Überprüfen der Erdungswiderstande bei gewerblichen, industriellen und privat genutzten Gebäuden

Anwendungsbericht

Die meisten Gebäude verfügen über geerdete elektrische Anlagen, sodass der Strom bei Blitzeinschlag oder Überspannungen im Versorgungsnetz einen sicheren Erdungspfad findet. Ein Erder stellt den Kontakt zwischen der elektrischen Anlage und dem Erdboden her. Um eine zuverlässige Erdung zu gewährleisten, werden in elektrischen Vorschriften, technischen Normen und nationalen Normen häufig Höchstwerte für den Widerstand des Erders angegeben. Die BGV schreibt für Anlagen mit durchschnittlichen Betriebszeitanforderungen regelmäßig eine Überprüfung des Erders vor. Dieser Anwendungsbericht erläutert eingehend die Grundprinzipien von Erdung und die Sicherheitsaspekte und beschreibt anschließend die grundsätzlichen Prüfverfahren: 3- und 4-poliges Spannungsfallverfahren, selektive Prüfung, spießlose Prüfung und 2-polige Prüfung.

Wozu Erden?

Die VDE nennt zwei Hauptgründe für das Erden einer Anlage.

- Stabilisierung der Spannung gegenüber dem Erdpotential während des normalen Betriebs.
- Begrenzen des Spannungsanstiegs bei Erdschluss, Blitzschlag, Überspannungen oder unbeabsichtigtem Kontakt mit Leitungen, die höhere Spannungen führen.

Der Strom sucht immer den Weg des geringsten Widerstands zurück zu seiner Quelle, sei diese ein Umspanntransformator des Energieversorgungsunternehmens, ein anlageneigener Transformator oder ein Generator. Blitzströme hingegen finden immer den Weg zur Erde.

Bei einem Blitzeinschlag in das Stromnetz oder in der Nähe eines Gebäudes hilft ein Erder mit niedrigen Widerstand, die Energie in das Erdreich abzuleiten. Die Erdungs- und Anschlusssysteme verbinden den Erdboden in der Nähe eines Gebäudes mit der elektrischen Anlage und dem Fundamenterder des Gebäudes. Bei einem Blitzeinschlag befindet sich die gesamte Anlage auf einem fast einheitlichen Potential. Durch eine geringe Potentialdifferenz können Schäden minimiert werden.

Falls ein Mittelspannungsnetz (über 1 kV) in Kontakt mit einem Niederspannungsnetz kommt, könnte dies für die nahe gelegenen Anlagen eine bedrohliche Überspannung zur Folge haben.

Ein Erder mit niedrigen Widerstand hilft, den Spannungsanstieg an der Anlage zu begrenzen. Ein niedriger Erdwiderstand kann auch einen Rückweg für Überspannungen aus dem Stromnetz liefern. Abbildung 1 zeigt ein einfaches Erdungssystem für ein gewerbliches Gebäude.

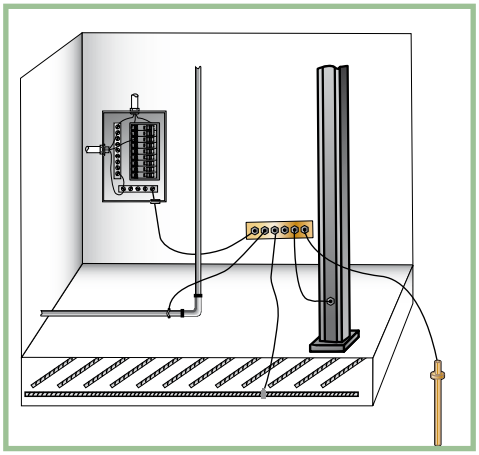

Abbildung 1: Ein Erdungssystem mit Fundament- und Tiefenerder

Widerstand des Erders

Der Widerstand des Erders hängt von zwei Faktoren ab: dem spezifischen Widerstand des Erdbodens und der Konstruktion des Erders.

Der spezifische Widerstand ist eine Materialeigenschaft, die die Leitfähigkeit für elektrischen Strom definiert.

Der spezifische Widerstand des Erdbodens ist schwierig anzugeben, weil er:

- von der Bodenzusammensetzung abhängt (z.B. Lehm, Kies und Sand),
- je nach Materialmischung auch über geringe Distanzen variieren kann,
- vom Mineralgehalt abhängt (d. h. Salze),
- von der Bodenverdichtung ab-hängt, die sich durch Setzen auch im Laufe der Zeit ändern kann,
- sich mit der Temperatur und Befrostung (und damit der Jahreszeit) ändert (mit sinkender Temperatur steigt).
- durch im Boden befindliche Metallteile, wie Tanks, Rohre, Baustahl usw. beeinflusst werden kann,
- sich mit der Bodentiefe ändert.

Da der spezifische Widerstand mit zunehmender Bodentiefe meist abnimmt, werden die Erder zur Verringerung der Erdungswiderstand möglichst tief verlegt. Durch Verwendung eines Feldes aus mehreren Erdern eines Leiterrings oder eines Systems kann die wirksame Fläche eines Erders erhöht und damit ebenfalls der Erdungswiderstand verringert werden. Bei mehreren Erdern sollten die Abstände größer als deren jeweiliger „Einflussbereich" sein (siehe Abbildung 2). Als Faustregel gilt: die Abstände größer halten als die Länge der Elemente. Ein Beispiel: Bei Tiefenerdern mit 2,5 m Länge sollte der Abstand zwischen den einzelnen Erdern mehr als 2,5 m betragen, um eine maximale Wirkung zu erzielen.

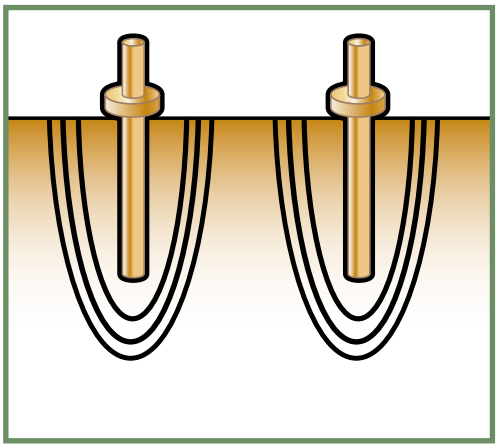

Abbildung 2: Erder werden von Einflussbereichen umgeben

Die Festlegung zulässiger Grenzwerte für den Erdungswiderstand des Erders ist in den VDE-Bestimmungen beschrieben, teilweise wird sie durch die technischen Anschlussbedingungen (TAB) der örtlichen Energieversorger ergänzt.
Hinweis: Energieverteilungsnetze liefern Wechselstrom, und auch Erdungsprüfgeräte verwenden Wechselstrom für die Prüfung. Daher sollten wir im Prinzip von Impedanz und nicht von Widerstand sprechen. Bei Netzfrequenzen ist jedoch die ohmsche Komponente in der Regel viel größer als die Blindkomponente, sodass die Begriffe Impedanz und Widerstand praktisch austauschbar sind.

Funktionsweise von Erdungswiderstandsprüfgeräten

Erdungswiderstandsprüfgeräte liegen in zwei Arten vor: Als 3- und 4-polige Erdungsprüfgeräte und Stromzangen-Erdungsprüfgeräte (siehe Abbildung 3). Bei beiden Typen wird eine Spannung am Erder angelegt und der resultierende Strom gemessen.

Bei einem 3- oder 4-poligen Erdungsprüfgerät sind Stromquelle und Spannungsmessgerät in einem Gehäuse kombiniert. Es werden mehrere Erdungsspieße verwendet. Erdungsprüfgeräte haben folgende Eigenschaften:

- Wechselprüfstrom Der Erdboden leitet Gleichstrom eher schlecht.
- Die Prüffrequenz liegt in der Nähe der Netzfrequenz und deren Oberwellen, ist davon jedoch deutlich unterscheidbar. Hierdurch wird verhindert, dass die Messung des Erdungswiderstands durch Streuströme gestört wird.
- Separate Speise- und Messleitungen zur Kompensation der großen Leitungslängen.
- Eingangsfilter zur Trennung des Prüfsignals von Fremdsignalen.

Stromzangen-Erdungsprüfgeräte ähneln einer Strommesszange. Sie unterscheiden sich jedoch darin, dass sie über einen Speisewandler und einen Messwandler verfügen. Der Speisewandler legt eine Spannung an den zu prüfenden Stromkreis, und der Messwandler misst den resultierenden Strom. Das Stromzangen-Erdungsprufgerät verwendet eine hochentwickelte Filtertechnik, um das eigene Signal von Fremdsignalen zu trennen.

Sicherheit bei Erdungsprüfungen

Verwenden Sie beim Herstellen der Verbindungen immer isolierende Elektriker-Handschuhe, eine Schutzbrille und weitere geeignete persönliche Schutzausrüstung. Aus den nachfolgend angegebenen Gründen ist es nicht sicher, anzunehmen, dass ein Erder keine Spannung oder keinen Strom führt.

Um an einem Erder eine grundlegende Erdungsprüfung (Spannungsfallverfahren) durchzuführen, **muss der Erder vom Gebäude getrennt werden.** Neue, selektive Verfahren ermöglichen eine genaue Prüfung ohne Trennung des Erders. Siehe „Selektive Messungen". Ein Erdungsfehler in der Anlage kann bewirken, dass ein erheblicher Strom durch den Erdungsleiter fließt.

Bevor Sie eine Widerstandsprüfung durchführen, sollten Sie etwaige Ströme mit einer Strommesszange messen.

Achtung: betriebsstromführende Erder können beim Öffnen das volle Potenzial der Netzspannung annehmen, daher ist äußerste Vorsicht geboten! Beispiel: Bei Eisenbahnanlagen können dies15.000 Volt der Oberleitung sein. Bei auftretenden Strömen im Erder daher unbedingt deren Herkunft prüfen. Wenn Sie einen Erder von einer elektrischen Anlage trennen müssen, sollten Sie diese Maßnahme während einer Wartungsabschaltung durchführen, wenn Sie die Anlage spannungslos machen können.

Andernfalls sollten Sie während der Prüfung vorübergehend einen Hilfserder an die elektrische Anlage anschließen.

Bei Blitzgefahr darf der Erder keinesfalls abgeklemmt werden.

Durch einen Erdungsfehler im näheren Umkreis kann im Erdreich ein Spannungsanstieg auftreten. Die Ursache des Erdungsfehlers liegt möglicherweise gar nicht in der überprüften Anlage, kann aber eine Spannung zwischen den Prüfelektroden bewirken. Dies kann in der Nähe von Umspannwerken oder Fernleitungen des Energieversorgungsunternehmens, wo erhebliche Erdströme auftreten können, besonders gefährlich sein.

Erdungswiderstandsprüfgeräte verwenden weitaus höhere Ströme als herkömmliche Multimeter. Sie können Ausgangsströme von bis zu 250 mA liefern. Vergewissern Sie sich, dass sich alle im Prüffeld anwesenden Personen darüber bewusst sind, und warnen Sie sie davor, die Prüfsonden bei aktiviertem Gerät zu berühren.

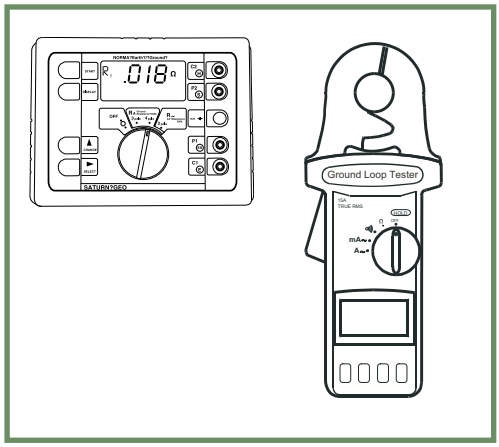

Abbildung 3

Überprüfen des Verbindungswiderstands bis zum Erder

Beginnen Sie vor dem Prüfen des Erders, dessen Verbindung zum Fundamenterder zu überprüfen. Die meisten Prüfgeräte können 2-polige Prüfungen und Niederohmmessungen durchführen und eignen sich ideal für diese Aufgabe. Werte von unter 1 Ohm sollten Sie erreichen:

- am Potentialausgleichsleiter,
- zwischen dem Potentialausgleichsleiter und dem Erderanschluss,
- zwischen der Erderleitung und dem Erder,
- an allen anderen Verbindungen zwischen dem Potentialausgleichsleiter und dem Erder.

Das Spannungsfallverfahren

Das Spannungsfallverfahren ist das „traditionelle" Verfahren zur Prüfung des Erderwiderstands. In seiner grundlegenden Form funktioniert es gut bei Systemen mit einem oder zwei Tiefenerdern. In diesem Artikel wird auch das Steigungsverfahren beschrieben werden, mit dessen Hilfe genaue Ergebnisse für größere Systeme erzielt werden können.

Zu beachten: Für dieses Verfahren muss der Erder vom elektrischen Netz des Gebäudes getrennt werden.

Funktionsweise

Beim Spannungsfallverfahren werden drei Erdungsverbindungen an verschiedenen Orten hergestellt. Daher auch der Name „3-poliges Verfahren". Für präzise Messungen und niedrige Widerstande kann auch ein vierter Pol verwendet werden, doch für die erste Erörterung sollen nur drei Pole betrachtet werden.
Die Verbindungen werden hergestellt mit:

- E/C1 – dem zu prüfenden Erder
- der Sonde S/P2 – einem Spieß zur Messung der Spannung (des Potentials), der in einiger Entfernung vom Erder in den Boden gebohrt wird. Er wird manchmal auch als Potential-Hilfserder bezeichnet.
- H/C2 – dem Hilfserder, der in noch größerer Entfernung in den Boden gebohrt wird.

Abbildung 4 stellt dies schematisch dar und Abbildung 5 zeigt die drei Verbindungen, wie sie bei einem typischen Erdungsprüfgerät hergestellt werden müssen. Das Erdungsprüfgerät speist einen Wechselstrom in das Erdreich zwischen dem zu prüfenden Erder (E/C1) und dem Hilfserder (H/C2) ein. Das Erdungsprüfgerät misst den Spannungsfall zwischen der Sonde S/P2 und E. Dann berechnet es nach dem ohmschen Gesetz den Widerstand zwischen S/P2 und E. Zur Durchführung der Prüfung muss der Hilfserder H/C2 in einigem Abstand von dem zu prüfenden Erder gesetzt werden. Während die Position von H/C2 beibehalten wird, muss die Position der Sonde S/P2 entlang der Verbindungslinie zwischen E und H/C2 geändert werden, um den Widerstand längs dieses Weges zu messen.
Der komplizierte Teil ist die Bestimmung der Bohrpositionen für die Spieße um für den Widerstand zwischen dem Erder und dem Erdreich einen richtigen Messwert zu erhalten.
An welchem Punkt trägt der den Erder umgebende Boden nicht mehr zum Widerstandswert bei, sondern hat den gesuchten Erdwiderstand? Beachten Sie, dass der Widerstand zwischen dem Erder und den Spießen nicht das eigentliche Ziel der Prüfung ist. Wir möchten den Widerstand messen, den ein in das Erdreich abfließender Fehlerstrom überwinden müsste.
Die Stromsonde generiert eine Spannung zwischen sich selbst und dem zu prüfenden Erder. In der Nähe des Erders ist die Spannung niedrig. Der Spannungswert wird null, wenn der Spieß P2 und der Erder direkten Kontakt haben. In der Nähe des Erders befindet sich die Potentialsonde im Einflussbereich des Erders. In der Nähe der Stromsonde hat die Spannung beinahe den Wert der Ausgangsspannung des Prüfgeräts. Doch irgendwo dazwischen passiert etwas Interessantes. Wenn wir den Einflussbereich des Erders verlassen, bewirkt der Prüfstrom keine signifikanten Potentialänderungen mehr. Wenn Sie eine Reihe von Messungen grafisch festhalten, bei denen Sie den Potentialspieß von dem zu prüfenden Erder weg und zum Stromspieß hin einsetzen,

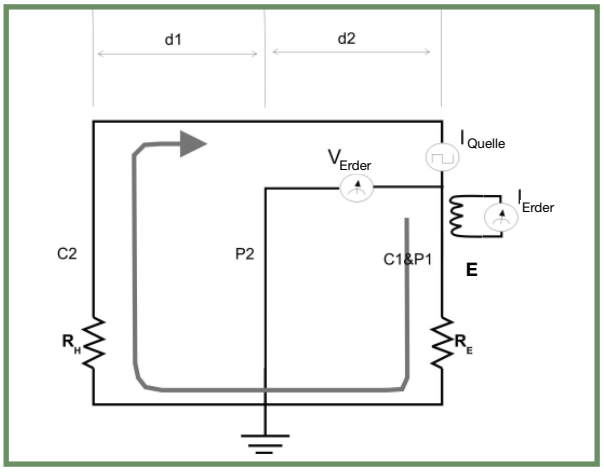

Abbildung 4: Schaltbild für das Spannungsfallverfahren

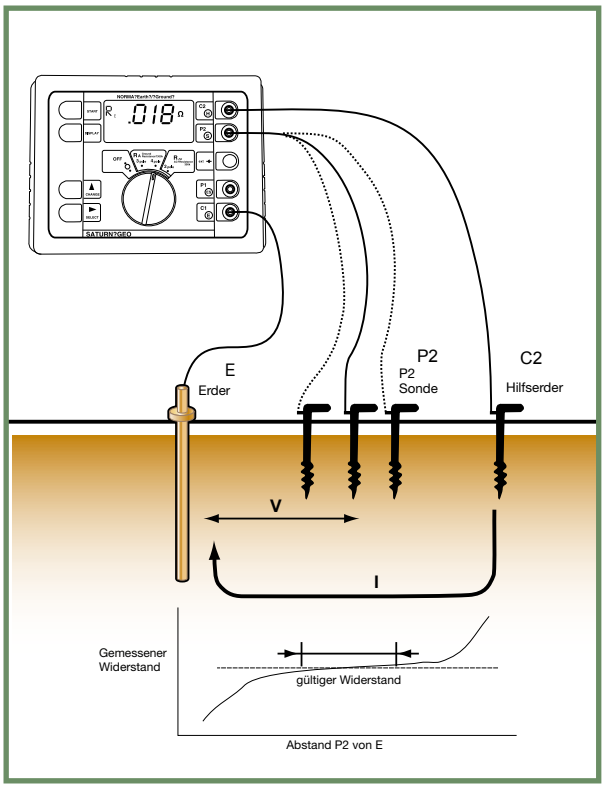

Abbildung 5: Eine grafische Darstellung der gemessenen Widerstanden über die Position des Potentialspießes ermöglicht die Ablesung der Erdungswiderstand

Hinweise zur Messung

- Halten Sie ein hochwertiges, langes Bandmaß bereit.
- Um den horizontalen Teil der Kurve ermitteln zu können, sind mindestens 5, jedoch eher 7 oder 9 Messungen erforderlich.
- Es ist ratsam, drei Widerstandmessungen mit dem Spieß P2 bei 20%, 40% und 60% des Abstands zwischen E und C2 vorzunehmen. Auf diese Weise können Sie das Steigungsverfahren anwenden.
- Wenn Sie einen sehr hohen Messwert oder eine Bereichsüberschreitung feststellen, gießen Sie etwas Wasser um die Prüfspieße, um deren Erdkontakt zu verbessern. Das ist keine Verfälschung, da wir nicht den Widerstand der Spieße sondern den Widerstand des Erders messen möchten.
- Halten Sie die Potential- und Stromleitungen getrennt, um eine Signalübertragung zwischen den beiden Leitungen zu vermeiden.
- Bei einem Neubau können Sie wiederholte Messungen vornehmen. Der Widerstand kann mit dem Absinken des Erdreichs abnehmen.

werden Sie eine Verflachung der Kurve feststellen. Eine ideale Kurve ist in Abbildung 5 gezeigt (siehe vorherige Seite). **Am flachsten Teil der Kurve kann der Erdwiderstand abgelesen werden.**

In Wirklichkeit wird die Kurve nie völlig flach, aber sie erreicht eine sehr geringe Steigung, bei der die Widerstandsänderungen sehr gering sind.

Das Ausmaß des Einflussbereichs des Erders ist von dessen Tiefe und Fläche abhängig. Bei längeren Erdern muss der Stromspieß in größerer Entfernung eingesetzt werden (siehe Tabelle 1). Bei großen Erdungsringen, -netzen oder -feldern kann deren Einflussbereich Dutzende von Metern messen. Tabelle 2 schlägt Startpositionen für die Platzierung von Strom- und Potentialspieß vor.

Aufgrund der möglichen Wechselwirkung zwischen Erdungsringen, -netzen oder -feldern und den Messspieße sollten Sie keine Kompromisse eingehen – stellen Sie den Spannungsfall grafisch dar, um sicher zu stellen, dass Sie ein genaues Ergebnis erhalten.

Bei der Prüfung eines verbundenen Feldes aus mehreren Einzelerdern ist der Gesamtwiderstand des Feldes niedriger als der niedrigste Messwert für einen Einzelerder. Haben Sie beispielsweise zwei 2,5-m-Tiefenerder in einem Abstand von mehr als 2,5 m eingebracht, können Sie sicher sein, dass deren Gesamtwiderstand erheblich niedriger als der Einzelwiderstand ist.

Die 3-polige Messung liefert brauchbare Ergebnisse, wenn Sie für den Erder C1 eine kurze Leitung verwenden, oder wenn Sie eine leichte Verfälschung durch den Leitungswiderstand in Höhe von Bruchteilen eines Ohms in Kauf nehmen. Bei der Messung von Erdungswiderständen über 10 Ohm ist der Einfluss des Leitungswiderstands von C1 gering. Doch für sehr präzise Messungen, insbesondere bei niedrigen Widerstandwerten, ermöglicht es ein 4-poliges Prüfgerät, durch Hinzufügen einer vierten Leitung, den Einfluss der Leitung zum Erder C1 zu eliminieren. Durch eine separate Potentialleitung (P1), die zum zu prüfenden Erder C1 geführt wird, kann der Spannungsfall entlang der Leitung zu C1 bei der Messung kompensiert werden.

Die 62%-Regel

Wenn die Prüfung die folgenden Kriterien erfüllt, können Sie eine Vereinfachung anwenden:

- Sie prüfen einen einfachen Tiefenerder (keine große Netze oder Felder).
- Sie können den Stromspieß C2 in einem Abstand von mindestens 30 m von dem zu prüfenden Erder platzieren.
- Die Bodenzusammensetzung ist einheitlich.

Unter diesen Umständen können Sie den Stromspieß in einem Abstand von mindestens 30 m von dem zu prüfenden Erder platzieren.

Tabelle 1: Ungefährer Abstand zu den Hilfsspieße gemäß 62%-Regel (in Meter)

Tiefe des zu prüfenden Erders (E)	Abstand zwischen E und Sonde (S/P2)	Abstand zwischen E und Hilfserder (H/C2)
2	15	25
3	19	30
6	25	40
9	31	50

Tabelle 2: Ungefährer Abstand zu den Hilfsspießen für Erderfelder (in Meter)

Größter Abstand Diagonale, Durchmesser oder Seitenlinie des zu prüfenden Erderfelds (E)	Abstand zwischen E und Sonde (S/P2)	Abstand zwischen E und Hilfserder (H/C2)
20	30	50
25	50	80
30	70	100
50	100	170
70	130	200

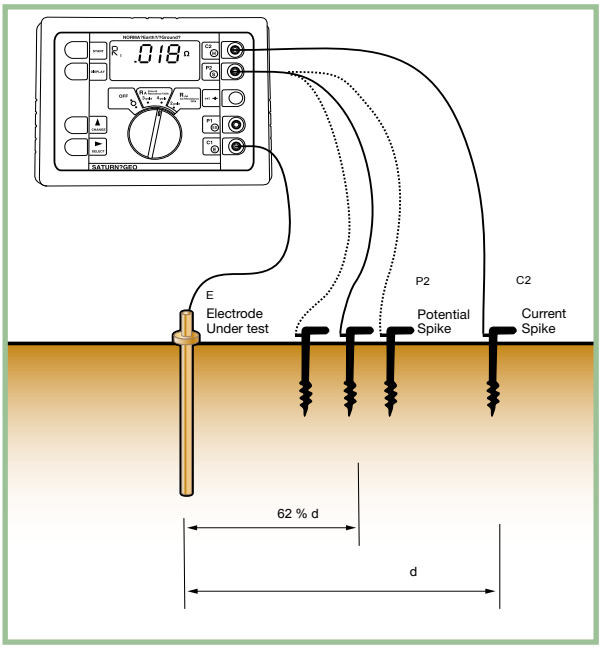

Abbildung 6: Spießpositionen für die 62%-Regel.

Distance From Electrode Under Test			Resistance
C2 (m)	P2 (m)	P2/C2	R (ohms)
100	10	10%	3.7
100	20	20%	4.4
100	30	30%	5.3
100	40	40%	5.8
100	50	50%	6.5
100	60	60%	6.8
100	70	70%	7.0
100	80	80%	7.7
100	90	90%	8.8

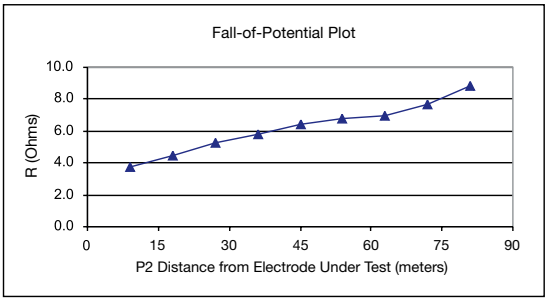

Abbildung 7: Die Erdungswiderstand kann aus dieser Kurve mithilfe des Steigungsverfahrens abgelesen werden

Platzieren Sie den Potentialspieß P2 bei ca. 62% des Abstands zwischen dem Stromspieß und dem zu prüfenden Erder, und nehmen Sie eine Messung vor. Nehmen Sie zur Überprüfung zwei weitere Messungen vor: eine mit der Potentialsonde um 6 m näher an dem zu prüfenden Erder und eine mit der Potentialsonde um 6 m weiter entfernt (siehe Abbildung 6). Wenn Sie sich im flachen Abschnitt der Spannungsfallkurve befinden, sollten die Messwerte ungefähr identisch sein, und Sie können den ersten Messwert als den gesuchten Widerstand notieren.

Das Steigungsverfahren

Bei großen Erdern oder Erdungssystemen sind besondere Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Wenn Sie die Widerstandsmesswerte für neun verschiedene Positionen der Sonde P2 graphisch dargestellt haben, und sich keine deutliche Abflachung des Graphen erkennen lässt, kann das Steigungsverfahren (auch „Tagg Slope-Verfahren" genannt) helfen, die Erdungswiderstand zu ermitteln. Abbildung 7 zeigt ein Beispiel eines Datensatzes, aus dem keine deutliche Abflachung hervorgeht.

Diese Kurve ist charakteristisch für Prüfungen, bei denen sich die Strom- und Potentialsonden nicht außerhalb des Einflussbereichs des prüfenden Erders befinden. Für eine Kurve dieser Art kann es viele Ursachen geben:

- Bei Erdungssystemen, die große Flächen abdecken, kann es schwierig sein, die Spieße in ausreichender Entfernung zu platzieren.
- Möglicherweise kann der Spieß C1 nicht am Mittelpunkt des Erders platziert werden.
- Der zur Platzierung der Spieße verfügbare Bereich kann begrenzt sein.

Wenn Sie zu den 20%-, 40%- und 60%-Punkten zwischen E und C2 Widerstandsmesswerte vorliegen haben, können Sie das Verfahren sofort anwenden. Berechnen Sie die Steigung (µ) aus drei Widerstandsmessungen bei 20%, 40% und 60% des Abstands zwischen dem zu prüfenden Erder und dem Stromspieß C2.

$$\mu = \frac{(R_{60\,\%} - R_{40\,\%})}{(R_{40\,\%} - R_{20\,\%})}$$

Sehen Sie dann in der Tabelle auf der Rückseite dieses Anwendungsberichts nach, und lesen Sie das Verhältnis P2/C2 zu dem berechneten Steigungswert µ ab. Dieser Wert beschreibt, an welcher Stelle des Graphen Sie den Erdungswiderstand ablesen können. Für die Beispieldaten aus Abbildung 7:

$$\mu = \frac{(6.8 - 5.8)}{(5.8 - 4.4)} = 0.71$$

Wenn wir in der Tabelle unter µ = 0,71 nachsehen, hat der entsprechende P2/C2-Prozentsatz den Wert 59,6%. Der ungefähre Erdungswiderstand muss demnach bei (59,6 % x 100 m), d.h. bei 59,6 m abgelesen werden. Dieser Wert liegt sehr nahe zu unserem 60%-Punkt bei 60 m, zu dem wir 6,8 Ohm ablesen. Mann kann daher annehmen, dass der Erdungswiderstand des zu prüfenden Erders ca. 6,8 Ohm beträgt.

Das selektive Verfahren

Das selektive Verfahren ist eine Variante des Spannungsfallverfahrens, die bei hochentwickelten Erdungsprüfgeräten wie dem Fluke 1623/1625 zur Verfügung steht. Prüfgeräte mit dieser Funktion können den Erdungswiderstand eines bestimmten Erders messen, ohne diesen von einem Erderfeld oder dem Fundamenterder eines Gebäudes zu trennen. Sie müssen daher nicht

auf eine Abschaltung warten, um die Prüfung vorzunehmen, und nicht die Risiken eingehen, die mit der Trennung des Erders von einer spannungsführenden Anlage einhergehen würden. Für die Platzierung von Strom- und Potentialspieß gelten dieselben Regeln wie für das Spannungsfallverfahren. Wenn die Bedingungen für die 62%-Regel erfüllt sind (siehe vorherige Seite), kann die Anzahl der Messungen reduziert werden. Andernfalls ist es ratsam, den Spannungsfall vollständig graphisch darzustellen. Wenn die Kurve keine Abflachung zeigt, können Sie das Steigungsverfahren anwenden.

Sowohl für das Spannungsfallverfahren als auch für das selektive Verfahren werden Erdspieße verwendet, um Strom einzuspeisen und den Spannungsfall zu messen. Der große Unterschied bei der selektiven Prüfung ist, dass der Prüfstrom in dem zu prüfenden Erder gemessen werden kann. Der Neutralleiter, der Fundamenterder und die Erdungselektrode sind miteinander verbunden und geerdet. Wenn Sie in dieses System aus parallelen Erdverbindungen einen Strom einspeisen, teilt sich dieser auf.

Bei einer herkömmlichen Spannungsfallprüfung wissen Sie nicht, welcher Strom zwischen einer bestimmten Erdungselektrode und der Sonde C2 fließt. Bei der selektiven Prüfung wird eine integrierte hochempfindliche Stromzange verwendet, um den Prüfstrom in dem zu prüfenden Erder genau zu messen. Abbildung 8 zeigt, wie der Stromwandler in den Prüfstromkreis eingefügt wird. Das selektive Erdungsprüfgerät filtert den Strommesswert digital, um den Einfluss von Streuströmen zu minimieren. Da es den Strom in dem zu prüfenden Erder messen kann, wird diese Elektrode praktisch isoliert und kann ohne Trennung von der Anlage oder von anderen Erdern geprüft werden.

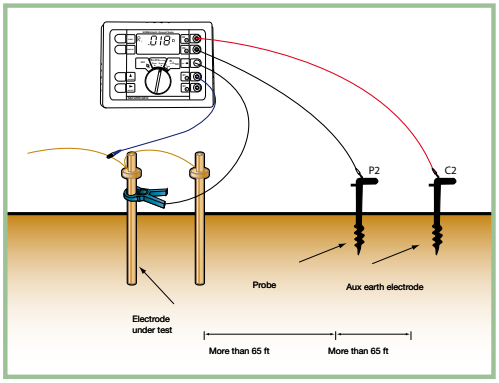

Abbildung 8: Anschlüsse für die selektive Erdermessung

Spießloses Verfahren oder Stromzangenverfahren (Erdschleifenmessung)

Das spießlose Verfahren oder Stromzangenverfahren ermöglicht die Messung des Widerstands einer Reihenschaltung von Erdern. Die Prüfung ist einfach und kann an einem Erder durchgeführt werden.

Zur Durchführung der Messung verwendet das Prüfgerät einen speziellen Wandler, der am Erdungsleiter eine Spannung mit einer spezifischen Prüffrequenz erzeugt. Ein zweiter Wandler kann die Prüffrequenz herausfiltern und den resultierenden Strom durch den Stromkreis messen.

Diese Methode wird bei einigen Spannungsfall-Prüfgeräten verwendet (wie dem Fluke 1625 oder dem Fluke 1623) sowie bei Prüfgeräten mit einzelner Stromzange, wie dem Fluke GEO 30. Abbildung 10 zeigt den Anschluss der Speise- und Messstromzangen des Fluke 1625.

Abbildung 9 zeigt das Ersatzschaltbild des Prüfstromkreises für das spießlose Verfahren. Wenn Sie einen Erder eines Gebäudes mit diesem Verfahren prüfen, prüfen Sie eigentlich einen Stromkreis mit folgenden Komponenten:

- Zu prüfender Erder
- Anschlussfahne des Erders
- Potentialausgleichsleiter
- Einen Teil des Neutralleiters des Energieversorgungsunternehmens (VNB)
- Einen Teil des Potentialausgleichsleiter
- Erdleitung des VNB (zwischen den Masten)
- Masterder des VNB

Da bei diesem Verfahren das öffentliche Stromnetz einen Teil des Schaltkreises bildet, kann sie nur nach erfolgtem Anschluss am öffentlichen Stromnetz angewendet werden. Bei diesem Verfahren wird mit der Stromzange die Integrität der elektrischen Verbindung aller obigen Komponenten geprüft. Ein ungewöhnlich hoher Messwert oder die Anzeige einer Stromkreisunterbrechung am Prüfgerät weist auf eine schlechte Verbindung von zwei oder mehr der vorgenannten

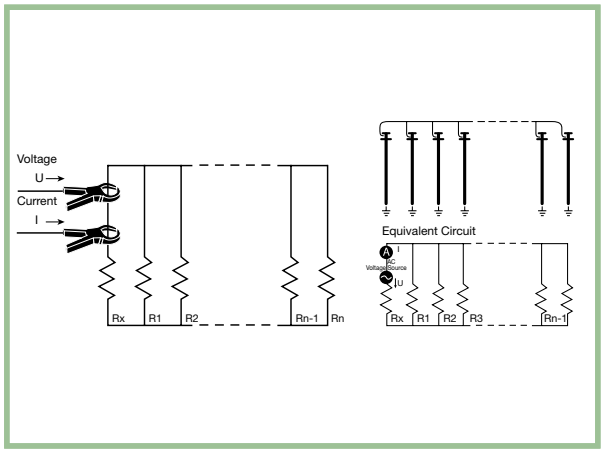

Abbildung 9: Anschlüsse für die selektive Erdungswiderstandsmessung

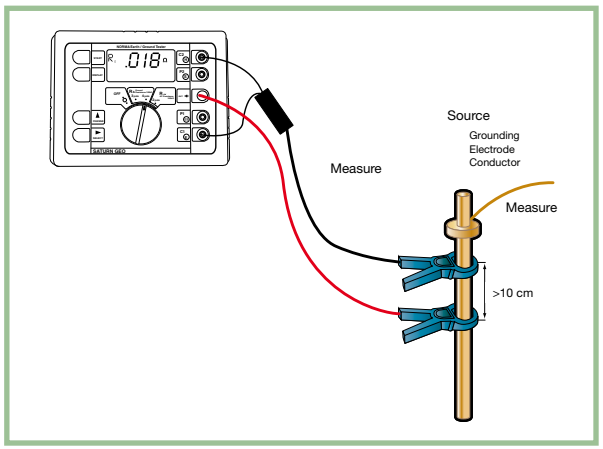

Abbildung 10: Anschließen des Saturn GEO X für eine spießlose Messung

wichtigen Komponenten hin.

Für dieses Verfahren ist parallel zu dem zu prüfenden Erder ein Pfad mit niedrigem Widerstand erforderlich. Bei den meisten Anlagen ist der Erder zu den zahlreichen Erdern des VNB parallel geschaltet. Bei diesen Erdern kann es sich um Tiefenerder, Plattenerder oder um unisolierte Neutralleiter handeln. Die Erder des VNB haben in der Regel einen sehr niedrigen Gesamtswiderstand.

Als Beispiel sollen 40 Tiefenerder mit jeweils ca. 20 Ohm und eine Verbindung dieser Erder durch einen Erdungsleiter niedrigen Widerstands angenommen werden. Der Ersatzwiderstand der 40 parallel geschalteten Erder beträgt:

$$R_{eq} = \frac{1}{40 \text{ x } {}^{1}\!/_{20}\Omega} = {}^{1}\!/_{2}\Omega$$

Da ein halbes Ohm gegenüber dem Widerstand, den wir von unserem zu prüfenden Erder erwarten, sehr wenig ist, können wir annehmen, dass der größte Teil des gemessenen Widerstands durch den Erdungswiderstand des zu prüfenden Erders entsteht.

Dieses Verfahren birgt jedoch mögliche Fallen:

- Wenn Sie im System am falschen Ort messen, messen Sie möglicherweise den Widerstand einer Leiterschleife, die sich beispielsweise aus einem Erdungsring oder einer Blitzschutzerdungsanlage ergibt. Anstelle des zu messenden Erdungswiderstands wird dann der unerwartet niedrige Widerstandswert der Leiterschleife angezeigt.
- Niedrige Widerstandswerte können sich auch durch die Wechselwirkung zweier eng benachbarter, verbundener Erder ergeben, z.B. bei im Boden befindlichen Leitungs- oder Wasserrohren usw.
- Die Qualität der Messung ist von dem Vorhandensein paralleler Pfade abhängig. Wird ein Gebäude ausschließlich von einem Generator oder Transformator versorgt, der nur über einen einzelnen Erder verfügt, trifft die Annahme mehrerer Pfade nicht zu, und die Messung zeigt die Summe des Erdungswiderstands beider Erder an. Der tatsächliche Erdungswiderstand kann dann mit diesem Verfahren nicht gemessen werden.
- Ein Problem beim Erdungssystem des Energieversorgungsunternehmens kann die Messwerte beinträchtigen.

Wenn Sie Messwerte unter 1 Ohm erhalten, sollten Sie den Aufbau in der Regel nochmals überprüfen, um sicherzustellen, dass Sie anstelle des Erdungswiderstands nicht eine Leiterschleife messen.

2-poliges Verfahren

Beim 2-poligen Verfahren wird ein „Hilfserder" verwendet, wie z.B. ein Wasserrohr. Abbildung 12 zeigt den Anschlussplan. Das Prüfgerät misst die Summe aus dem Erdungswiderstand des zu prüfenden Erders, dem Erdungswiderstand des Hilfserders und dem Widerstand der Messleitungen. Es wird angenommen, dass der Erdungswiderstand des Hilfserders sehr niedrig ist. Dies trifft bei Metallrohren ohne Kunststoffsegmente oder isolierte Verbindungsstücke vermutlich zu. Der Einfluss der Messleitungen kann durch Messung bei kurzgeschlossenen Messleitungen und Subtrahieren dieses Messwerts vom Endergebnis eliminiert werden.

Auch wenn das 2-polige Verfahren praktisch ist, muss dabei sehr sorgfältig vorgegangen werden: Ein Wasserrohr kann Elemente aus PVC enthalten, die den Messwert erheblich erhöhen können. In diesem Fall würde das 2-polige Verfahren einen übermäßig hohen Messwert ergeben.

Der Hilfserder befindet sich möglicherweise nicht außerhalb des Einflussbereichs des zu prüfenden Erders. In diesem Fall kann der Messwert niedriger als der tatsächliche Wert sein. Aufgrund der unbekannten Einflussgrößen bei diesem Verfahren ist es nur zu empfehlen, wenn das Erdungssystem und der Hilfserder bekannt sind.

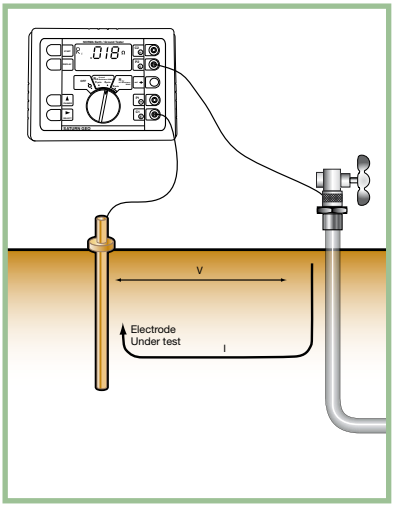

Abbildung 12: Ersatzschaltbild für die Zweipunktmessung

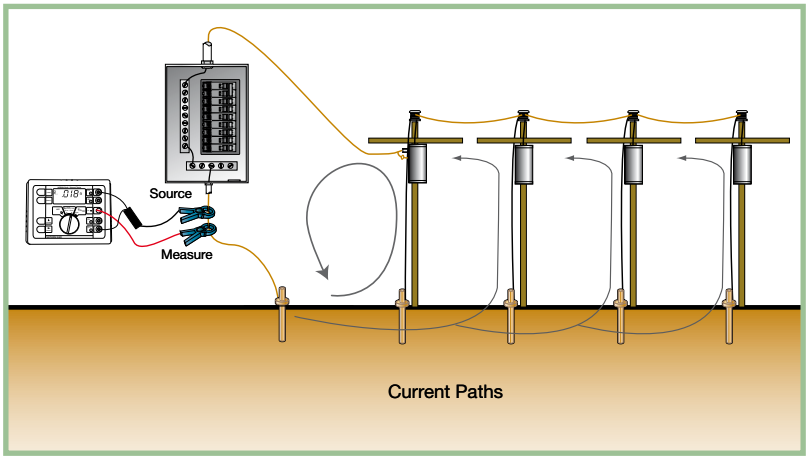

Abbildung 11: Prüfstrompfade beim spießlosen Verfahren

Zusammenfassung der Prüfverfahren für Erdungswiderstände		
	Vorteile	**Nachteile**
Spannungsfallverfahren	• Weithin anerkannt • Wenn Sie die charakteristische Kurve sehen, wissen Sie, dass die Messung brauchbar ist.	• Das Erdungssystem muss von der Anlage getrennt werden. • Möglicherweise ist rund um den Erder nicht genug Platz zum Einbringen der Spieße vorhanden.
Selektives Verfahren	• Der Erder muss nicht abgeklemmt werden. • Weithin anerkannt • Wenn Sie die charakteristische Kurve sehen, wissen Sie, dass die Messung brauchbar ist.	• Möglicherweise ist rund um den Erder nicht genug Platz zum Einbringen der Spieße vorhanden.
Spießloses Verfahren	• Einfachheit	• Es wird ein Parallelpfad mit niedriger Widerstand vorausgesetzt. • Unter Umständen werden sehr niedrige Werte angezeigt, wenn irrtümlicherweise eine Leiterschleife gemessen wird.
2-poliges Verfahren	• Einfachheit	• Die ordnungsgemäße Funktion der Hilfserders kann nicht überprüft werden. • Es kann nicht gewährleistet werden, dass außerhalb des Einflussbereichs gemessen wird.

Tabelle für das Steigungsverfahren (2 Dezimalstellen)

µ	P2/C2	µ	P2/C2	µ	P2/C2	µ	P2/C2	µ	P2/C2
	%		%		%		%		%
0.40	64.3	0.65	60.6	0.90	56.2	1.15	50.7	1.40	43.1
0.41	64.2	0.66	60.4	0.91	56.0	1.16	50.4	1.41	42.7
0.42	64.0	0.67	60.2	0.92	55.8	1.17	50.2	1.42	42.3
0.43	63.9	0.68	60.1	0.93	55.6	1.18	49.9	1.43	41.8
0.44	63.7	0.69	59.9	0.94	55.4	1.19	49.7	1.44	41.4
0.45	63.6	0.70	59.7	0.95	55.2	1.20	49.4	1.45	41.0
0.46	63.5	0.71	59.6	0.96	55.0	1.21	49.1	1.46	40.6
0.47	63.3	0.72	59.4	0.97	54.8	1.22	48.8	1.47	40.1
0.48	63.2	0.73	59.2	0.98	54.6	1.23	48.6	1.48	39.7
0.49	63.0	0.74	59.1	0.99	54.4	1.24	48.3	1.49	39.3
0.50	62.9	0.75	58.9	1.00	54.2	1.25	48.0	1.50	38.9
0.51	62.7	0.76	58.7	1.01	53.9	1.26	47.7	1.51	38.4
0.52	62.6	0.77	58.5	1.02	53.7	1.27	47.4	1.52	37.9
0.53	62.4	0.78	58.4	1.03	53.5	1.28	47.1	1.53	37.4
0.54	62.3	0.79	58.2	1.04	53.3	1.29	46.8	1.54	36.9
0.55	62.1	0.80	58.0	1.05	53.1	1.30	46.5	1.55	36.4
0.56	62.0	0.81	57.9	1.06	52.8	1.31	46.2	1.56	35.8
0.57	61.8	0.82	57.7	1.07	52.6	1.32	45.8	1.57	35.2
0.58	61.7	0.83	57.5	1.08	52.4	1.33	45.5	1.58	34.7
0.59	61.5	0.84	57.3	1.09	52.2	1.34	45.2	1.59	34.1
0.60	61.4	0.85	57.1	1.10	51.9	1.35	44.8		
0.61	61.2	0.86	56.9	1.11	51.7	1.36	44.5		
0.62	61.0	0.87	56.7	1.12	51.4	1.37	44.1		
0.63	60.9	0.88	56.6	1.13	51.2	1.38	43.8		
0.64	60.7	0.89	56.4	1.14	50.9	1.39	43.4		

Fluke. *Damit Ihre Welt intakt bleibt.*

Fluke Deutschland GmbH
Heinrich-Hertz-Straße 11
34123 Kassel
Tel.: (069) 2 22 22 02 00
Fax: (069) 2 22 22 02 01
E-Mail: info@de.fluke.nl

Technische Beratung/Hotline
Tel.: (069) 2 22 22 02 04
E-Mail: hotline@fluke.com

Fluke Vertriebsgesellschaft mbH
Mariahilfer Straße 123
1060 Wien
Tel.: (01) 928 95 00
Fax: (01) 928 95 01
E-Mail: info@as.fluke.nl

Fluke Switzerland GmbH
Industrial Division
Grindelstrasse 5
8304 Wallisellen
Tel.: 044 580 75 00
Fax: 044 580 75 01
E-Mail: info@ch.fluke.nl

Besuchen Sie uns im Internet unter:

http://www.fluke.de
http://www.fluke.at
http://www.fluke.ch

©2006 Fluke Corporation. Alle rechten vorbehalten.

Gedrucht in den Niederlanden 06/2006
Pub_ID: 11095-ger