spannung; U_E Erderspannung am Messobjekt



14 Selektive Erdungsmessung mit unmittelbarer Stromentnahme aus dem Netz, mit Sonde und Zangenstrommesser

a) Anlage mit TN-System; b) Anlage mit TT-System

I_E zum Messobjekt fließender Anteil des Messstroms; I_F zu den fremden Erden fließender Anteil des Messstroms; ZW Zangenstromwandler

Zum Schutz gegen elektrischen Schlag muss das Messgerät automatisch abschalten, wenn es in der Anlage eine größere Fehler-Spannung als 50 V hervorruft. Bei der Verwendung eines veränderbaren Widerstands für die Steigerung des Messstroms darf dieser am Anfang höchstens 3,5 mA betragen ([6], Abschn. 4.7). Üblich sind sowohl Messungen mit allmählicher Steigerung des Messstroms als auch solche, die diesen nur kurzzeitig in voller Größe fließen lassen.

Weil mit unmittelbarer Stromentnahme aus dem Netz und infolgedessen mit Netzfrequenz gemessen wird, können Störströme, die aus dem Netz stammen oder über Erde fließen, sehr leicht das Messergebnis verfälschen. Je größer der Messstrom ist, umso weniger können sich diese störenden Einflüsse auswirken. Ein großer Messstrom ist insofern vorteilhaft. Er ist jedoch problematisch, wenn das Messgerät hinter einem FI-Schutzschalter angeschlossen ist, weil er zu dessen Auslösung führen kann. Es gibt folgende Auswege:

- Der Prüfstrom beträgt nur die Hälfte des Bemessungsdifferenzstroms I_{AN} des FI-Schutzschalters.
- Das Messgerät wird vor dem FI-Schutzschalter oder an einen Stromkreis ohne einen solchen angeschlossen.
- Der Hersteller Chauvin Arnoux gibt für seine Typen C.A 6115 N und C.A 6456 an, dass durch das patentierte sog. „ALT-System“ die Erdungsmessung mit größerem Strom auch hinter 30-mA-FI-Schutzschaltern erfolgen kann, ohne dass diese auslösen.

Wegen der störenden Einflüsse sollten immer mehrere Messungen durchgeführt und deren Ergebnisse miteinander verglichen werden.

4.2 Verbindungen mit Netz und Erder

Das Messgerät wird üblicherweise mit seinem Schukostecker an das Netz angeschlossen. Falsche Einstecklage verhindert die Messung, verursacht jedoch keine Gefahr. In Abweichung von den Bildern erfordern die meisten Geräte für die Funktion ihrer elektronischen Innenschaltung die Verbindung sowohl mit dem Außenleiter als auch mit dem Neutralleiter.

Der Messstrom kann die unerwünschte Auslösung eines vorgeschalteten FI-Schutzschalters bewirken. Das muss unter Beachtung der diesbezüglichen Angaben im Abschnitt 4.1 gegebenenfalls beim Anschluss berücksichtigt werden.

Der zu messende Erder (Messobjekt) wird je nach Ausführung des Messgeräts

- direkt an die Klemme E angeschlossen (s. auch Bild 4 im Abschnitt 2)
- oder (vorwiegend) nach den Bildern 11 bis 14 über den Schutzkontakt des Steckers mit dem Messgerät verbunden.

Verbindungen des Messobjekts mit anderen Erden würden das Messergebnis verfälschen. Darum muss in Verbraucheranlagen mit dem **TN-System** der Erdungsleiter EL während der Messung entsprechend den Teilbildern 11 a) bis 14 a) von der Potentialausgleichsschiene PAS getrennt sein, die über den PEN-Leiter der Hausanschlussleitung und des Verteilungsnetzes mit anderen Erden verbunden ist. Beim **TT-System** ist diese Trennung nicht erforderlich, weil bei ihm die PAS nicht mit dem Neutralleiter des Verteilungsnetzes verbunden ist, sodass der Anschluss gemäß den Teilbildern 11 b) bis 14 b) erfolgt.

4.3 Messverfahren mit Sonde

Hierbei handelt es sich um dasjenige der Messverfahren mit unmittelbarer Stromentnahme aus dem Netz, das die genauesten Ergebnisse erwarten lässt, sofern eine Sonde an einem geeigneten Ort in den Erdstoff eingebracht werden kann. Die Messung erfolgt nach Bild 11. Die Sonde muss außerhalb des Potentialrichters des Erders eingebracht werden. Zwischen den Klemmen E und S liegt die Spannung U_M , die der Messstrom I am Erder hervorruft.

4.4 Messverfahren mit PEN- oder Neutralleiter statt Sonde

Dieses Messverfahren kann angewendet werden, wenn das Einbringen der Sonde nicht möglich ist. Diese ist gemäß Bild 12 durch den Anschluss der Klemme S an den PEN-, Schutz- oder Neutralleiter im TN-System oder an den Neutralleiter im TT-System ersetzt.

Achtung! Der Neutralleiter muss als unter Spannung stehend behandelt werden, obwohl er geerdet ist.

Der Erdungswiderstand des Betriebserders wird mitgemessen. Mit dem dadurch entstehenden Fehler liegt man auf der sicheren Seite. Die von Betriebsströmen und Fehlerströmen am Betriebserder und am PEN-Leiter oder

Neutralleiter des Verteilungsnetzes hervorgerufenen Spannungen können das Messergebnis verfälschen. Darum muss man sich mit größeren Ungenauigkeiten als beim Messverfahren nach Abschnitt 4.3 abfinden.

4.5 Messverfahren ohne Sonde

Dieses im Bild 13 dargestellte Messverfahren ist eine Schleifenwiderstandsmessung über Erde. Die Spannungsmessung erfasst nicht die am Messobjekt liegende Spannung U_E , sondern zunächst bei ausgeschaltetem Messwiderstand die Außenleiter-Erde-Spannung U_0 und dann bei fließendem Messstrom I die am Messwiderstand liegende Spannung U_M . Hierbei werden die Widerstände des Betriebserders, des Transformators und des Außenleiters mitgemessen. Mit dem daraus resultierenden Messfehler liegt man auf der sicheren Seite.

Dieses Messverfahren ist sehr verlockend, weil es mit minimalem Arbeitsaufwand durchgeführt werden kann, insbesondere im TT-System. Es hat aber die Schwäche, dass Belastungsschwankungen im Netz, die zufällig gleichzeitig mit der Messung auftreten, große zusätzliche Messfehler verursachen. Zu deren Beschränkung ist ein großer Messstrom vorteilhaft. Zudem ist es angebracht, zahlreiche Messungen durchzuführen, die extremen Ergebnisse auszusondern und von den verbleibenden den Mittelwert zu bilden.

4.6 Selektive Erdungsmessung mit Sonde und Zangenstrommesser

Diese selektive Erdungsmessung⁶⁾ wird angewendet, wenn das Messobjekt nicht zum Zweck der Messung von anderen Erden (hier „fremde Erder“ genannt) getrennt werden kann oder soll. Sie beruht auf dem Messverfahren mit Sonde nach Abschnitt 4.3, arbeitet jedoch gemäß Bild 14 mit einem speziellen Erdungsmesser (Typ „C.A 6115N“ oder „C.A 6456“, Hersteller: Chauvin Arnoux) und einem zusätzlich eingesetzten Zangenstromwandler ZW. Dieser ist an eine mehrpolige

Buchse des Messgeräts angeschlossen und umfasst den Erdungsleiter EL des Messobjekts.

Durch eine mit dem Umschalter eingestellte besondere Schaltung des Messgeräts hat der zu den fremden Erden fließende Anteil I_F des Messstroms I keinen Einfluss auf das Messergebnis, sodass der vom Zangenstromwandler ZW erfasste Zweigstrom I_E allein für die Anzeige des Erdungswiderstands R_E maßgebend ist.

Literatur

- [1] DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2007-06 Errichten von Niederspannungsanlagen; Teil 4-41: Schutzmaßnahmen – Schutz gegen elektrischen Schlag.
- [2] Hering, E.: Schutzerder des TT-Systems. Elektropraktiker, Berlin 59 (2005), 5, S. 370-373
- [3] DIN VDE 0100-610 (VDE 0100-610):2004-04 Errichten von Niederspannungsanlagen; Teil 6-61: Prüfungen – Erstprüfungen.
- [4] DIN EN 61557-1 (VDE 0413-1):2007-12 Geräte zum Prüfen, Messen oder Überwachen von Schutzmaßnahmen; Teil 1: Allgemeine Anforderungen (entspricht IEC 61557-1).
- [5] DIN EN 61557-5 (VDE 0413-5):2007-12 – ; Teil 5: Erdungswiderstand (entspricht IEC 61557-5).
- [6] DIN EN 61557-6 (VDE 0413-6):1999-05 – ; Teil 6: Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCD) in TT-, TN- und IT-Netzen (entspricht IEC 61557-6)
- [7] DIN EN 61557-10 (VDE 0413-10):2001-12 – ; Kombinierte Messgeräte (entspricht IEC 61557-10).
- [8] Hering, E.: Probleme mit einem der Erdungsmessverfahren beim TN-System. Elektropraktiker, Berlin 53 (1999) 9, S. 820-822.
- [9] Hering, E.: Durchgangsprüfungen an Erdungsanlagen. Elektropraktiker, Berlin 59 (2005) 11, S. 888-891 und in diesem Sonderdruck.
- [10] DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3):2006-10 Blitzschutz; Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen.

⁶⁾ Der Ausdruck „selektive Erdungsmessung“ ist für sich allein nicht eindeutig, weil auch andere Erdungsmessverfahren selektiv sind, z. B. nach den Abschnitten 3.4, 3.5 und 3.6.

Durchgangsprüfungen an Erdungsanlagen

E. Hering, Dresden

Mit Durchgangsprüfungen wird nachgewiesen, dass Leiter – hier metallene – nicht unterbrochen sind. Der Beitrag beschreibt, inwieweit sie an Erdungsanlagen erforderlich und möglich sind, ferner wie und mit welchen Mitteln sie durchgeführt werden können. Bezüglich des Durchgangs besteht zwischen der Erstprüfung und den Wiederholungsprüfungen kein wesentlicher Unterschied, obwohl sie in den Normen getrennt behandelt werden.

1 Gründe und Grenzen für die Prüfungen

1.1 Erdungsleiter und Potentialausgleichsleiter

- Die Erdungsanlage muss mit der Potentialausgleichsschiene (PAS) – jetzt auch „Haupterdungsschiene“ genannt – der elektrischen Anlage verbunden werden. Das wird gefordert
- a) zum Schutz gegen elektrischen Schlag ([1], Abschn. 441.3.1; [2], Abschn. 542.1.2);
 - b) beim Einsatz von Überspannungsschutzgeräten für deren Erdung, auch wenn das Gebäude nicht mit einer Blitzschutzanlage ausgestattet ist ([3], Bilder A.1 bis A.5);
 - c) bei Gebäuden mit einer Blitzschutzanlage ([4], Abschnitte 5.4.1, 6.2.1, 6.2.5 und E.6.2);
 - d) bei Gebäuden mit einer blitzschutzbedürftigen Antenne;
 - e) für Fundamenterder ([5], Abschnitte 4 und 5.4).

Der Leiter zwischen der PAS und der Erdungsanlage ist ein Erdungsleiter und/oder ein Potentialausgleichsleiter (Schutzpotentialausgleichsleiter und/oder Blitzschutz-Potentialausgleichsleiter).

Er muss auf Durchgang geprüft werden ([6], Abschn. 612.2; [4], Abschn. E.7.2.4; [5], Abschn. 7).

1.2 Ringförmige Erder

An ringförmigen Erdern sind Durchgangsprüfungen aus folgenden Gründen zweckmäßig:

- a) Mit Messungen des Erdungswiderstands, die durch die Normen gefordert, jedoch in diesem Beitrag nicht behandelt werden, kann eine Unterbrechung des Rings nicht erkannt werden. Diese macht sich nicht durch eine Vergrößerung des Erdungswiderstands bemerkbar. Sie kann aber die Wirksamkeit des Überspannungsschutzes erheblich beeinträchtigen, weil die Stoßströme evtl. über einen Umweg fließen müssen.

- b) Bei Wiederholungsprüfungen an älteren Ringerdern können als Widerstandsmessungen ausgeführte Durchgangsprüfungen die Querschnittsreduzierung (infolge Korrosion) durch Vergrößerung des Widerstands erkennen lassen.

Der Ringerder muss mindestens zwei Erd-einführungen (bei erdebetteten Erdern) bzw. Anschlussteile (bei Fundamenterdern) haben, damit überhaupt eine Durchgangsprüfung möglich ist. Je mehr davon vorhanden sind, desto besser kann geprüft werden.

Bei bewehrten Fundamenten ist eine Unterbrechung des Rings des Fundamenterders weder feststellbar noch schädlich, weil sie von den Bewehrungsstählen überbrückt wird. Bei ihnen kann die Durchgangsprüfung darum nur dazu dienen, die Intaktheit der Verbindung zwischen Anschlussstück und Ring nachzuweisen.

1.3 Linienförmige Erder

Vertikale Erder (Staberder) und gestreckte horizontale Erder (Strahlenerder, auch mehrstrahlige) ermöglichen keine Durchgangsprüfung, weil sie nur eine einzige Erdeinführung aufweisen. Bei ihnen kann eine Unterbrechung in der Nähe der Erdeinführung evtl. durch einen vergrößerten Erdungswiderstand erkannt werden.

2 Vermeidung von Gefahren

Die Prüfungsvorgänge und die begleitenden Maßnahmen (z. B. Trennen regulärer Verbindungen, Herstellen irregulärer Verbindungen) dürfen keine Gefahren hervorrufen. Wenn der Erder auch als Schutzleiter für die Schutzmaßnahme TT-System oder IT-System nach [1] dient, darf seine Verbindung mit der PAS nur dann unterbrochen werden, wenn die elektrische Anlage vom Netz oder Stromerzeuger getrennt ist.

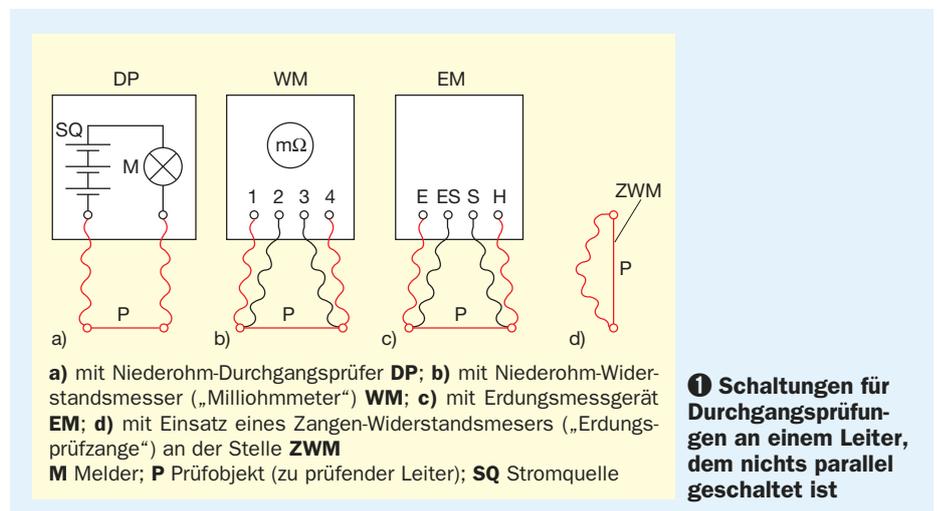
Prüfungen, die das Trennen von Verbindungen (z. B. das Öffnen der Trennstellen einer Blitzschutzanlage) erfordern, dürfen nur dann durchgeführt werden, wenn kein Gewitter besteht oder erwartet werden kann. Das Nichtbefolgen könnte zu Gefahren führen, insbesondere für den Prüfer.

Aus Sicherheitsgründen sollte die Anwendung von Spannungen über 25 V vermieden werden. Für die Durchgangsprüfungen sind ohnehin kleine Spannungen zweckmäßig ([6], Abschn. 612.2). Die zum Einsatz kommenden Prüf- und Messgeräte müssen der Norm [7] entsprechen. Für die Widerstandsmessung kommen vorrangig Geräte nach [8] in Frage. Es können aber auch Erdungsmessgeräte nach [9] benutzt werden.

3 Prüfverfahren

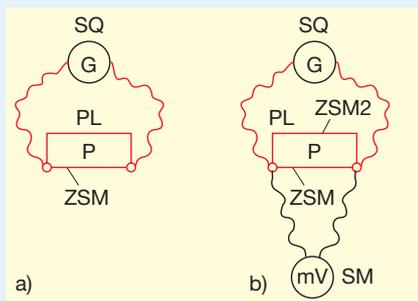
3.1 Grundsätze

Dem Prüfer müssen alle bestehenden Verbindungen der Erdungsanlage mit anderen Anlagen bekannt sein, auch mit nicht elektrischen, z. B. mit metallenen Konstruktionsteilen oder Rohrleitungen. Eine nicht bekannte Verbindung kann zu falschen Ergebnissen führen. Am einfachsten gestaltet sich die Durchgangsprüfung, wenn der zu prüfende Leiter zumindest auf einer Seite getrennt werden kann. Das setzt allerdings voraus, dass die aufgehobene Verbindung nach der Prüfung wieder zuverlässig hergestellt werden kann. Bei Blitz-



Autor

Dipl.-Ing. (FH) Enno Hering ist Mitglied des AK „Blitzschutz“ und des AK „Starkstromanlagen bis 1000 V“ des VDE-Bezirksvereins Dresden.



2 Schaltungen für Durchgangsprüfungen durch Strommessung an einem Leiter, dem ein weiterer parallel geschaltet ist

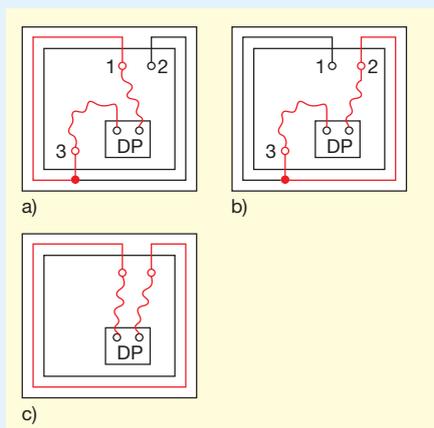
- a) ohne Ermittlung des Widerstands
- b) mit Ermittlung des Widerstands durch zusätzliche Spannungsmessung

PL parallel geschalteter Leiter, kann auch zweites Messobjekt sein

SM Spannungsmesser für kleine Spannungen

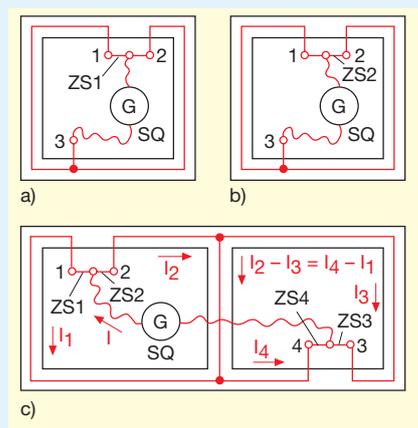
ZSM Einsatzstelle des Zangen-Strommessers

ZSM2 zweite Einsatzstelle des Zangen-Strommessers, wenn PL ein zweites Messobjekt ist



3 Beispiele für Durchgangsprüfungen bei aufgetrennten Verbindungen

- a) Prüfung der Anschlüsse 1 und 3 sowie des linken Teils des Ringes
- b) Prüfung der Anschlüsse 2 und 3 sowie des rechten Teils des Ringes
- c) Prüfung des gesamten Erdes



4 Beispiele für Durchgangsprüfungen ohne Auftrennung von Verbindungen

- a) analog Bild 3 a);
- b) analog Bild 3 b);
- c) vier Prüfungen an einem Fundamenterder mit Querverbindung und vier Anschlussstellen

I Messstrom; I_1 bis I_4 Teilströme; **ZS1** bis **ZS4** Einsatzstellen des Zangen-Strommessers

schutzanlagen ist es üblich, zum Zweck der Prüfung alle Trennstellen an den Erdführungen oder Anschlussstellen zu öffnen.

Das Bild 1 zeigt Schaltungen für den Fall, dass dem Prüfobjekt kein anderer Leiter parallel geschaltet ist. Der **Durchgangsprüfer** nach Teilbild 1 a) enthält mindestens eine Stromquelle und einen Melder, z. B. Lampe. Dem Melder kann ein Widerstand zur Vergrößerung des Prüfstroms parallel geschaltet sein. Nach einer Empfehlung in [6], Abschn. 612.2 soll die Stromquelle eine Leerlaufspannung von 4 bis 24 V haben und der Prüfstrom mindestens 0,2 A betragen. Manche Durchgangsprüfer geben bei der Überschreitung eines einstellbaren Grenzwerts des Widerstands ein akustisches Signal.

Im Teilbild 1 b) wird der Widerstand mit einem **Niederohm-Widerstandsmesser** ermittelt. Der dargestellte Vierleiteranschluss hat den Vorteil, dass das Messergebnis nicht von den Widerständen der Messleitungen beeinflusst wird. Wenn zwischen die Anschlussbuchsen 1 und 2 sowie 3 und 4 jeweils eine Brücke eingelegt wird oder das Messgerät nur zwei Buchsen aufweist und nur zwei Messleitungen zur Anwendung kommen, so muss deren Widerstand vom angezeigten Widerstand abgezogen werden. Zur Messung des Widerstands der Messleitungen werden deren Enden miteinander verbunden. Statt des Niederohm-Widerstandsmessers kann auch gemäß Teilbild 1 c) ein **Erdungsmessgerät** verwendet werden, wenn dieses einen Messbereich für Widerstände bis herunter auf $0,1 \Omega$ hat, nach Möglichkeit noch weiter herunter. Für den Anschluss gilt das bereits zum Teilbild b) Gesagte analog.

Der Widerstand kann auch gemäß Teilbild 1 d) mit einem **Zangen-Widerstandsmesser** („Erdungsprüfzange“)¹⁾, z. B. Typ C.A 6410 der Fa. Chauvin Arnoux, gemessen werden. Der Widerstand der zum Schließen des Stromkreises erforderlichen Messleitung muss vom angezeigten Widerstand abgezogen werden. Im Fall der Parallelschaltung eines oder mehrerer Leiter zum Prüfobjekt kann nach Bild 2 verfahren werden. An die Enden des zu prüfenden Leiters wird eine Stromquelle angeschlossen. Im Teilbild 2 a) wird der Durchgang dadurch nachgewiesen, dass ein den Leiter umfassender **Zangen-Strommesser** einen Strom anzeigt. Wird entsprechend Teilbild 2 b) zusätzlich ein **Spannungsmesser** für kleine Spannungen angeschlossen, kann der Widerstand des Prüfobjekts als Quotient aus angezeigter Spannung und angezeigtem Strom ermittelt werden. Vorzugsweise wird mit Wechselstrom, z. B. aus einem Transformator oder aus einem Erdungsmessgerät, geprüft. Die Anwendung von Gleichstrom setzt den Einsatz eines speziellen Zangen-Strommessers voraus, der statt des transformatorischen Stromwandlers einen auf dem Hall-Effekt beruhenden enthält.

3.2 Prüfungen an auftrennbaren Ringerdern

Nachstehend werden beispielhaft Prüfungen an ringförmigen Fundamenterdern beschrieben. Sie können zum großen Teil in gleicher Weise auch an erdgebetteten Ringerdern ausgeführt werden.

Die Durchführbarkeit und Aussagefähigkeit der Durchgangsprüfungen hängt – wie schon unter 1.2 angedeutet – von der Anzahl und An-

ordnung der Anschlussstellen oder Erdführungen ab. Die Auftrennbarkeit des Ringes ist dafür besonders vorteilhaft. All das sollte schon bei der Planung der Erder berücksichtigt werden.

Die in den Bildern 3 bis 5 dargestellten Prüfschaltungen können nur dann angewendet werden, wenn der Ring mindestens an einer Stelle auftrennbar ist. Bei Fundamenterdern ist das beispielsweise mit zwei nebeneinander angeordneten oberflächenbündigen Anschlussstellen („Erdungsfestpunkten“) realisierbar, die zum Schließen des Ringes durch ein Überbrückungsband miteinander verbunden werden. Bei erdbebeteten Erdern kann dafür eine Trennstelle in einem Unterflur-Trennstellenkasten angeordnet werden.

Im Bild 3 wird der Ring für die Prüfungen geöffnet. Bei den Prüfschaltungen entsprechend Bild 4 wird der Durchgang am geschlossenen Ring dadurch nachgewiesen, dass am Überbrückungsband oder an der Unterflur-Trennstelle mit dem **Zangen-Strommesser** der Strom in den Teilen des Ringes festgestellt wird. Bei der Prüfung nach Bild 5 wird am Überbrückungsband oder an der geschlossenen Unterflur-Trennstelle der Widerstand des Ringes mit einem **Zangen-Widerstandsmesser** („Erdungsprüfzange“, siehe Abschnitt 3.1) gemessen.

¹⁾ Die halbkreisförmigen Schnäbel der Zange enthalten zwei Wandler. Der eine hat die Aufgabe, eine Spannung in den Leiter zu induzieren, und der andere dient der Strommessung. Die Zange wird geschlossen, wenn ihre Schnäbel den Leiter umfassen. Das Display der Zange zeigt den Quotienten aus induzierter Spannung und dem im Leiter fließenden Strom als Widerstand an.

3.3 Prüfungen an nicht auftrennbaren Ringerdern

Wenn der Ringerder mindestens vier Anschlüsse hat, kann eine Unterbrechung dadurch festgestellt werden, dass rundum jeweils zwischen zwei benachbarten Anschlüssen der Widerstand gemessen wird. Die kleinen Widerstände der jeweils zwischen dem Anschlusspunkt der Messleitungen und dem Ring liegenden Leiter müssen vom angezeigten Widerstand abgezogen werden. Der Erdstoff und beim Fundamenterder zusätzlich der Beton sind zwar dem metallenen Leiter parallel geschaltet, können das Messergebnis jedoch nicht wesentlich beeinflussen, weil ihr spezifischer Widerstand sehr viel größer als der des Stahls ist.

Hat der Ring keine Unterbrechung, so misst man den resultierenden Widerstand einer Parallelschaltung, bestehend aus dem von den Messleitungen eingeschlossenen Teil des Ringes und der Reihenschaltung der restlichen Teile des Ringes. Beim Vorliegen einer Unterbrechung gemäß Bild 6 wird dort der Widerstand der restlichen Teile des Ringes gemessen. Bei der Messung an einem dieser Teile wird dessen Widerstand allein festgestellt.

1. Rechenbeispiel

Der Ringerder besitzt vier Anschlüsse. Die zwischen den Anschlüssen liegenden Teile des Ringes haben die Widerstände $R_1 \dots R_4$. An den Anschlüssen, die den Teil mit dem Widerstand R_1 begrenzen, wird bei intaktem Ring der Widerstand R_G nach Gl. (1) gemessen.

$$R_G = \frac{R_1(R_2 + R_3 + R_4)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} \quad (1)$$

Ist der genannte Teil mit einer Unterbrechung wie im Bild 6 behaftet, so ergibt sich dort der Widerstand R_U nach Gleichung (2).

$$R_U = R_2 + R_3 + R_4 \quad (2)$$

2. Rechenbeispiel

Wie 1. Rechenbeispiel, jedoch haben alle Teile des Ringes den gleichen Widerstand R_T .

$$R_T = R_1 = R_2 = R_3 = R_4 \quad (3)$$

Bei intaktem Ring ergibt sich der resultierende

Widerstand R_G jeweils zwischen nebeneinander liegenden Anschlüssen gemäß Gl. (4).

$$R_G = R_T (3 R_T) / (4 R_T) = (3/4) R_T \quad (4)$$

Bei unterbrochenem Ring beträgt der Widerstand R_U an den Anschlüssen beiderseits der Unterbrechung:

$$R_U = 3 R_T \quad (5)$$

$$R_U = 3 (4/3) R_G = 4 R_G \quad (6)$$

Bei Messung an den Anschlüssen, zwischen denen sich die Unterbrechung befindet, wird also das Dreifache des Widerstands der anderen Messungen und das Vierfache des Widerstands, der sich bei intaktem Ring ergeben würde, festgestellt.

Bei einer größeren Anzahl von Anschlüssen kann wie in den Beispielen gerechnet werden mit dem Unterschied, dass gegenüber den Gleichungen (1) bis (3) die Widerstände weiterer Teile des Ringes hinzukommen und sich in den Gleichungen (4) und (5) die Faktoren entsprechend vergrößern.

Hat der Ring nur zwei Anschlüsse, so kann evtl. nach Bild 2(b) (siehe Abschnitt 3.1) geprüft werden. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass die zwei in Parallelschaltung an die Stromquelle angeschlossenen Teile des Ringes für den Einsatz des Zangen-Strommessers zugänglich sind. Das ist bei einem erdebeteten Erder z. B. beiderseits einer Erdeinführung denkbar, wenn der betreffende Bereich für die Erstprüfung bis zur Messung vom Verfüllen des Erdergrabens ausgenommen oder bei der Wiederholungsprüfung einer ohnehin zur Feststellung des Korrosionszustands erforderlichen Probeaufgrabung unterzogen wird.

deutig angegeben werden. Wenn der Erder als Blitzschutzterder dient, gilt für den Prüfbericht [4], Abschn. E. 7. 2. 5.

Literatur

- [1] DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2007-06 Errichten von Niederspannungsanlagen; Teil 4-41: Schutzmaßnahmen – Schutz gegen elektrischen Schlag.
- [2] DIN VDE 0100-540 (VDE 0100-540):2007-06 – ; Teil 5-54: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Erdungsanlagen, Schutzleiter und Potentialausgleichsleiter).
- [3] Vornorm DIN V VDE V 0100-534 (VDE V 0100-534):1999-04 Elektrische Anlagen in Gebäuden; Teil 534: Auswahl und Errichtung von Betriebsmitteln; Überspannungs-Schutzeinrichtungen.
- [4] DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3):2006-10 Blitzschutz; Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen.
- [5] DIN 18014: 2007-09 Fundamenterder
- [6] DIN VDE 0100-610 (VDE 0100-610):2004-04 Errichten von Niederspannungsanlagen; Teil 6-61: Prüfungen – Erstprüfungen.
- [7] DIN EN 61557-1 (VDE 0413-1):2007-12 Geräte zum Prüfen, Messen oder Überwachen von Schutzmaßnahmen; Allgemeine Anforderungen (entspricht IEC 61557-1).
- [8] DIN EN 61557-4 (VDE 0413-4):2007-12 – ; Widerstand von Erdungsleitern; Schutzleitern und Potentialausgleichsleitern (entspricht IEC 61557-4).
- [9] DIN EN 61557-5 (VDE 0413-5):2007-12 – ; Erdungswiderstand (entspricht IEC 61557-5).

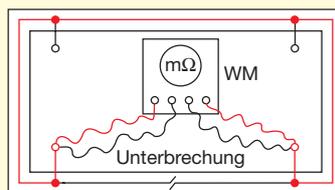
4 Prüfbericht

Die Durchgangsprüfung ist nur eine von mehreren an den Erdungsanlagen erforderlichen Prüfungen. Für alle wird üblicherweise ein gemeinsamer Prüfbericht ausgefertigt.

Die durchgeführten Prüfungen einschließlich der begleitenden Maßnahmen müssen so deutlich beschrieben werden, dass sie später danach reproduziert werden können. Ferner müssen alle Prüf- und Messergebnisse ein-



5 Durchgangsprüfung mit dem Zangen-Widerstandsmesser („Erdungsprüfzange“) an der Einsatzstelle ZWM



6 Feststellung der Unterbrechung durch den infolge des Umwegs vergrößerten Widerstand

Verlagsprogramm

Dach und Wand

Verhalten von Kupferoberflächen an der Atmosphäre; Bestell-Nr. s. 131

.....
Dachdeckung und Außenwandbekleidung mit Kupfer; Bestell-Nr. i. 30

.....
Ausschreibungsunterlagen für Klempnerarbeiten an Dach und Fassade

.....
Blau-Lila-Färbungen an Kupferbauteilen

Sanitärinstallation

Kupfer in Regenwassernutzungsanlagen; Bestell-Nr. s. 174

.....
Metallene Werkstoffe in der Trinkwasser-Installation; Bestell-Nr. i. 156

.....
Die fachgerechte Kupferrohrinstallation; Bestell-Nr. i. 158

Werkstoffe

Schwermetall-Schleuder- und Strangguss – technische und wirtschaftliche Möglichkeiten; Bestell-Nr. s. 165

.....
Zeitstandeigenschaften und Bemessungskennwerte von Kupfer und Kupferlegierungen für den Apparatebau; Bestell-Nr. s. 178

.....
Ergänzende Zeitstandversuche an den beiden Apparatewerkstoffen SF-Cu und CuZn20Al2; Bestell-Nr. s. 191

.....
Einsatz CuNi0Fe1Mn plattierter Bleche für Schiffs- und Bootskörper
Use of Copper-Nickel Cladding on Ship and Boat Hulls; Bestell-Nr. s. 201

.....
Kupfer-Nickel-Bekleidung für Offshore-Plattformen
Copper-Nickel Cladding for Offshore Structures; Bestell-Nr. s. 202

.....
Werkstoffe für Seewasser-Rohrleitungssysteme
Materials for Seawater Pipeline Systems; Bestell-Nr. s. 203

.....
Kupfer-Zink-Legierungen (Messing und Sondermessing)
Bestell-Nr. i. 5

.....
Kupfer-Aluminium-Legierungen
Bestell-Nr. i. 6

.....
Niedriglegierte Kupferwerkstoffe
Bestell-Nr. i. 8

.....
Kupfer-Nickel-Zink-Legierungen (Neusilber)
Bestell-Nr. i. 13

.....
Kupfer-Nickel-Legierungen
Bestell-Nr. i. 14

.....
Kupfer-Zinn-Knetlegierungen (Zinnbronzen)
Bestell-Nr. i. 15

.....
Röhre aus Kupfer-Zink-Legierungen
Bestell-Nr. i. 21

.....
Bänder, Bleche, Streifen aus Kupfer-Zink-Legierungen
Bestell-Nr. i. 22

.....
Kupfer-Zinn- und Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen (Zinnbronzen)
Bestell-Nr. i. 25

.....
Kupfer – Das rote Metall

.....
Kupfer – Werkstoff der Menschheit

.....
Messing – Ein moderner Werkstoff mit langer Tradition

.....
Von Messing profitieren – Drehteile im Kostenvergleich

.....
Messing ja – Entzinkung muss nicht sein!

.....
Dekorativer Innenausbau mit Kupferwerkstoffen

.....
Bronze – unverzichtbarer Werkstoff der Moderne

.....

Verarbeitung

Konstruktive Gestaltung von Formgussstücken aus Kupferwerkstoffen; Bestell-Nr. s. 133

.....
Kupfer-Zink-Legierungen für die Herstellung von Gesenkschmiedestücken; Bestell-Nr. s. 194

.....
Kleben von Kupfer und Kupferlegierungen; Bestell-Nr. i. 7

.....
Trennen und Verbinden von Kupfer und Kupferlegierungen; Bestell-Nr. i. 16

.....
Richtwerte für die spanende Bearbeitung von Kupfer und Kupferlegierungen; Bestell-Nr. i. 18

Elektrotechnik

Drehstrom, Gleichstrom, Supraleitung – Energie-Übertragung heute und morgen; Bestell-Nr. s. 180

.....
Brandsichere Kabel und Leitungen; Bestell-Nr. s. 181

.....
Energiesparen mit Spartransformatoren; Bestell-Nr. s. 183

.....
Wechselwirkungen von Blindstrom-Kompensationsanlagen mit Oberschwingungen; Bestell-Nr. s. 185

.....
Vom Umgang mit Blitzschäden und anderen Betriebsstörungen; Bestell-Nr. s. 186

.....
Sparen mit dem Sparmotor; Bestell-Nr. s. 192

.....
Bedarfsgerechte Auswahl von Kleintransformatoren; Bestell-Nr. s. 193

.....
Energiesparpotentiale bei Motoren und Transformatoren; Bestell-Nr. i. 1

.....
Kupferwerkstoffe in der Elektrotechnik und Elektronik; Bestell-Nr. i. 10

.....
Kupfer in der Elektrotechnik – Kabel und Leitungen

.....
Kupfer spart Energie

.....
Geld sparen mit Hochwirkungsgrad-Motoren

Umwelt/Gesundheit

Verickerung von Dachablaufwasser; Bestell-Nr. s. 195

.....
Kupfer in kommunalen Abwässern und Klärschlamm; Bestell-Nr. s. 197

.....
Sachbilanz einer Ökobilanz der Kupfererzeugung und -verarbeitung; Bestell-Nr. s. 198

.....
Sachbilanz zur Kupfererzeugung unter Berücksichtigung der Endenergien; Bestell-Nr. s. 199

.....
Untersuchung zur Bleiabgabe der Messinglegierung CuZn39PB3 an Trinkwasser – Testverfahren nach British Standards BS 7766 and NSF Standard 61; Bestell-Nr. s. 200

.....
Kupfer – Lebensmittel – Gesundheit; Bestell-Nr. i. 19

.....
Recycling von Kupferwerkstoffen; Bestell-Nr. i. 27

.....
Kupfer und Kupferwerkstoffe ein Beitrag zur öffentlichen Gesundheitsvorsorge; Bestell-Nr. i. 28

.....
Kupfer – der Nachhaltigkeit verpflichtet

.....
Kupfer in unserer Umwelt

.....
Natürlich Kupfer – Kupfer ökologisch gesehen

.....
Doorknobs: a source of nosocomial infection?

.....
Kupfer – Hygienischer Werkstoff

.....
Kupfer – Lebenswichtiges Spurenelement

Spezielle Themen

Kupferwerkstoffe im Kraftfahrzeugbau; Bestell-Nr. s. 160

.....

Die Korrosionsbeständigkeit metallischer Automobilbremsleitungen – Mängelhäufigkeit in Deutschland und Schweden; Bestell-Nr. s. 161

.....
Kupfer – Naturwissenschaften im Unterricht Chemie; Bestell-Nr. s. 166

.....
Ammoniakanlagen und Kupfer-Werkstoffe?; Bestell-Nr. s. 210

.....
Kupferwerkstoffe in Ammoniakkälteanlagen; Bestell-Nr. s. 211

.....
Kupferrohre in der Kälte-Klimatechnik, für technische und medizinische Gase
Bestell-Nr. i. 164

DKI-Fachbücher*

Kupfer

.....
Schweißen von Kupfer und Kupferlegierungen

.....
Chemische Färbungen von Kupfer und Kupferlegierungen

.....
Kupfer als Werkstoff für Wasserleitungen

.....
Kupfer in der Landwirtschaft

.....
Kupfer im Hochbau
EUR 10,00****

.....
Planungsleitfaden Kupfer – Messing – Bronze
EUR 10,00****

.....
Architektur und Solarthermie
Dokumentation zum Architekturpreis
EUR 10,00

CD-ROM des Deutschen Kupferinstituts

Werkstoffdatenblätter
EUR 10,00

.....
Solares Heizen
EUR 10,00

.....
Was heißt hier schon "harmonisch"?
EUR 10,00

.....
Faltmuster für Falzarbeiten mit Kupfer
Muster für Ausbildungsvorlagen in der Klempnertechnik
EUR 10,00

.....
Werkstofftechnik – Herstellungsverfahren
EUR 10,00

Lernprogramm

Die fachgerechte Kupferrohr-Installation
EUR 10,00 ***

Filmdienst des DKI

Das Deutsche Kupferinstitut verleiht kostenlos die nachstehend aufgeführten Filme und Videos:

.....
„Kupfer in unserem Leben“
Videokassette oder DVD, 20 Min.
Schutzgebühr EUR 10,00
Verleih kostenlos

.....
„Fachgerechtes Verbinden von Kupferrohren“
Lehrfilm, DVD, 15 Min.
Schutzgebühr EUR 10,00
Verleih kostenlos

.....
„Kupfer in der Klempnertechnik“
Lehrfilm, Videokassette, 15 Min.
Schutzgebühr EUR 10,00
Verleih kostenlos

.....
*Fachbücher des DKI sind über den Fachbuchhandel zu beziehen oder ebenso wie Sonderdrucke, Informationsdrucke und Informationsbroschüren direkt vom Deutschen Kupferinstitut,
Am Bonneshof 5, 40474 Düsseldorf.

.....
**Dozenten im Fach Werkstofftechnik an Hochschulen erhalten die Mappen kostenlos

.....
***Sonderkonditionen für Berufsschulen

.....
****Sonderkonditionen für Dozenten und Studenten

**Auskunfts- und Beratungsstelle
für die Verwendung von
Kupfer und Kupferlegierungen**

Am Bonneshof 5
40474 Düsseldorf
Telefon: (0211) 4 79 63 00
Telefax: (0211) 4 79 63 10
info@kupferinstitut.de

www.kupferinstitut.de

Herausgeber:
Deutsches Kupferinstitut
Auskunfts- und Beratungsstelle
für die Verwendung von
Kupfer und Kupferlegierungen

Am Bonneshof 5
40474 Düsseldorf
Telefon: 0211 4796300
Telefax: 0211 4796310
info@kupferinstitut.de
www.kupferinstitut.de

Erschienen
im ep Elektropraktiker
HUSS-MEDIEN GmbH, 10400 Berlin
Heft 11/2005, Heft 09, 10 und 11/2006

