

Messen oder nicht messen – das ist hier die Frage

W. Naumann, Dresden

Im Blitzschutz spielt die Messtechnik bei der Entwicklung neuer Bauteile und Geräte sowie der Blitzortung eine wichtige Rolle. Im Umfeld der handwerklichen Ausführung der Blitzschutzanlage wird sie allerdings oft unterbewertet. Dabei kann präzises Messen die Qualität verbessern, den Materialeinsatz optimieren und den Arbeitsaufwand verringern.

Im Beitrag werden relevante Messungen, die benötigte Messtechnik, die Aussagefähigkeit der Messergebnisse und die einzukalkulierenden Messfehler beschrieben sowie Schlussfolgerungen gezogen.

1 Messungen in Blitzschutzsystemen

Konventionelle Messtechniken und noch weniger bekannte Messverfahren werden behandelt,

- das Messen der Isolationsfestigkeit mit mobilen Niederspannungsstoßgeneratoren,
- das Messen des Erdungswiderstands mit der klassischen Methode der Strom-Spannungsmessung unter Auswertung des Potentialverlaufs an der Erdoberfläche und der eingeschränkt anwendbaren Methode der Schleifenwiderstandsmessung,
- die Messung des spez. Erdungswiderstands nach *Wenner* oder *Schlumberger*,
- die Messung des Durchgangswiderstands,
- die Messung des Schutzwinkels mit einem speziell dafür entwickelten Schutzwinkelprüfgerät und
- das Scannen und Erkennen von Metallteilen unterschiedlicher Materialien in der Erde.

2 Messen der Isolationsfestigkeit

Das in der Isolierstofftechnik übliche Spannungsprüfverfahren zur Feststellung der Isolationsfestigkeit wird in der Blitzschutztechnik nur auf Betriebsmittel und Bauteile ausschließlich bei der Typprüfung angewendet. Zwei Forderungen sind in VDE 0185-305-4 [1], verankert:

Abschn. B.5:

Beim Einsatz von isolierenden Schnittstellen (z. B.: Trenntransformatoren) zum Schutz vor Überspannungen benötigen diese eine typische Spannungsfestigkeit von 5 kV, Welle 1,2/50.

Abschn. D.1.1:

Die Bemessungstoßspannung U_w des zu schützenden Betriebsmittels sollte bestimmt

werden für Stromversorgungsleitungen und für Geräteeingänge nach IEC 60664-1 und nach ITU K.20 und K.21 aus den Angaben der Hersteller.

„Sollte bestimmt werden“ ist so zu verstehen, dass die Angaben der Hersteller für die Typprüfung im Neuzustand zugrunde zu legen sind. Dann sollten nach der Norm innere Systeme geschützt sein, wenn ihre Bemessungs-Stehstoßspannung U_w größer oder gleich dem Bedrohungspegel, verursacht durch das Überspannungsschutzgerät, ist.

$$U_w > U_p. \quad (\text{Gl. 1})$$

Diese grundsätzliche Forderung ist nur erfüllbar, wenn das innere System fabrikmäßig gefertigt und eine Typprüfung erfahren hat.

Wird das innere System erst am Aufstellungs-ort montiert oder handelt es sich um eine komplette Anlage, dann

- garantiert keine Typprüfung die Stoßspannungsfestigkeit bzw.
- Montagefehler machen den Wert unkalkulierbar.

Die Kontrolle der tatsächlichen Spannungsfestigkeit müsste durch eine Stoßspannungsprüfung erfolgen, sonst stellt jede Schwachstelle die Zuverlässigkeit des Schutzes durch Überspannungsschutzgeräte in Frage.

■ Messung

Die exakte Feststellung der Stehstoßspannung kann mit einem transportablen Niederspannungsstoßgenerator erfolgen (Bild 1). Transportable Niederspannungsstoßgeneratoren waren bereits auf dem Markt, sind aber leider durch das Fehlen einer Norm zur Anla-

genprüfung nicht im großen Stil eingesetzt worden.

Ihre Eigenschaften waren optimal gewählt – z. B. Wellenform 1,2/50, maximal zulässige Energie für eine zerstörungsfreie Prüfung und für die Vermeidung einer Personengefährdung, Fehleranzeige, Bedienfreundlichkeit. Die Ausführung der Messung ist unproblematisch und wie folgt durchzuführen:

1. Der Stoßgenerator wird so angeschlossen, als sollte eine Isolationswiderstandsmessung zwischen den aktiven isolierten Teilen des inneren Systems und dem Schutzleiter durchgeführt werden.
2. Der gewünschte Stoßspannungspegel wird eingestellt, der Impuls ausgelöst.
3. Über die Fehleranzeige erfolgt die Indikation, ob die Prüfung bestanden wurde oder nicht.

Durch die Begrenzung der Prüfimpulsenergie ist diese Hochspannungsprüfung in Anlagen für Personen unbedenklich und für die Isolierungen sehr schonend. Bei der Konstruktion von Betriebsmitteln sollte bereits die Möglichkeit der späteren Stoßspannungsprüfung an dafür vorzusehenden Messtrennstellen vorgesehen werden.

■ Auswertung

Wenn die Stoßgeneratoren so gebaut werden, dass der Impuls in weiten Grenzen unabhängig von der Belastung ist, kann der am Gerät eingestellte Prüfspannungswert den gesamten Prüfling erreichen. Drei Impulse in der Höhe der Bemessungstoßspannung reichen in der Regel aus, um das Stehvermögen nachzuweisen. Beim Versagen der Isolierung wird der Fehlerzustand durch eine patentierte Methode [2] am Stoßgenerator zuverlässig angezeigt.

■ Schlussfolgerung

Nützliche Erfahrungen konnten gesammelt werden [3]. Es hat sich gezeigt, dass die ersatzweise Messung des Isolationswiderstandes keine Rückschlüsse auf die Stoßspannungsfestigkeit zulässt (s. Tafel 1) und das Isoliervermögen nur durch die Stoßspannungsprüfung sowohl bei Abnahme- als auch bei Wiederholungsprüfungen sicher nachweisbar ist. Damit könnte auch die Überprüfung der Funkenstreckenableiter ausgeführt werden, wie es in der Richtlinie des VDN [4] gefordert ist. Die normativen Regelungen für eine Stoßspannungsprüfung für Anlagen fehlen leider immer noch.

1 Mobiler Niederspannungsstoßgenerator: 6 kV, 1 Ws mit patentierter Fehleranzeige und automatischer Auslösung



Autor

Dr.-Ing. Werner Naumann ist freier Fachautor, Dresden.

Tafel 1 Vergleich der Prüfergebnisse von Isolationswiderstand und Durchschlagstoßspannung

	Isolationswiderstand in MΩ	Stoßspannungsfestigkeit in kV	Prüfstrecke
01	0	> 10	mit Wasser benetzte Kriechstrecke
02	> 100	9,3	saubere Kriechstrecke
03	> 100	7	Wicklungsdurchschlag Drossel
04	0,5	7	Kriechstrecke Steckdose
05	> 100	6,4	50 % saubere Kriechstrecke
06	> 100	6	Steckdose 2 L – PE in Steckdose
07	30	3	verschmutzte Steckdose
08	> 100	6	Schaltstrecke in Leuchte
09	> 100	5	poröse Isolierung
10	0,5	5	Kriechstrecke Trafoschalter
11	> 100	5	blank genagte Leiter (Schadnagerbefall)
12	1	4	verschmutzte Kriechstrecke
13	> 100	4	gequetschte Isolierung in Abzweigdose
14	> 100	4	Einschnitte in Leiterisolierung an Klemmstelle
15	> 100	3	Einschnitt in Isolierung in Abzweigdose
16	2	1,5	Steckdose L – PE
17	> 100	1,5	Nagel in Isolierung
18	2	0,5	defekte Isolierung
19	6	3	defekter Isolierschlauch

Tafel 2 Berechnungsformeln für Einzelerder

Erdertyp	Berechnungsformel nach Koch [6]	Beispiele ($\rho = 100 \Omega\text{m}$)
Staberder	$R = (\rho/2 \cdot \pi \cdot T) \cdot \ln 4T/d$	$d = 20 \text{ mm } \varnothing, T = 5 \text{ m} \rightarrow R = 21,99 \Omega$ $d = 18 \text{ mm } \varnothing, T = 5 \text{ m} \rightarrow R = 22,33 \Omega$
Strahlenerder/ Banderder geringer Tiefe	$R = (\rho/E) \cdot \ln(2E/d)$	$d = 10 \text{ mm } \varnothing, E = 50 \text{ m} \rightarrow R = 5,866 \Omega$ $d = 8 \text{ mm } \varnothing, E = 50 \text{ m} \rightarrow R = 6,008 \Omega$ $\Delta R/R = (6,008 - 5,866)/6,008 = 0,0236$
Ringerder vom Umfang E bzw. Banderder der Länge E in einer Tiefe T	$R = \rho/4 \cdot \pi \cdot E \left[\frac{2 \cdot \ln(2E/d)}{\sqrt{(2T)^2 + (E/2)^2} + E/2} + \ln \frac{\sqrt{(2T)^2 + (E/2)^2} - E/2}{\sqrt{(2T)^2 + (E/2)^2} + E/2} \right]$	$E = 50 \text{ m}, d = 10 \text{ mm } \varnothing, T = 0,5 \text{ m} \rightarrow R = 4,179 \Omega$ $E = 50 \text{ m}, d = 8 \text{ mm } \varnothing, T = 0,5 \text{ m} \rightarrow R = 4,250 \Omega$ $\Delta R/R = (4,25 - 4,179)/4,25 = 0,0167$
Halbkugelerder	$R = \rho/(\pi \cdot d)$	stark armiertes Plattenfundament mit Volumen $V: 5 \times 5 \times 1,1 \text{ m}^3 \rightarrow R = 6,8 \Omega$ [äquivalenter Kugeldurchmesser $d = 2r = 2 \cdot (V \cdot 3/4 \cdot \pi)^{1/3}$]
Kugelerder in einer Tiefe T	$R = \rho/4 \cdot \pi \cdot (2/d + 1/2T)$	

d Durchmesser Staberder, Kugelerder; *E* Erdlerlänge; *T* Eingrabbtiefe; ρ spez. Erdungswiderstand

3 Messung des Erdungswiderstands

Oft wird so getan, als ob der Erdungswiderstand das A und O einer Blitzschutzanlage ist. In Wirklichkeit erfüllt der Erder mit niedrigem Erdungswiderstand aber „nur“ den Zweck, den größten Teil des Blitzstroms bei einem Direkteinschlag vor Ort und nicht in die Nachbarschaft abfließen zu lassen. Die Anlage selbst bleibt auch bei hohem Erdungswiderstand geschützt, vorausgesetzt, der Blitzschutzpotentialausgleich ist ordnungsgemäß ausgeführt. Nach VDE 0185-305-3 [5] soll der Erdungswiderstand während der Errichtungsphase bei Erdern des Typs A deshalb gemessen werden, weil es vorteilhaft ist, mit dem Eintreiben eines Tiefenerders aufzuhören, wenn der Erdungswiderstand nicht mehr weiter sinkt. Das ist somit eine ökonomische Entscheidung.

Die Norm legt für die Beurteilung der Wirksamkeit eines Blitzschutzerders keine Grenzwerte fest. 10 Ω werden nur als Richtwert empfohlen. Dennoch müssen bei der Abnahme neu errichteter Erder die Erdungswiderstände gemessen und im Prüfbericht dokumentiert werden, um – wie beabsichtigt – später als relevante Vergleichswerte zur Verfügung zu stehen. Leider sind diese Vergleichswerte so stark von jeweils herrschenden spezifischen Erdungswiderstand abhängig, dass sie vor jeder Wiederholungsprüfung gemessen und in den Vergleichswert eingerechnet werden müssten. Korrosionserscheinungen oder Unterbrechungen können aus den gemessenen Erdungswiderständen nicht erkannt werden, da sie kaum auf Durchmesserveränderungen reagieren. Selbst wenn ein Erdungsdraht von 10 auf 8 mm abkorrodiert sein sollte, ändert sich der Erdungswiderstand um weniger als 2,5 %, s. Tafel 2, Strahlenerder, Banderder und Ringerder.

Rundum sicherer Überspannungsschutz für PV-Anlagen

Zulassung nach UL 1449 3rd edition



DEHNGuard® M YPV SCI

- Für jede PV-Spannung das richtige, anwendungsoptimierte Schutzgerät:
Bis 600 V: DG M YPV SCI 600
Bis 1.000 V: DG M YPV SCI 1000
Bis 1.200 V: DG M YPV SCI 1200
- Fehlerresistente Y-Schaltung vermeidet Schädigung des Überspannungsschutzes bei Isolationsfehlern im Generatorstromkreis.
- Kombinierte Abtrenn- und Kurzschließvorrichtung mit sicherer elektrischer Trennung im Schutzmodul verhindert Brandschäden infolge DC-Schaltlichtbögen.
- Sicherer, lichtbogenfreier Schutzmodulwechsel durch integrierte Gleichstromsicherung.

DEHN + SÖHNE

Blitzschutz Überspannungsschutz Arbeitsschutz

Infoservice 1905 · Postfach 1640
92306 Neumarkt · Tel.: 09181 906-123
Fax: 09181 906-478
www.dehn.de · info@dehn.de



② Vierklemmen-Erdungsmessgerät mit Stromzange und Erderspieß (Sonde): AFC /94/105/111/128 Hz; R_k 0,001 ... 29,99 Ω ; DC 200 mA

Die exakte Berechnung des zu erwartenden Erdungswiderstands nach Tafel ② sollte immer dann angewendet werden, wenn die Einhaltung eines bestimmten Werts auftragsgemäß geforderter ist bzw. kein Vergleichswert für die Wiederholungsprüfung zur Verfügung steht. Dazu werden der spezifische Erdungswiderstand (s. Abschnitt 4), der Erdertyp und seine Abmessungen benötigt, s. Tafel ②.

■ Messung

Der Erdungswiderstand (Ausbreitungswiderstand, Gesamterdungswiderstand) wird mit Erdungsmessgeräten in Drei- oder Vierklemmenausführung mit oder ohne Stromzange gemessen. Außerdem werden ein Hilfserder H, eine Sonde S sowie Verbindungsleitungen benötigt, s. Bild ②. Die geeignete Messanordnung zeigt Bild ③.

Das Messprinzip beruht heute meistens auf einer Strom-Spannungs-Messung und nicht mehr auf dem etwas umständlichen Brückenabgleich bei älteren Geräten. Der Erdungswiderstand ergibt sich aus dem Wert des Messstroms I_{mess} , der vom Gerät dank einer internen Batterie erzeugt wird und der gemessenen Sondenspannung U_S , die aus dem so genannten Spannungstrichter an der Erdoberfläche herrührt

$$R_{gem} = U_S / I_{mess} \quad (Gl. 2)$$

Angezeigt wird der Messwert in Ohm gemäß Gleichung 2.

■ Messfehler

Der Messfehler des Erdungsmessgeräts beträgt im Allgemeinen nicht mehr als $\pm 5\%$. Zusätzliche Messfehler entstehen durch mögliche Beeinflussungen des Messstromkreises durch Fremdströme. Um den Einfluss klein zu halten, muss der Messstrom möglichst groß sein. Moderne Geräte liefern bis zu 200 mA (Achtung Personengefährdung!) und unterbrechen den Messvorgang automatisch bei zu niedrigen Werten. Auch liegen die Messfrequenzen außerhalb industrieller Anwendungen und können umschaltbar gewählt werden. Wichtig ist, dass nur der auszumessende Erder und keine benachbarten Erder bzw. geerdeten Schutzleiter des Netzes angeschlossen sind. Das Messergebnis wird dadurch völlig unbrauchbar. Der Hinweis im Prüfbericht, dass ein Abtrennen des Erders vom Schutzleiter nicht möglich war, verbessert die Situation leider nicht.

Etwas besser sind solche Erdungsmessgeräte, die mit einer Stromzange ausgerüstet sind. Mit ihr lässt sich der tatsächlich durch den auszumessenden Erder fließende Strom selektieren und der wahre Wert des Erdungswiderstands ermitteln, s. Bild ④. Jede weitere Verbindung Erder-Schutzleiter (im Bild ④ gestrichelt als (2) eingetragen) beeinflusst das Messergebnis aber weiterhin.

Wenn die Stromzange um den angeschlossenen Haupt-Schutzleiter gelegt wird, kann der Erdungswiderstand des ankommenden Schutzleiters gemessen werden.

Weitere Messfehler treten dadurch auf, dass der Hilfserder bzw. die Sonde falsch eingeschlagen wurden. Um den Spannungsabfall um den Erder herum vollständig zu erfassen, ist sicherzustellen, dass die Sonde außerhalb des Spannungstrichters des Erders gesetzt

wird. Deshalb ist es sinnvoll, mehrere Messungen mit versetzten Sonden solange zu wiederholen, bis gleiche Resultate erzielt werden. Ansonsten ist der Hilfsleiter zu nahe am Erder der Anlage. In der Regel reicht ein Abstand von $> 3 \times$ Durchmesser der zu messenden Erdungsanlage. Es kann immer nur ein Messwert der wahren Wert sein. Mittelwerte zu bilden, ist nicht gestattet.

Der Hilfsleiter sollte mindestens 0,1 m tief im feuchten Erdboden eingeschlagen werden, für die Sonde genügt ein Berühren der Erdoberfläche. Wo und wie der Erdungswiderstand gemessen worden ist, muss im Prüfbericht festgehalten werden.

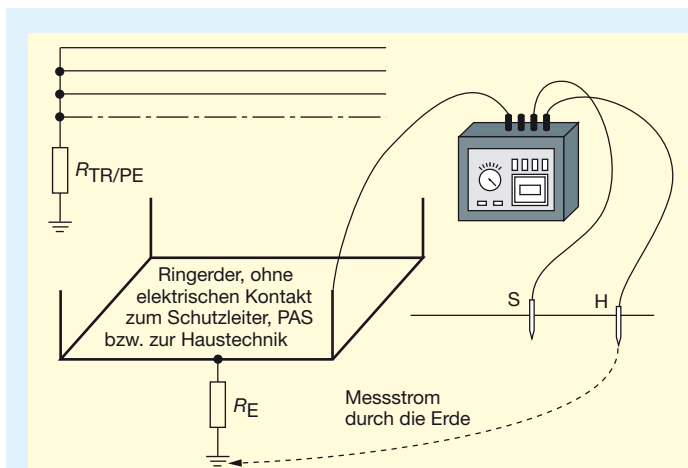
■ Auswertung

Nur bei Erdern vom Typ A können unterschiedliche Erdungswiderstände gemessen werden. Bei Ringerdern (Erder Typ B) müssen an verschiedenen Messtrennstellen gemessene Erdungswiderstände gleich sein. Für Abweichungen sind sehr oft Messfehler die Ursache. Dann sollten Sonden- und Hilfserderabstände überprüft bzw. der Potentialverlauf längs der Messtrasse skizziert werden, um den „Spannungstrichter“ zu erkennen.

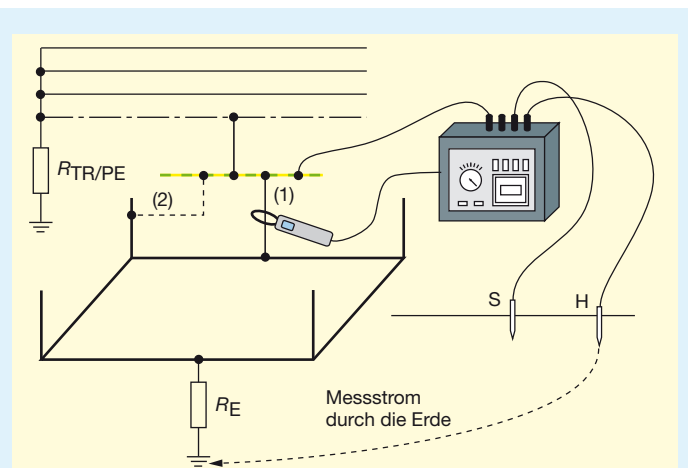
Wenn für die Ermittlung von Schritt- und Berührungsspannungen der Spannungsverlauf interessiert, z. B. bei einem Steuererder, muss die Spannung analog (Gl. 2) aus Erdungswiderstand und Blitzstrom des entsprechenden Gefährdungspegels (LPL) berechnet werden.

■ Schlussfolgerungen

Die Messung des Erdungswiderstands von Blitzschutzerdern ist in der Norm verankert. Ihre Aussagekraft aber ist nicht sehr groß. Sie ist auch nicht geeignet zur Untersuchung des Verschleißes des Erders durch Korrosion oder andere mechanische Beschädigungen in der Erde. Aus diesem Grunde sollte die Norm besser auf diese Forderung verzichten. Anders ist es bei Fundamenterdern. Hier sollte er unbedingt gemessen werden, um



③ Anordnung Hilfserder H – Sonde S zur Messung des Erdungswiderstands mit einem Erdungsmessgerät



④ Anordnung zur Messung des Erdungswiderstands bei vermaschten nicht auftrennbaren Erdern mit Erdungsmessgerät und einer dazugehörigen Stromzange

eventuell die Wirkung von Isoliersperren festzustellen. Der dazu benötigte Vergleichswert ohne Isoliersperre kann mit Hilfe der in Tafel 2 für Halbkugel- und Kugelerder angegebenen Formeln näherungsweise berechnet und zur Beurteilung herangezogen werden. Dabei wird die Leitfähigkeit des Betons als sehr viel besser als die des umgebenen Erdreiches angenommen.

4 Messung spezifischer Erdungswiderstände

Unter einer geoelektrischen Sondierung versteht man die Messung und die Kartierung des spezifischen Erdungswiderstands in einem vorgegebenen Bereich. Unterschieden werden Tiefensondierungen des Bodenprofils und Oberflächen Sondierungen an bestimmten Standorten.

Je genauer das Bodenprofil bekannt ist, umso besser kann der Planer die Art und die Lage der Erdungsanlage festlegen und den Erdungswiderstand berechnen.

Die Blitzschutznorm [5] schreibt vor, die Größe der Erdungsanlage vom spezifischen Widerstand abzuleiten. Außerdem sollte vor allem in Gegenden mit extremen jahreszeitlichen Schwankungen der Temperatur und der Niederschlagsmenge die Schwankung des spezifischen Erdungswiderstands beachtet werden. Hier soll sogar durch Messung des Tiefenprofils des spezifischen Widerstands der Einfluss unterschiedlicher Witterungsperioden ermittelt werden. Besteht ein Einfluss, so sollte eine Verbesserung des Erdungssystems gegenüber dem ursprünglichen Entwurf in Betracht gezogen werden.

Für das Risikomanagement nach VDE 0185-305-2 [7] wird der spezifische Erdungswiderstand als wichtige Eingangsgröße benötigt. Eine Oberflächen Sondierungen mit geringen Sondenabständen wird notwendig, wenn die Blitzschutznorm fordert, dass im Umkreis von 3 m um einen möglichen Gefährdungsbereich der spezifische Erdungswiderstand größer als 5 k Ω m sein muss, damit Schritt- und Berührungsspannungen auszuschließen sind.

■ Messung

Die Messverfahren nach *Wenner* und *Schlumberger* haben weite Verbreitung gefunden. Benötigt werden

- ein Vierklemmen-Erdungsmessgerät
- vier Erdungs sonden S und
- vier Verbindungsleitungen von 1 m, 20 m und 40 m.

Außerdem empfiehlt es sich, Messblätter nach Bild 5 für die Eintragung der Messwerte vorzubereiten.

Aus der Berechnung des Strömungsfelds für die vier Sonden ergeben sich die Formeln zur Bestimmung des scheinbaren spezifischen Erdungswiderstands.

Nach *Wenner*:

$$\rho_s = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R_{\text{gem}} \quad (\text{Gl. 3})$$

Nach *Schlumberger*:

$$\rho_s = \pi \cdot (c^2/2b - b/2) \cdot R_{\text{gem}} \quad (\text{Gl. 4})$$

Gemessen wird der Erdungswiderstand R_{gem} entlang einer bestimmten Messtrasse in Abhängigkeit von den Sondenabstände a , b bzw. c gemäß Bild 6.

■ Auswertung

Die mit den (Gl. 3 bzw. 4) berechneten spezifischen Erdungswiderstände werden in so genannten Schichtkurven $\rho_s = f(a, b)$ dargestellt, die je nach Bodenschichtung typische Verläufe aufweisen. Sie werden dann mit vorausgerechneten Kurven verglichen. So lässt sich Schicht für Schicht der spezifische Erdungswiderstand ermitteln [8].

Eine Grobabschätzung kann man erreichen, wenn der gemessene scheinbare spezifische Bodenwiderstand ρ_s bis zu einer Tiefe von $3 \cdot a$ bzw. $3 \cdot b$ als der wahre Wert angenommen wird, s. Bild 5. Damit verschafft sich der Messende einen groben Überblick über das Bodenprofil.

Zu erkennen ist, dass nach *Wenner*-Messung ein größeres Volumen erfasst wird (geeignet für die Planung eines Oberflächen-, Ring- oder Fundamenterders). Nach der *Schlumberger*-Messung ist ein punktueller Aufschluss möglich (geeignet für die Planung eines Tiefenerders).

■ Messfehler

Der Messfehler des Erdungsmessgeräts beträgt im Allgemeinen nicht mehr als $\pm 5 \%$.

Der Einfluss von Abweichungen bei der Abmessung der Sondenabstände ist gering, sollte jedoch 10 % nicht übersteigen. Es ist darauf zu achten, dass die Verbindungsleitungen zwischen Erdungsmessgerät und Sonden gut isoliert sind und keine blanken Klemmstellen auf dem Erdboden liegen. Die Trasse ist so zu wählen, dass unterirdische metallene Leitungssysteme die Messung nicht beeinflussen.

Den größten Einfluss auf die Vorhersagegenauigkeit des spezifischen Widerstands für bestimmte Bodenschichten hat die Exaktheit der Auswertung der gemessenen Kurvenverläufe $\rho = f(a, b)$, z. B. nach *Ebert* [8].

■ Schlussfolgerungen

Die Messung des spezifischen Erdungswiderstands ist in den Normen fest verankert [5] [7]. Seine genaue Kenntnis ist zur Planung einer Erdungsanlage (Erdertypen A oder B und ihre Größe) und zur Beurteilung des gemessenen Erdungswiderstands bei Wiederholungsprüfungen wichtig. Nur so lassen sich Witterungseinflüsse von fehlerhaften Erdungsanlagen unterscheiden. Er ist es, der über die Wirksamkeit der Maßnahmen zur Vermeidung unzulässig hoher Schritt- und Berührungsspannungen (Steuererder, Oberflächenwiderstand) entscheidet.

Eine Messung ist einer Schätzung über die Bodenklasse immer vorzuziehen, auch wenn der Aufwand erheblich ist.

5 Messung des Durchgangswiderstands

Unterbrechungen in ober- oder unterirdischen Leitungen des Blitzschutzsystems sind gefährlich, weil an diesen Stellen bei Blitzeinwirkungen Zündfunken auftreten. Hierdurch können Bauwerksteile zerstört (Druckaufbau) oder Brände und Explosionen auslösen werden. Eine Unterbrechung im Potentialausgleichssystem gefährdet Personen und Tiere durch Schritt- und Berührungsspannungen.

Nicht immer werden Unterbrechungen bei der Sichtkontrolle erfasst, weil diese Stellen eingegraben, einbetoniert, eingeschalt oder anderweitig versteckt sind. Entsprechende Unterbrechungen entstehen durch Korrosion, gewaltsame mechanische Einwirkungen oder Montagefehler.

Niedrige Durchgangswiderstände sind ein Qualitätsmerkmal eines Blitzschutzsystems. Die Blitzschutznorm [5] fordert im Abschnitt 4.3, dass Schleifenwiderstände gemessen werden müssen:

- Bei baulichen Anlagen aus Stahlbeton zwischen den Bewehrungsstäben am oberen Teil und dem Erdboden.
Der elektrische Gesamtwiderstand sollte nicht größer als 0,2 Ω sein. Bei Betonfertigteilen muss der elektrische Durchgang von Fertigteil zu Fertigteil sichergestellt werden, wenn die Stahlbewehrung als Teil der Blitzschutzanlage genutzt werden soll.
- Von Messtrennstelle zu Messtrennstelle muss ein niederohmiger Durchgang (Richtwert < 1 Ω) erfüllt sein.

■ Messung

Bei der Durchgangsmessung werden Schleifenwiderstände ermittelt, die unterschiedliche Vorbereitungen bei der zu prüfenden Anlage erfordern, s. Bilder 8, 9 und 10.

Als Schleifenwiderstandsmessgeräte kommen sowohl Erdungsmessgeräte (Bild 2), die auf diese Betriebsart umschaltbar sind, als auch Niederohmmessgeräte und Erdungsprüfzangen (Bild 7) in Frage. Sie sollten einen Messbereich zwischen 0,01 Ω bis etwa 100 Ω besitzen und einen möglichst hohen Prüfstrom (>100 mA) liefern.

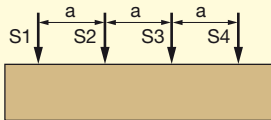
Zur Vorbereitung der Messungen werden bei Verwendung klassischer Widerstandsmessgeräte alle Messtrennstellen bis auf eine geöffnet und entweder über die oberirdischen Leitungen hinweg oder von Messtrennstelle zu Messtrennstelle gemessen (Bild 8).

Bei Verwendung einer Erdungsprüfzange bleiben die Schleifen geschlossen (Bild 9). Zwei Spulensysteme sorgen für die Einkopplung eines Prüfstroms und für die Erfassung der Schleifen Spannung. Der Prüfstrom ist relativ niedrig.

**geoelektrische Sondierung
Verfahren nach Wenner**

$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R_{gem}$
Bedingung:

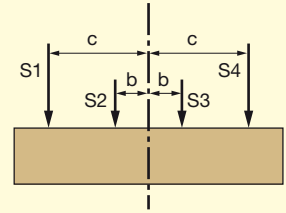
1. Messstraße a	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
R_{gem} in Ω					
spezifischer Erdungswiderstand $\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R_{gem}$ in Ωm					



**geoelektrische Sondierung
Verfahren nach Schlumberger**

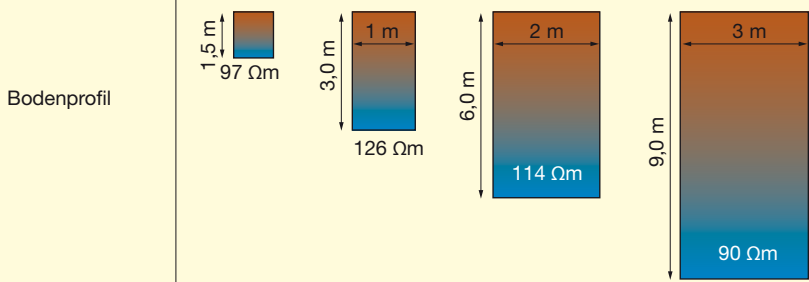
$\rho = \pi(c^2/2b - b/2) \cdot R_{gem}$
Bedingung: $c \geq 3 \cdot b$

b	0,5 m	0,5 m	1,0 m	1,0 m	2,0 m
1. Messstraße c	1,5 m	3,0 m	3,0 m	6,0 m	6,0 m
R_{gem} in Ω					
spezifischer Erdungswiderstand $\rho = \pi(c^2/2b - b/2) \cdot R_{gem}$ in Ωm					

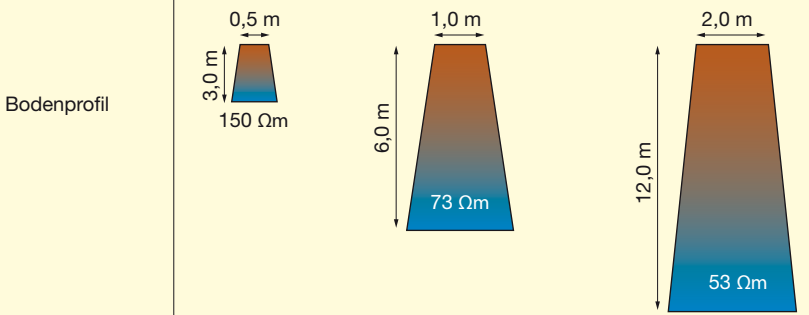


5 Messblatt für geoelektrische Sondierungen nach Wenner (links) sowie nach Schlumberger (rechts)

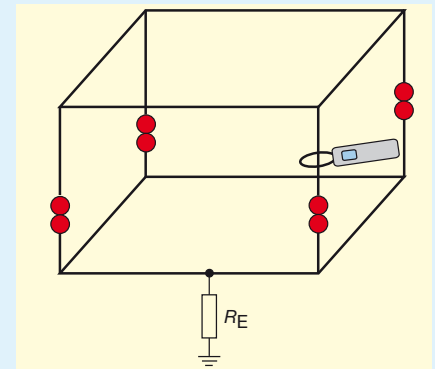
a in m	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
R_{gem} in Ω	31	20,1	12,88	9,12	6,36	4,81	3,35	2,76
$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R_{gem}$ in Ωm	97,34	126,228	121,33	114,5472	99,852	90,6204	84,152	86,664



b in m	0,5	0,5	1,0	1,0	2,0	2,0	3,0	3,0
c in m	1,5	3,0	3,0	6,0	6,0	12,0	15,0	18,0
R_{gem} in Ω	23,33	5,47	8,93	1,48	2,94	0,6	0,47	
ρ in Ωm	146,5	150,3	112,0	81,3	73,85	65,94	53,129	

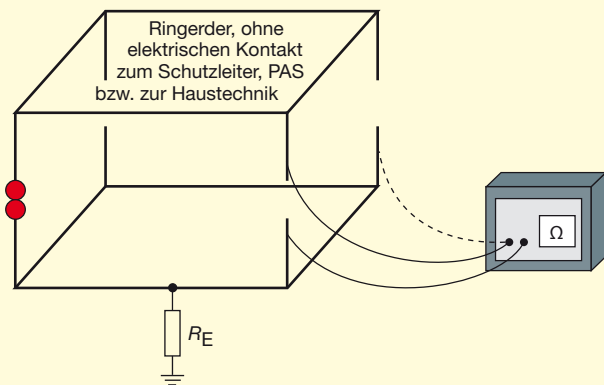


7 Erdungsprüfzange: 0,01 ... 50 Ω , kleinste Auflösung 0,01 $\Omega \pm 2\%$ im kleinsten Messbereich, erzeugte Schleifenspannung 60 mV, 2 403 Hz

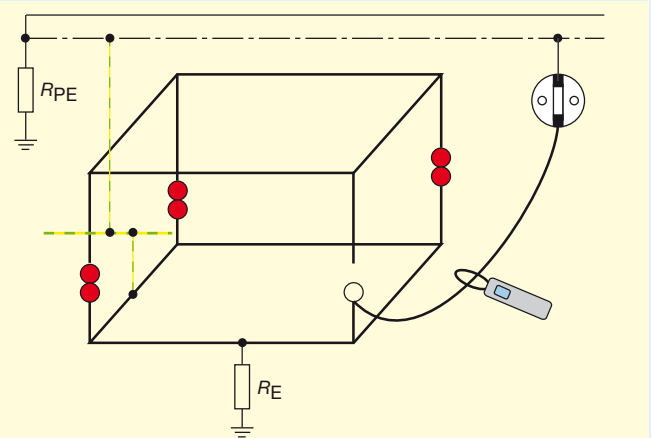


9 Durchgangswiderstandsmessung mit der Prüfzange bei geschlossenen Messtrennstellen

6 Beispiel zur Abschätzung der Schichtleitfähigkeit für die Wenner-Messung (oben) und für die Schlumberger-Messung (unten)



8 Durchgangswiderstandsmessung bei geöffneten Mess-trennstellen mit dem „Ohmmeter“



10 Durchgangswiderstandsmessung mit Prüfzange an einer geöffneten Mess-trennstelle und einer Messleitung zum Schutzleiter im TN-Netz

Tafel 3 Typische Widerstände von Leitungsmaterial

Abmessungen	Material	Spezifischer Widerstand Ωm	Längenbezogener Widerstand Ω/m	Beispiel für 10 m Länge Ω
50 mm ² / 8 mm	Stahl	$120,0 \cdot 10^{-9}$	$2,40 \cdot 10^{-3}$	$24,0 \cdot 10^{-3}$
50 mm ² / 8 mm	NIRO	$750,0 \cdot 10^{-9}$	$15,00 \cdot 10^{-3}$	$150,0 \cdot 10^{-3}$
50 mm ² / 8 mm	Cu	$17,8 \cdot 10^{-9}$	$0,36 \cdot 10^{-3}$	$3,6 \cdot 10^{-3}$
70 mm ² /10 mm	Stahl	$120,0 \cdot 10^{-9}$	$1,71 \cdot 10^{-3}$	$17,1 \cdot 10^{-3}$
70 mm ² /10 mm	NIRO	$750,0 \cdot 10^{-9}$	$10,70 \cdot 10^{-3}$	$107,0 \cdot 10^{-3}$
70 mm ² /10 mm	Cu	$17,8 \cdot 10^{-9}$	$0,25 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$
30 x 3,5 mm ²	Bandstahl	$120,0 \cdot 10^{-9}$	$1,14 \cdot 10^{-3}$	$11,4 \cdot 10^{-3}$

Mit der Prüfzange kann der Erdungswiderstand eines einzelnen Erds nicht gemessen werden. Im Falle der Messschaltung nach Bild 10 wird die Summe der Erdungswiderstände R_E und R_{PE} in der Schleife gemessen. In TN-Ortsnetzen ist $R_{PE} \ll R_E$, so dass der Messwert gleichzeitig als Erdungswiderstand des Blitzschutzsystems gelten kann. Zusätzliche Potentialausgleichsverbindungen (gestrichelt eingetragen) verfälschen die Messung.

In Ausnahmefällen können Durchgangsmessungen auch mit extrem hohen Strömen von 5 bis 10 A ausgeführt werden (Achtung Gefährdungsspannungsgefahr!), um Wackelkontakte zu erfassen. Oft werden Datenlogger über Stunden und Tage eingesetzt, die die Konstanz des Messstroms überwachen. Die Methode ist umstritten.

Eine zukunftsweisende Methode zur Feststellung der zuverlässigen elektrischen Durchgängigkeit einer Leiterschleife, ist die Ortung von Funkenentladungen im Bereich von Wackelkontakten unter Verwendung sehr kurzer Stoßimpulse [9].

■ Messfehler

Der Messfehler des Durchgangsmessgeräts (Erdungsmessgeräts) beträgt im Allgemeinen nicht mehr als $\pm 5\%$.

Zusätzliche Messfehler entstehen durch mögliche Beeinflussungen des Messstromkreises durch Fremdfelder, vor allem dann, wenn lange Messleitungen wie z. B. bei Durchgangsmessungen an Armierungen hoher Gebäude benötigt werden. Werden Fremdströme eingekoppelt, so wird ein kleiner Schleifenwiderstand vorgetäuscht. Um den Widerstand der Messleitungen auszuschließen, kann entweder ein Vierklemmen-Messgerät verwendet oder der Widerstand der Messleitungen vom Messergebnis subtrahiert werden.

■ Auswertung

Ein wichtiges Ziel der Auswertung ist es, aus dem gemessenen Wert festzustellen, ob die Normwerte bei Betonfertigteilen von Fertigteil zu Fertigteil ($R < 0,2 \Omega$) bzw. zwischen den Messtrennstellen ($R < 1 \Omega$) eingehalten werden. In allen anderen Fällen können die Sollwerte zum Vergleich nach Tafel 3 herangezogen werden.

Korrodierte Leitungen zu prüfen, erfordert besondere Erfahrungen. Ein Ausbrennen von Schwachstellen mit hohen Prüfströmen ist problematisch. Das Scannen einer Leitung in Erde oder in Beton wäre eine Möglichkeit, den Zustand der Erder zu prüfen.

■ Schlussfolgerungen

Leiterschleifen im Blitzschutzsystem können mit einer Durchgangsmessung optimal auf ihre Durchgängigkeit geprüft werden. Wird der Wert des gemessenen Schleifenwiderstands richtig interpretiert, so schafft dies Sicherheit beim Beurteilen von natürlichen metallenen Bestandteilen der baulichen Anlage, die für den Blitzschutz verwendet wurden. Außerdem erhält man Auskunft über die Verwendbarkeit von Anschlussleitungen und Anschlussstellen für Ringerder und Fundamenterder.

6 Messung des Schutzwinkels

Auf der Grundlage des physikalisch begründeten Blitzkugelverfahrens wurde das Schutzwinkelverfahren abgeleitet. Es kann bei der Planung bis zur Grenze des Möglichen, d. h. nicht für komplizierte Dachstrukturen oder Höhenüberschreitungen angewendet werden. Fangleitungen, Fangstangen, Masten und Seile sollten so angeordnet werden, dass alle Teile der zu schützenden baulichen Anlage innerhalb der Hüllfläche liegen, die durch die Projektion der Punkte von der Fangeinrichtung auf die Bezugsfläche unter einem Winkel α in allen Richtungen zur Senkrechten erzeugt wird. Fangstangen für den Schutz von Dachaufbauten sollten so hoch sein, dass der zu schützende Aufbau vollständig innerhalb des Kegels mit dem Schutzwinkel liegt. Der Trennungsabstand zwischen der Fangstange und den Dachaufbauten muss der Normforderung entsprechen. Nur so lässt sich die Anordnung optimieren und ökonomisch auslegen.

Bei der Abnahmeprüfung muss der wirksame Schutzbereich der Fangeinrichtungssysteme nachgewiesen und dokumentiert werden (VDE 0185-305-3 Bbl. 1 [5]). Die Dokumentation ist bei der Wiederholungsprüfung stets zu aktualisieren.

Für Abnahme- und Wiederholungsprüfungen kann dieser Nachweis am natürlichen Objekt nur durch die Messung des Schutzwinkels erfolgen. Da der Schutzwinkel eine von der Bezugshöhe und der Blitzschutzklasse abhängige Größe ist, hat es sich als vorteilhaft erwiesen, ein Schutzwinkelprüfgerät nach Bild 11 einzusetzen.

■ Messung

Das beim Schutzwinkelprüfgerät angewendete Winkelmessverfahren beruht auf dem

Prinzip des Schwerkraftpendels. Über eine Peileinrichtung (Peilleiste, Zielfernrohr oder Laserstrahlpointer) bestimmt der Messende den Peilwinkel zwischen Fangeinrichtung und dem zu schützenden Teil der baulichen Anlage. Der Messwertzeiger auf einer Messwertskala zeigt den Winkel an, und speichert ihn bis zur nächsten Messung.

Das Prüfen auf Einhaltung des Schutzwinkels ist integraler Bestandteil des Geräts. Gemessener Peilwinkel und zulässiger Schutzwinkel werden miteinander verglichen, d. h. geprüft. Dafür wurde aus der in der Norm VDE 0185-305-3:2006 [5] dargestellten Abhängigkeit des Schutzwinkels α von der Höhe h der Fangeinrichtung über der Bezugsebene und der Blitzschutzklasse (BSKL) ein Nomogramm entwickelt. Mit Hilfe der Nomogrammskala und dem Nomogrammzeiger stellt der Prüfende Höhe und Blitzschutzklasse ein. Das Ergebnis überträgt sich automatisch auf die Messwertskala und gliedert sie in einen grünen und roten Bereich. Messwertzeiger im grünen Bereich heißt Prüfung bestanden, Messwertzeiger im roten Bereich heißt Prüfung nicht bestanden.

■ Auswertung

Die Besonderheit des Schutzwinkelprüfgeräts ist, dass nach der Messung sofort die Prüfung auf Einhaltung des zulässigen Schutzwinkels erfolgt. Die Beobachtung der Stellung des Messwertzeigers im grünen oder roten Bereich stellt bereits die Auswertung dar.

■ Messfehler

Der Messsystem bedingte Fehler beträgt $\pm 1^\circ$. Der größere Fehler wird vom Messenden beim Anpeilen verursacht, hervorgerufen durch Blendlicht, Verwackelungen und durch das nicht Einhalten der Beruhigungsphase (etwa 1 s) des Messzeigers. Der Messfehler beträgt etwa $\pm 3^\circ$.

Auch die zur richtigen Einstellung des Nomogrammzeigers benötigte Höhe h der Fangeinrichtung kann fehlerbehaftet ermittelt worden sein. Dadurch verringert sich die Prüfgenaugigkeit, d. h. die Grenze zwischen grünem und rotem Bereich. Es wird empfohlen, Höhen bis zu 3 m mit dem Meterstab zu messen sowie größere Höhen mit dem gleichen Schutzwinkelprüfgerät zu bestimmen.

Bei einer fehlerhaft ermittelten Höhe h der Fangeinrichtung ist die Auswirkung auf das Prüfergebnis unbedeutend, wenn der Höhenfehler unter 10 % liegt.

■ Schlussfolgerungen

Mit dem Schutzwinkelprüfgerät steht der Blitzschutzfachkraft eine Prüftechnik zur Verfügung, die einfach und schnell ein zuverlässiges Prüfergebnis liefert. Der Messfehler liegt unter 3 %.

Ohne eine sachgerechte Prüfung der Einhaltung des Schutzwinkels drohen weit reichende Konsequenzen. Auf der einen Seite kann



das Auffangsystem seiner Aufgabe nicht gerecht werden, der Blitz schlägt in die bauliche Anlage. Auf der anderen Seite, wenn viel zu große Schutzbereiche existieren, hat der Errichter sein Ziel wirtschaftlich und vielleicht sogar architektonisch verfehlt. Das Messen und Prüfen des Schutzwinkels sollte in kritischen Situationen und bei der Abnahmeprüfung durch Sachverständige immer vorgenommen werden. Bei der Planung nach dem virtuellen Blitzkugelfahren und der Messung des wahren Schutzwinkels können, bedingt durch die Normfestlegungen, Abweichungen auftreten, die zu interpretieren sind.

7 Scannen von Metallteilen in der Erde

Armierungen im Beton mit einem Metallscanner aufzuspüren wird schon lange praktiziert. Hier soll erstmals ein Verfahren für das Auffinden von metallenen Gegenständen in der Erde mit einem Metalldetektor beschrieben werden. Das Ziel dieser Untersuchung war es festzustellen, ob es möglich ist, Erdematerialien von der Erdoberfläche aus zu orten sowie den Erdertyp und die Art des verwendeten Erdematerials zu ermitteln. Dafür wurde ein handelsüblicher Metall-Detektor verwendet, s. Bild 12.

In der Bedienungsanleitung wird versprochen, dass der Metalldetektor zwischen eisenhaltigen (ferro-magnetischen) und nicht eisenhaltigen Metallen unterscheiden kann.

Messung

Zur Vorbereitung einer Messung (Ortung) gehören:

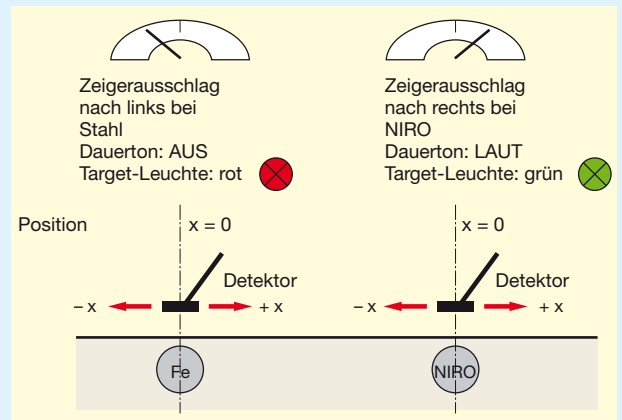
1. Nullabgleich mit den Bedienelementen „PUSH“ und „TUNING“.
2. Optimierung der Suchfeldstärke mit Drehknopf „VOLUMEN“ und „DISCRIMINATION“ für die Selektionsschärfe Eisenmetall und Nichteisenmetall.

Für die richtige Einstellung und Optimierung ist Erfahrung und ein gewisses Fingerspitzengefühl unerlässlich.

13 Reaktion des Anzeigesystems bei horizontaler Bewegung des Metall-Detektors über dem eingegrabenen Draht aus Stahl (Fe) bzw. NIRO

11 Schutzwinkelprüfgerät: Messbereich 10 ... 90° ± 1°

12 Metall-Detektor



Tafel 4 Zusammenfassung und Bewertung der Messungen

Ziel	Methode	Bemerkung
Qualitätsnachweis	Messung der Isolationsfestigkeit	nur für inneren Blitzschutz
	Messung des Durchgangswiderstands	Nachweis Funkenfreiheit, Potentialausgleich
	Messung des Schutzwinkels	Sicherung der Einschlagfreiheit in Blitzschutzzone O_B
	Scannen von Erdungsanlagen	Nachweis des Erdertyps, des Erdematerials
Sicherheitsbewertung, Erfüllung der Normenanforderungen	Messung des spez. Erdungswiderstands	Risikomanagement, Erdberechnung
	Messung des Durchgangswiderstands	Bedeutung für Funkenfreiheit, Potentialausgleich
	Messung des Schutzwinkels	Sicherheit für Blitzschutzzone O_B
Vertragseinhaltung	Messung des Erdungswiderstands	kein reproduzierbares Ergebnis, große Messunsicherheiten
	Scannen von Erdungsanlagen	Erdematerial, Korrosion, Lebensdauer

Wenn der Detektor einen Gegenstand aus Metall auf oder in der Erde aufspürt, ändert sich die Anzeige im Display und die Target-Leuchte reagiert, s. Bild 13. Der Suchteller muss langsam über dem Boden geführt werden (ohne Bewegung aber keine Anzeige!). Er darf während der Messung nicht pendeln, d. h. angehoben werden.

Auswertung

Erste Messungen ergaben, dass 10-mm-Drähte und Bänder 30 mm x 3,5 mm in 0,5 m Tiefe gut geortet werden können. Stahl ließ sich von NIRO und Kupfer exakt unterscheiden, ihr Korrosionszustand leider nicht. Armierungen in Betonteilen wurden erkannt.

Messfehler

Falsche Signale können durch das Pendeln des Tellers, durch Fremdfelder und durch Fremdkörper im Boden erzeugt werden. Dann wird die Messung in der Regel vom Gerät selbst unterbrochen. Das Erkennen der genauen Position hängt von der Größe des gesuchten Gegenstands (Leitung) und der Eingrabbtiefe ab.

Schlussfolgerungen

Es ist noch zu früh, über die Brauchbarkeit des Metall-Detektors in der Erdungstechnik zu urteilen. Die ersten Probemessungen stimmten zuversichtlich. Das Verhalten bekannter Detektoren bei verschiedenen Umgebungsbedingungen sollten weiter getestet werden.

8 Zusammenfassung und Bewertung

Die Gegenüberstellung relevanter Messungen in der Blitzschutztechnik zeigt, dass sie unterschiedlichen Zielen dienen und entsprechend angewendet werden sollten (Tafel 4).

Literatur

- [1] DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4):2006-10 Blitzschutz; Teil 4: Elektrische und elektronische Systeme in baulichen Anlagen.
- [2] Anordnung zur Prüfung und Erfassung des Isolationszustands von Betriebsmitteln. WP G01 R/211 825-142 761; Patent der DDR vom März 1979.
- [3] Naumann, W.: Die Stoßspannungsprüfung in NS-Anlagen, ein Hilfsmittel zum Vermeiden von Blitzschäden. ETZ-B Bd. 19 (1967) H. 17.
- [4] Richtlinie für den Einsatz von Überspannungsschutzeinrichtungen Typ 1 in Hauptstromversorgungssystemen. 2. Auflage. Berlin: Verband Deutscher Netzbetreiber (VDN) August 2004.
- [5] DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3):2009-10 Blitzschutz; Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen; Beiblatt 1: Zusätzliche Informationen für besondere bauliche Anlagen.
- [6] Koch, W.: Erdung in Wechselstromanlagen über 1 kV. 3. Auflage. Berlin: Springer-Verlag 1961.
- [7] DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2):2006-10 Blitzschutz; Teil 2: Risiko-Management.
- [8] Ebert, A.: Grundlagen geoelektrischer Tiefenmessungen. Zeitschrift für angew. Geophysik Bd. 10 (1942).
- [9] Einrichtung zur Prüfung des Kontaktzustands elektrischer Verbindungen. WP G01 R/300 130 8; Patent der DDR vom Juni 1988.