ivkrause
www.iv-krause.de

FLUKE®

Erdungs-widerstand





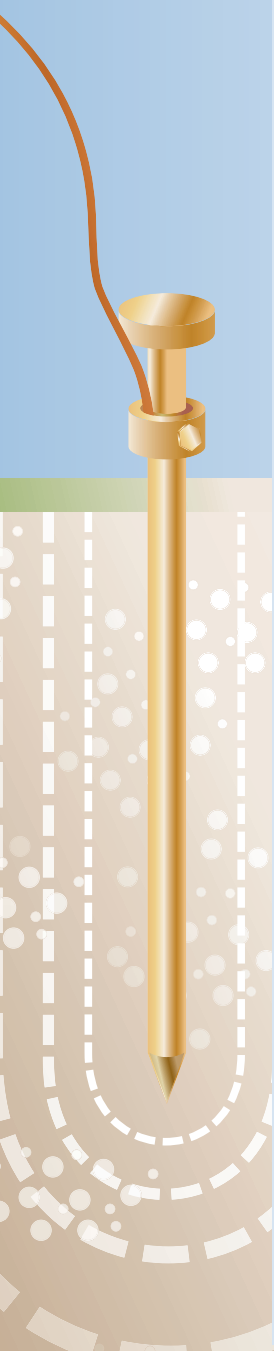
Grundlagen, Messverfahren und Anwendungs-bereiche

DIAGNOSE
zeitweilig auftretender elektrischer Probleme

VERMEIDEN
unnötiger Ausfallzeiten

LERNEN
der Sicherheitsgrund-sätze der Schutzerdung

Warum erden, warum prüfen?



Wozu erden?

Eine unzureichende Erdung trägt nicht nur zu unnötigen Ausfallzeiten bei, sondern stellt auch eine Gefahr dar und erhöht das Ausfallrisiko für Geräte.

Ohne ein effektives Erdungssystem besteht nicht nur die Gefahr eines elektrischen Schlags; es können auch Fehler an Instrumenten, Probleme bei Oberschwingungen und Leistungsfaktor sowie eine ganze Reihe anderer intermittierender Fehler auftreten. Wenn die Fehlerströme nicht durch ein ordnungsgemäß konzipiertes und instand gehaltenes Erdungssystem abgeleitet werden können, suchen diese sich andere Wege, von denen möglicherweise auch Personen betroffen sind. Die folgenden Organisationen haben Empfehlungen und/oder Normen für den Bereich Erdung veröffentlicht, um die Sicherheit zu gewährleisten:

- OSHA (Occupational Safety Health Administration)
- NFPA (National Fire Protection Association)
- ANSI/ISA (American National Standards Institute and Instrument Society of America)
- TIA (Telecommunications Industry Association)
- IEC (International Electrotechnical Commission)
- CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization)
- IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)

Eine gute Erdung ist jedoch nicht nur für die Sicherheit wichtig, sie verhindert auch Schäden an Industrieanlagen und Geräten. Ein gutes Erdungssystem steigert die Zuverlässigkeit der Geräte und vermindert die Wahrscheinlichkeit von Schäden durch Blitzschlag oder Fehlerströme. Jedes Jahr entstehen Milliardenverluste durch elektrische Brände am Arbeitsplatz. In diesen Kosten sind noch keine Kosten für Gerichtsprozesse, Personenschäden sowie unternehmensweite Produktivitätsverluste enthalten.

Warum müssen Erdungssysteme geprüft werden?

Mit der Zeit können korrosive Böden mit hohem Feuchtegrad, hohem Salzgehalt und hohen Temperaturen die Erdungsstäbe und ihre Verbindungen angreifen. Das bedeutet, dass das Erdungssystem bei der ursprünglichen Installation zwar niedrige Erdungswiderstandswerte aufweist, sein Widerstand aber allmählich zunehmen kann, wenn die Erdungsstäbe zunehmend angegriffen sind.

Erdungsmessgeräte wie z. B. die Erdschleifenmesszange Fluke 1630-2 FC sind unentbehrliche Werkzeuge zur Fehlersuche, um Ausfallzeiten zu minimieren. Bei der frustrierenden Fehlersuche bei intermittierenden elektrischen Problemen könnte das Problem mit einer schlechten Erdung oder einer schlechten Netzqualität zusammenhängen.

Daher wird dringend empfohlen, die Erder und alle Verbindungen mindestens einmal jährlich im Rahmen des normalen vorausschauenden Instandhaltungsplans zu überprüfen. Wenn bei der Durchführung der regelmäßigen Überprüfungen ein Widerstandsanstieg von mehr als 20 % gemessen wird, sollte der Techniker die Ursache ausfindig machen und den Widerstand verringern, indem er nicht mehr funktionstüchtige Erdungsstäbe austauscht oder zusätzliche Erdungsstäbe installiert.

Was ist eine Erdung und welchen Zweck hat sie?

Artikel 100 des US-amerikanischen NEC (National Electrical Code) definiert eine Erdung als: „Eine absichtlich oder unabsichtlich hergestellte leitende Verbindung zwischen einem Stromkreis oder einem elektrischen Gerät und der Erde oder einem leitfähigen Körper, der zur Erdverbindung dienen kann." Grundsätzlich unterscheiden wir Schutzerdung und Funktionserdung: Schutzerdung bezeichnet eine beabsichtigte Verbindung zu einem Erdungssystem, z. B. einem Fundamenterder. Sie dient der elektrischen Sicherheit zum Schutz von Personen und Tieren. Die Funktions- oder auch Betriebserdung gewährleistet eine ordnungsgemäße Erdung elektrischer Geräte und dient zum sicheren Betrieb der Anlage. Diese beiden Erdungssysteme sind voneinander getrennt und sind nur an einer Stelle miteinander verbunden. Dadurch werden Unterschiede des Spannungspotenzials durch einen möglichen Überschlag bei einem Blitzschlag verhindert. Erdung dient nicht nur dem Schutz von Personen, Gebäuden und Geräten, sondern darüber hinaus der sicheren Ableitung von Fehlerströmen, Blitzschlägen, statischen Entladungen, elektromagnetischen Störungen und Hochfrequenzstörungen.

Was ist ein guter Wert für den Erdungswiderstand?

Es herrschen viele Unklarheiten darüber, wie eine gute Erdung aufgebaut sein muss und wie hoch der Erdungswiderstand sein sollte. Im Idealfall sollte der Erdungswiderstand 0 Ohm betragen.

Es gibt keinen genormten Erdungswiderstands-Schwellenwert, der von allen Institutionen anerkannt wird. NFPA und IEEE empfehlen einen Erdungswiderstandswert von maximal 5,0 Ohm.

NEC erklärt hierzu: „Stellen Sie sicher, dass die Systemimpedanz zur Erde weniger als 25 Ohm beträgt, spezifiziert in NEC 250.56. In Einrichtungen mit empfindlichen Geräten sollte der Wert maximal 5,0 Ohm betragen."

Die Anforderungen in anderen Ländern sind unterschiedlich, so bewertet DIN VDE Erdungswiderstände von < 10 Ohm als gut, Telekom oder Mobilfunkbetreiber schreiben < 5 Ohm vor.

Das Ziel sollte es sein, einen Erdungswiderstand zu erreichen, der so klein wie möglich ist und dabei wirtschaftlich und physikalisch sinnvoll ist.



Warum prüfen? Korrosive Böden.



Wozu erden? Blitzschlag.



Prüfen Sie den Zustand Ihres Erdungssystems mit dem Fluke 1625-2.

Inhaltsverzeichnis

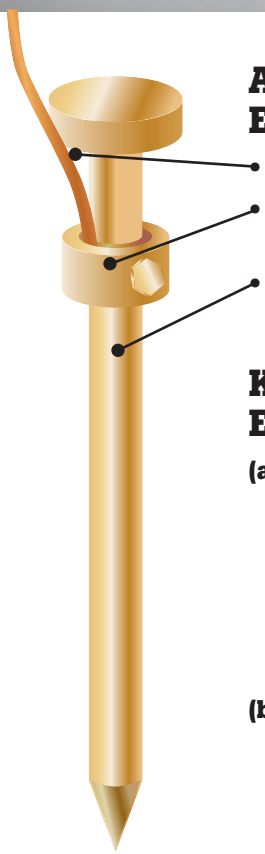
Wozu erden? Warum prüfen? 2

Grundlagen der Erdung 4

Verfahren der Erdungsmessung 6

Messung des Erdwiderstands 12





Aufbau eines Erders

- Erdungsleiter
- Verbindungselemente zwischen Erdungsleiter und Erdungselektrode
- Erdungselektrode

Komponenten des Erdungswiderstands

(a) Die Erdungselektrode und die Verbindungselemente zum Erdungsleiter

Deren Widerstände sind im Normalfall sehr niedrig. Erdungsstäbe oder Erdungsbänder bestehen in der Regel aus einem gut leitfähigen/niederohmigen Werkstoff wie Kupfer oder Stahl.

(b) Der Übergangswiderstand der Erdungselektrode zum umgebenden Erdreich

Das National Institute of Standards (eine staatliche Behörde innerhalb des US-Handelsministeriums) hat nachgewiesen, dass dieser Widerstand fast vernachlässigbar ist, vorausgesetzt dass die Erdungselektrode frei von Farbe und Fett usw. ist und einen guten Kontakt mit der umgebenden Erde hat.

(c) Der Widerstand des umgebenden Erdreichs

Die Erdungselektrode ist von Erde umgeben, die konzeptionell aus konzentrischen Hüllen besteht, die alle die gleiche Dicke aufweisen. Die Hüllen, die am dichtesten an der Erdungselektrode liegen, weisen die kleinste Fläche auf, also haben sie den größten Widerstand. Jede nachfolgende Hülle weist eine größere Fläche auf und hat somit einen kleineren Widerstand. Schließlich wird der Punkt erreicht, an dem die zusätzlichen Hüllen dem Boden um die Erdungselektrode herum nur wenig Widerstand bieten.

Auf Grundlage dieser Informationen sollten wir uns auf Mittel und Wege konzentrieren, den Erdungswiderstand bei der Installation des Erdungssystems zu reduzieren.

Wodurch wird der Erdungswiderstand beeinflusst?

Zunächst erfordert der NEC Code (1987, 250-83-3) eine Mindestlänge der Erdungselektrode von 2,5 Metern, die mit dem Erdboden in Kontakt sein muss. Es gibt jedoch vier Variablen, die den Erdungswiderstand eines Erdungssystems beeinflussen:

1. Länge/Tiefe der Erdungselektrode
2. Durchmesser der Erdungselektrode
3. Anzahl der Erdungselektroden
4. Aufbau des Erdungssystems

Länge/Tiefe der Erdungselektrode

Eine äußerst effektive Möglichkeit, den Erdungswiderstand zu reduzieren, ist, die Erdungselektrode tiefer in den Boden zu treiben. Der Erdboden hat jedoch keinen einheitlichen spezifischen Widerstand, daher ist der Erdungswiderstand unvorhersehbar. Es ist wichtig, die Erdungselektrode unterhalb der Frostgrenze zu installieren. Dies ist notwendig, damit der Erdwiderstand nicht mehr als nötig durch Frost der umgebenden Erde beeinflusst wird.

Als Faustregel gilt, dass der Erdungswiderstand um weitere 40 % verringert werden kann, wenn die Länge der Erdungselektrode verdoppelt wird. Es gibt Situationen, in denen es physikalisch unmöglich ist, die Erdungsstäbe tiefer zu treiben – Böden mit Felsen, Granit, usw. Das Einschlämmen von Erdungsstäben im Felsen mit Zement verbessert den Erdungswiderstand. Meistens bedient man sich aber alternativer Erdungen, z. B. durch Flächenerder.

Durchmesser der Erdungselektrode

Ein größerer Durchmesser der Erdungselektrode hat nur geringen Einfluss auf die Verringerung des Erdungswiderstandes. Wenn beispielsweise der Durchmesser verdoppelt wird, würde der Erdungswiderstand lediglich um 10 % reduziert werden.

Anzahl der Erdungselektroden

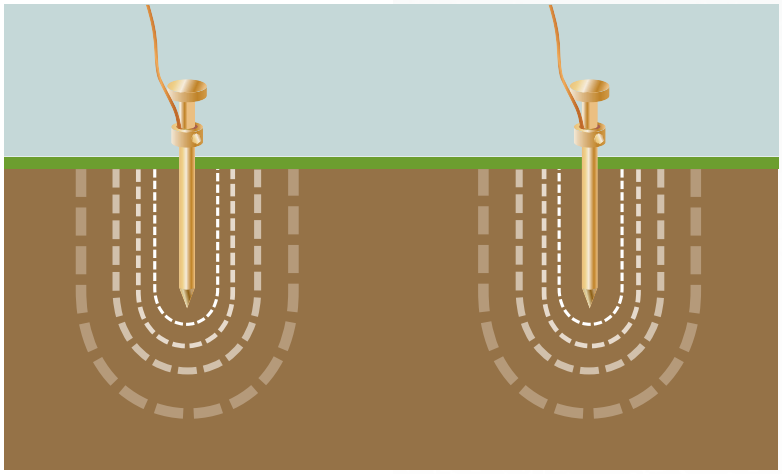
Eine weitere Möglichkeit, den Erdungswiderstand zu verringern, ist die Verwendung von mehrfachen Erdungselektroden. Bei diesem Aufbau werden mehrere Erdungselektroden in den Boden getrieben und parallel miteinander verbunden, um den Erdungswiderstand zu verringern. Um eine Wirksamkeit der zusätzlichen Erdungselektroden zu erreichen, sollte der Abstand der Stäbe mindestens gleich der Tiefe der eingetriebenen Stäbe sein. Ohne den korrekten Abstand der Erdungselektroden überschneiden sich ihre Einflussbereiche, und der Erdungswiderstand nimmt nicht ab.

Verwenden Sie die Erdungswiderstandstabelle unten als Hilfestellung bei der Installation von Erdungsstäben, die Ihre Anforderungen an den Widerstand erfüllen. Bedenken Sie jedoch, dass diese Angaben nur als Faustregel dienen können, da Erdböden in der Regel unterschiedliche Schichten aufweisen und selten homogen sind. Die Widerstandswerte können stark voneinander abweichen.

Aufbau des Erdungssystems

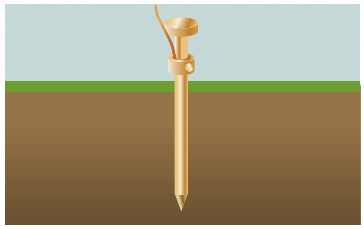
Einfache Erdungssysteme bestehen aus einer Erdungselektrode, die in den Boden getrieben wird. Die Nutzung einer Erdungselektrode ist die häufigste Erdungsmethode bei kleinen Gebäuden und befindet sich im Normalfall außerhalb des Gebäudes. Erdungssysteme für Wohnblocks oder Firmengebäude verfügen über mehrere miteinander verbundene Erdungsstäbe oder Erdungsschleifen. Bei Umspannwerken und Sendemasten werden typischerweise Erdungssysteme mit Maschen-, Gitternetzen oder Erdungsplatten installiert.

Komplexe Netzwerke führen zu einer drastischen Erhöhung der Kontaktfläche zur umgebenden Erde und verringern so den Erdungswiderstand.

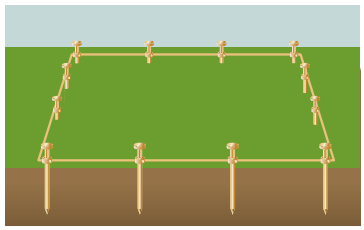


Jeder Erder hat seinen eigenen „Wirkbereich".

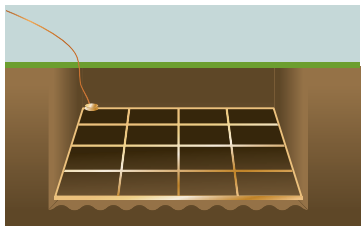
Erdungssysteme



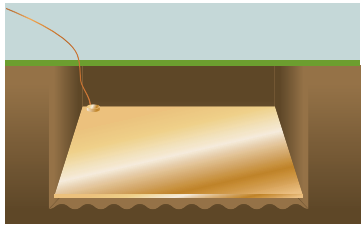
Einzelne Erdungselektrode (Einfach-Erder)



Mehrere verbundene Erdungselektroden



Gitternetzwerk



Erdungsplatte

Bodenart	Erd-widerstand R_E	Erdungswiderstand					
		Tiefe des Erders (in Meter)			Erdungsband (in Meter)		
	ΩM	3	6	10	5	10	20
Sehr feuchter Boden, sumpfartig	30	10	5	3	12	6	3
Ackerland, Lehm- und Tonböden	100	33	17	10	40	20	10
Sandiger Lehmboden	150	50	25	15	60	30	15
Feuchter Sandboden	300	66	33	20	80	40	20
Beton 1:5	400	–	–	–	160	80	40
Feuchter Kies	500	160	80	48	200	100	50
Trockener Sandboden	1000	330	165	100	400	200	100
Trockener Kies	1000	330	165	100	400	200	100
Steiniger Boden	30.000	1000	500	300	1200	600	300
Felsiger Boden	10^7	–	–	–	–	–	–

Welche Verfahren der Erdungsmessung gibt es?

Es gibt vier Verfahren der Erdungsmessung:

- **Erdwiderstandsmessung** (mit Spießen)
- **Strom-/Spannungsverfahren** (mit Spießen)
- **Selektive Erdungsmessung** (mit einer Zange und Spießen)
- **Erdschleifenmessung** (spießlos, mit zwei Zangen)

Messung des Erdwiderstands

Gründe für die Bestimmung des Erdwiderstands

Die Messung des Erdwiderstands ist insbesondere dann sinnvoll, wenn Sie ein geeignetes Erdungssystem für neue Installationen entwickeln (Anwendungen auf der "grünen Wiese"). Im Idealfall finden Sie eine Stelle mit dem geringstmöglichen Widerstand. Aber, wie schon erwähnt, können Sie schlechten Bodenverhältnissen mit gut durchdachten Erdungssystemen entgegenwirken.

Die Zusammensetzung des Erdbodens, der Feuchtigkeitsgehalt und die Temperatur haben Einfluss auf den Erdwiderstand. Ein Boden ist selten homogen, und der Erdwiderstand kann sich je nach geografischer Lage und Tiefe unterscheiden. Der Feuchtigkeitsgehalt ändert sich mit der Jahreszeit und variiert abhängig von der Anordnung der Bodenschichten und der Tiefe des Grundwasserspiegels. Da Erdboden und Wasser in tieferen Schichten in der Regel gleichmäßiger sind, wird empfohlen, die Erdungsstäbe so tief wie möglich zu treiben, vorzugsweise bis in das Grundwasser. Außerdem sollten Erdungsstäbe in einem Bereich mit stabilen Temperaturen, zum Beispiel unterhalb der Frostgrenze, installiert werden.

Ein effektives Erdungssystem sollte so ausgelegt sein, dass es ungünstigsten Bedingungen standhält.

Wie berechne ich den spezifischen Erdwiderstand?

Das nachfolgend beschriebene Messverfahren bringt die allgemein akzeptierte Wenner-Methode zur Anwendung, die 1915 von Dr. Frank Wenner, Mitarbeiter des US Bureau of Standards, entwickelt wurde. (F. Wenner, A Method of Measuring Earth Resistivity; Bull, National Bureau of Standards, Bull 12(4) 258, S. 478–496; 1915/16.)

Die Formel lautet:

$\rho = 2 \pi A R$

(ρ = spezifischer Erdwiderstand in Ωm)

$\pi = 3{,}1416$

A = der Abstand zwischen den Elektroden in m

R = der mit dem Messgerät erfasste Widerstandswert in Ω

Beispiel: Sie möchten für das Erdungssystem Erdstäbe von 3 m Länge installieren. Um den spezifischen Erdwiderstand in 3 m Tiefe zu berechnen, ist wie auf der folgenden Seite beschrieben ein Mindestabstand von 9 m zwischen den Prüfelektroden erforderlich.

Starten Sie zur Messung des spezifischen Erdwiderstands den Fluke 1625-2 und lesen Sie den Widerstandswert in Ohm ab. In diesem Fall nehmen wir an, dass die Widerstandsmessung einen Wert von 100 Ω ergibt. Wir kennen jetzt die folgenden Größen:

A = 9 Meter und

R = 100 Ω

Der spezifische Erdwiderstand lässt sich nun wie folgt berechnen:

$\rho = 2 \times \pi \times A \times R$

$\rho = 2 \times 3{,}1416 \times 9\ m \times 100\ \Omega$

$\rho = 5655\ \Omega m$

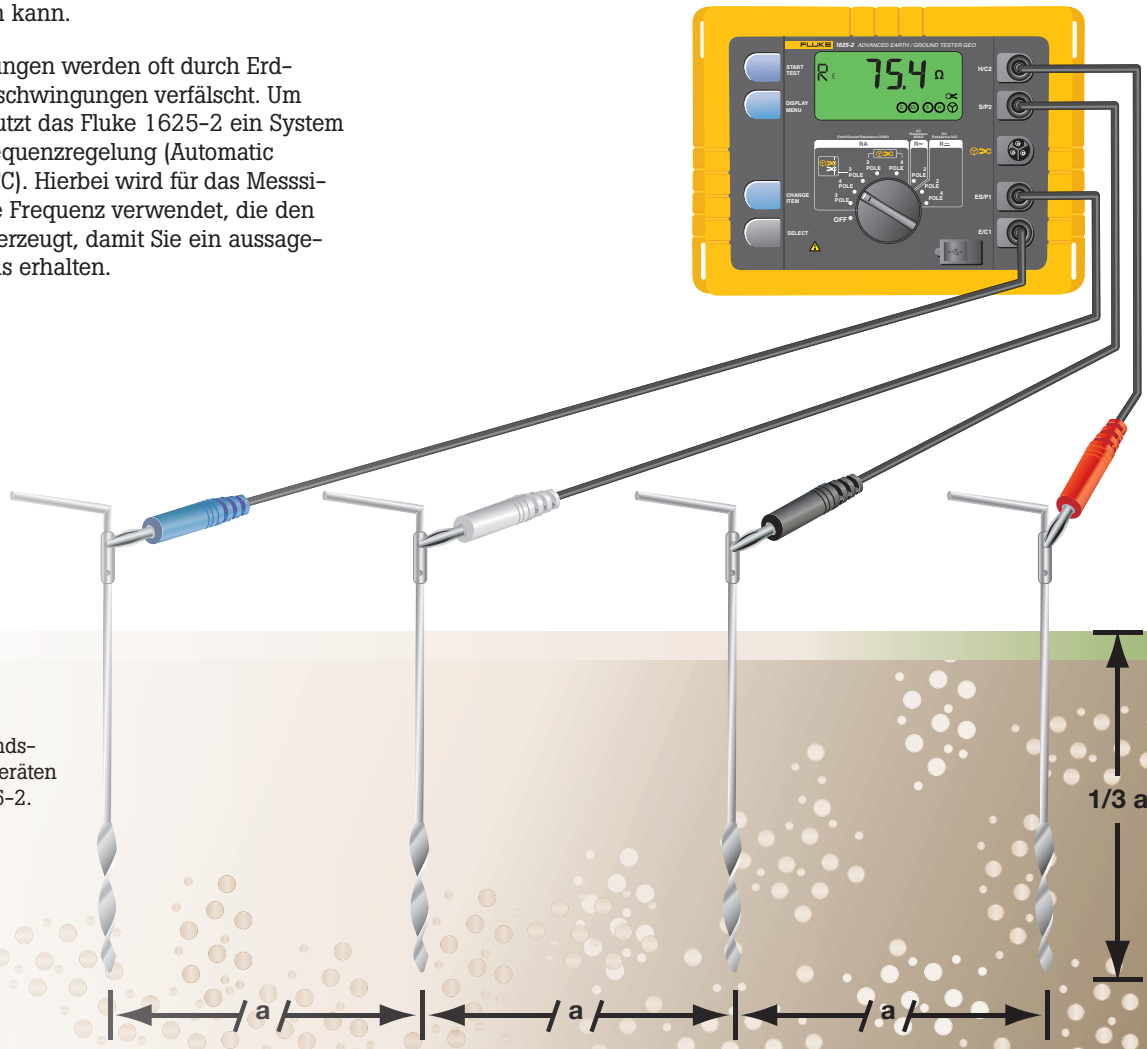
Wie messe ich den Erdwiderstand?

Um den Erdwiderstand zu messen, schließen Sie das Erdungsmessgerät wie unten gezeigt an.

Wie Sie sehen können, werden vier Erdungsspieße auf einer geraden Linie und in gleichen Abständen zueinander platziert. Der Abstand der Erdungsspieße sollte mindestens das Dreifache der Spießtiefe betragen. Wenn also die Tiefe der einzelnen Erdspieße 30 cm beträgt, muss der Abstand zwischen den Spießen mindestens 90 cm betragen. Das Erdungsmessgerät Fluke 1625-2 erzeugt einen bekannten Strom durch die beiden äußeren Erdspieße, und zwischen den beiden inneren Erdspießen wird der Spannungsfall gemessen. Mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes (U = I x R) berechnet das Fluke Messgerät automatisch den Erdwiderstand.

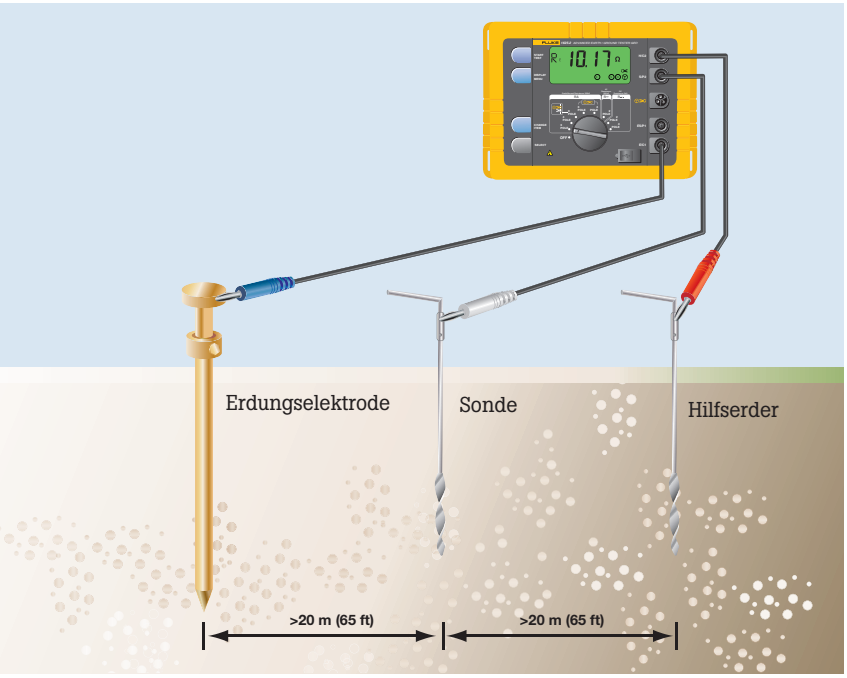
Da die Messergebnisse häufig durch Metallteile, wasserführende Schichten usw. im Boden verfälscht werden oder ungültig sind, werden zusätzliche Messungen empfohlen, wobei die Achsen der Erdspieße um 90 Grad gedreht werden. Durch die mehrfache Änderung der Tiefen und Abstände kann ein Profil erstellt werden, das Aufschluss über ein geeignetes Erdungssystem geben kann.

Erdwiderstandsmessungen werden oft durch Erdströme und ihre Oberschwingungen verfälscht. Um dies zu verhindern, nutzt das Fluke 1625-2 ein System zur automatischen Frequenzregelung (Automatic Frequency Control, AFC). Hierbei wird für das Messsignal automatisch eine Frequenz verwendet, die den geringsten Störanteil erzeugt, damit Sie ein aussagekräftiges Messergebnis erhalten.



Aufbau zur Erdwiderstandsmessung mit den Messgeräten Fluke 1623-2 oder 1625-2.

Welche Verfahren der Erdungsmessung gibt es?



Messung mit Strom-/ Spannungsverfahren (Spannungsfallverfahren)

Die Messung mittels des Spannungsfallverfahrens wird angewandt, um die Fähigkeit eines Erdungssystems oder einer einzelnen Erdungselektrode zu messen, an einem gegebenen Ort Energie abzubauen.

Wie funktioniert das Spannungsfallverfahren?

Zunächst muss die Verbindung der entsprechenden Erdungselektrode zur Anlage unterbrochen werden. Dann wird das Messgerät mit der Erdungselektrode verbunden. Für die 3-polige Spannungsfallmessung werden anschließend zwei Erdspieße (ein Hilfserder, eine Sonde) so in den Erdboden gesetzt, dass sie eine von der Erdungselektrode wegführende, gerade Linie bilden. Normalerweise ist ein Abstand von 20 Metern ausreichend. Weitere Angaben zur Positionierung der Erdspieße erhalten Sie im nächsten Abschnitt.

Das Erdungsmessgerät Fluke 1625-2 erzeugt einen bekannten Strom zwischen dem äußeren Spieß (Hilfserder) und der Erdungselektrode, während zwischen dem mittleren Spieß (Sonde) und der Erdungselektrode der Spannungsfall gemessen wird. Mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes (U = I x R) berechnet das Messgerät automatisch den Widerstand der Erdungselektrode.

Verbinden Sie das Erdungsmessgerät wie in der Abbildung dargestellt. Drücken Sie auf START und lesen Sie den Widerstandswert R_E ab. Dies ist der tatsächliche Wert der geprüften Erdungselektrode. Befindet sich die Erdungselektrode in Parallel- oder Reihenschaltung mit anderen Erdstäben, so ist R_E der Gesamtwert aller Widerstände.

Wie werden die Erdspieße positioniert?

Um bei der Erdwiderstandsmessung mit 3 Leitern maximale Genauigkeit zu erzielen, muss die Sonde außerhalb des Wirkbereichs der gemessenen Erdungselektrode und des Hilfserders positioniert werden.

Wenn Sie die Sonde nicht außerhalb des Wirkbereichs positionieren, überlappen sich die effektiven Widerstandsbereiche und machen die vorgenommenen Messungen ungültig. Die folgende Tabelle kann als Leitfaden für die richtige Positionierung von Sonde (innerer Spieß) und Hilfserder (äußerer Spieß) dienen.

Um die Genauigkeit der Messergebnisse zu überprüfen und sicherzustellen, dass sich die Erdspieße außerhalb der Wirkbereiche befinden, versetzen Sie den inneren Spieß (Sonde) jeweils um 1 Meter in beide Richtungen und nehmen erneute Messungen vor. Ergibt sich eine deutliche Messwertänderung (30 %), müssen Sie den Abstand zwischen der geprüften Erdungselektrode, dem inneren Spieß (Sonde) und dem äußeren Spieß (Hilfserder) so lange vergrößern, bis die Messwerte bei Versetzung der Sonde weitgehend konstant bleiben.

Tiefe der Erdungselektrode	Abstand zur Sonde	Abstand zum Hilfserder
2 m	15 m	25 m
3 m	20 m	30 m
6 m	25 m	40 m
10 m	30 m	50 m

Selektive Erdungsmessung

Das selektive Messverfahren ähnelt dem Spannungsfallverfahren und erlaubt die gleichen Messungen, ist jedoch viel sicherer und einfacher. Der Grund dafür besteht darin, dass die relevante Erdungselektrode bei der selektiven Messung nicht von der Anlage getrennt werden muss. Da eine Trennung der Erdungselektrode nicht erforderlich ist, bringt sich der Techniker nicht selbst in Gefahr und gefährdet auch keine anderen Personen oder elektrischen Geräte innerhalb eines nicht geerdeten Gebäudes.

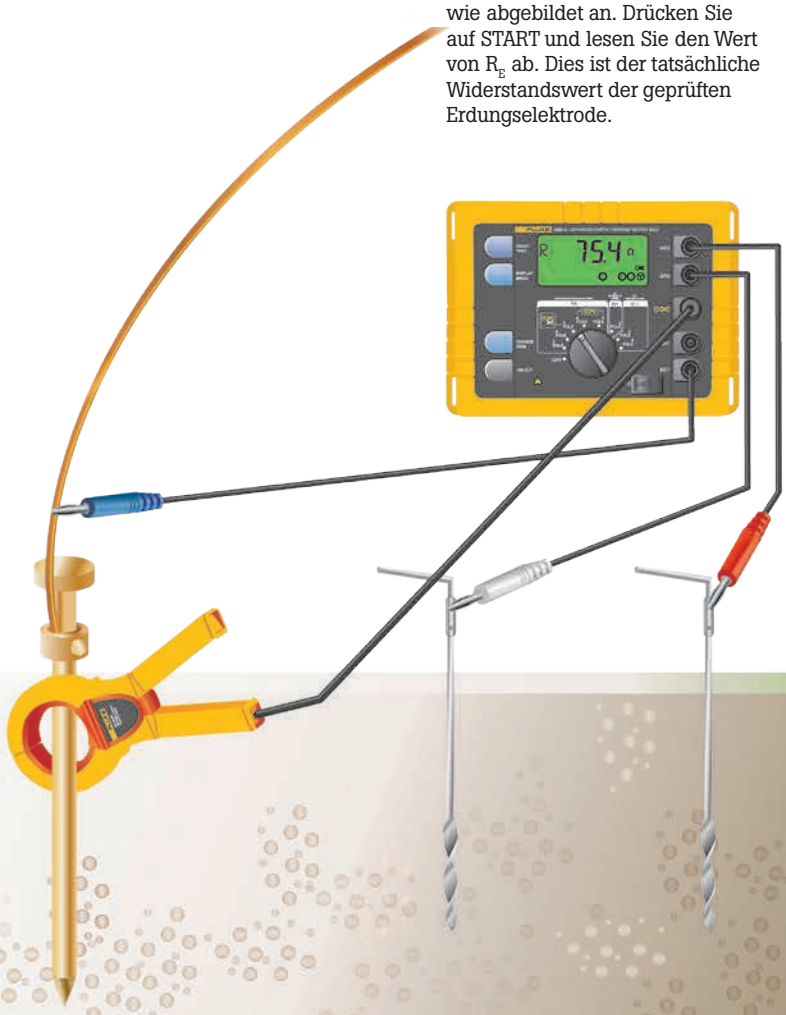
Wie bei der SpannungsFALLmessung werden zwei Erdspieße so in den Boden gesetzt, dass sie zusammen mit der Erdungselektrode eine Linie bilden. Normalerweise ist ein Abstand von 20 Metern ausreichend. Das Messgerät wird dann mit der entsprechenden Erdungselektrode verbunden. Dies hat den Vorteil, dass die Verbindung zur Anlage nicht unterbrochen werden muss. Stattdessen wird eine spezielle Messzange um die Erdungselektrode gelegt, wodurch Einflüsse von Parallelwiderständen innerhalb des Erdungssystems ausgeschlossen werden und nur die jeweilige Erdungselektrode gemessen wird.

Wie zuvor erzeugt das Erdungsmessgerät Fluke 1625-2 einen bekannten Strom zwischen dem äußeren Spieß (Hilfserder) und der Erdungselektrode, während zwischen dem mittleren Spieß (Sonde) und der Erdungselektrode der Spannungsfall gemessen wird. Mit der Stromzange wird nur der Strom gemessen, der durch die relevante Erdungselektrode fließt. Der erzeugte Strom fließt auch durch alle weiteren, parallelen Widerstände, doch nur der über die Zange gemessene Strom durch die relevante Erdungselektrode wird zur Berechnung des Widerstands (U = I x R) herangezogen.

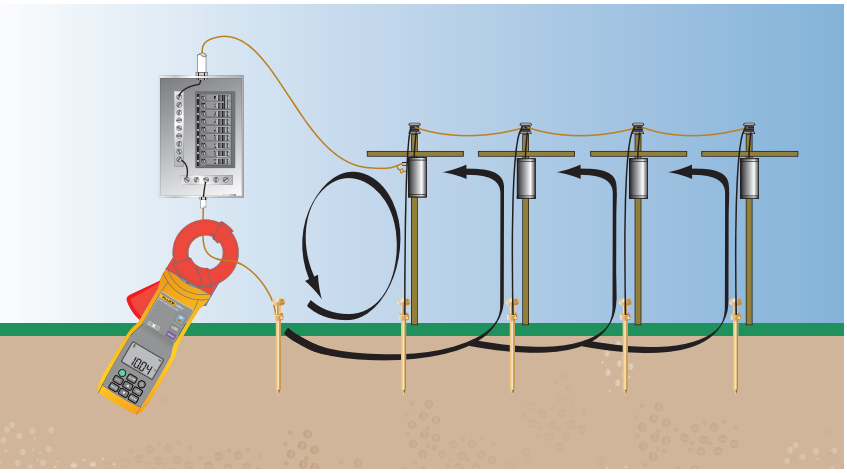
Zur Ermittlung des Gesamtwiderstandes des Erdungssystems muss der Widerstand jeder Erdungselektrode gemessen werden, indem die Stromzange um jede einzelne Erdungselektrode gelegt wird. Der Gesamtwiderstand des Erdungssystems kann dann berechnet werden.

Die Widerstandsprüfung einzelner Erdungselektroden von Hochspannungsmasten mit hoch angebrachten Erdungsleitern oder Erdungsseilen erfordern eine Auftrennung dieser Leiter. Ist der Mast mehrfach geerdet, so müssen alle Leiter einzeln aufgetrennt und geprüft werden. Hierfür wird als optionales Zubehör für das Messgerät Fluke 1625-2 ein Zangenstromwandler mit 320 mm Durchmesser angeboten, mit der man die Einzelwiderstände an den jeweiligen Beinen des Masts messen kann, ohne die Erdungsleiter oder Erdungsseile aufzutrennen.

Schließen Sie das Erdungsmessgerät wie abgebildet an. Drücken Sie auf START und lesen Sie den Wert von R_E ab. Dies ist der tatsächliche Widerstandswert der geprüften Erdungselektrode.



Welche Verfahren der Erdungsmessung gibt es?



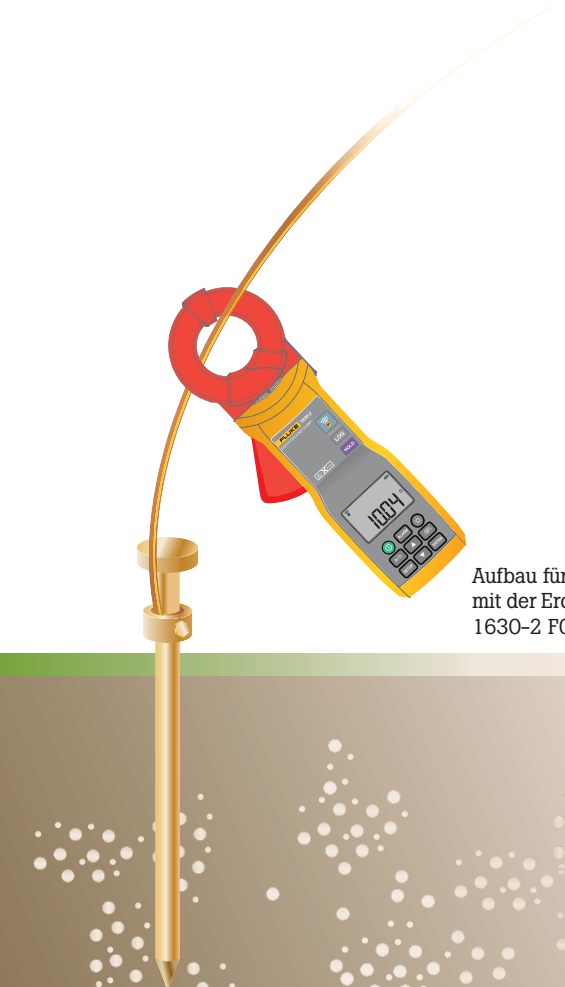
Prüfstrompfade beim spießlosen Messverfahren mit der Erdschleifenmesszange 1630-2 FC

Spießlose Erdungsmessung

Mit der Erdschleifenmesszange Fluke 1630-2 FC können Erdschleifenwiderstände von mehrfach geerdeten Systemen mittels der spießlosen Erdungsmessung gemessen werden. Bei diesem Verfahren kann die gefährliche und zeitraubende Aufgabe, die parallelen Erdungen zu trennen, ebenso entfallen wie die Suche nach geeigneten Positionen für Sonden und Hilfserder. Sie können auch Erdungsmessungen innerhalb von Gebäuden, auf Strommasten und überall dort vornehmen, wo kein Zugang zum Erdreich möglich ist.

Die Erdschleifenmesszange wird am Tiefenerder oder Verbindungskabel angebracht. Es werden keine Erdspieße verwendet. Eine bekannte Spannung wird von der einen Seite der Zange induziert, und der Strom wird von der anderen Seite gemessen. Das Zangenmessgerät bestimmt den Erdschleifenwiderstand an diesem Staberder automatisch. Dieses Verfahren ist besonders bei mehrfach geerdeten Systemen nützlich, die üblicherweise in gewerblich genutzten Einrichtungen und in Industriebetrieben zu finden sind. Wenn nur ein Erdungspfad existiert, wie dies in vielen Wohnhäusern der Fall ist, erbringt das spießlose Verfahren keinen akzeptablen Wert. In diesem Fall muss die Prüfung mittels des Spannungsfallverfahrens erfolgen.

Die Funktion des Fluke 1630-2 FC beruht auf dem Prinzip, dass bei parallelen bzw. mehrfach geerdeten Systemen der Netzwiderstand aller Erdungspfade im Vergleich zu den einzelnen, hier gemessenen Pfaden sehr gering ist. Für den Netzwiderstand aller parallelen Rückleitungswiderstände lässt sich demnach der Wert Null annehmen. Bei der spießlosen Messung wird also nur der Widerstand einzelner Erdungsstäbe parallel zum Erdungssystem gemessen. Ist das Erdungssystem nicht parallel zur Erde, haben Sie entweder einen offenen Stromkreis oder Sie messen den Erdschleifenwiderstand.



Aufbau für spießloses Messverfahren mit der Erdschleifenmesszange 1630-2 FC.

Erdungsimpedanzmessungen

Wenn Sie die möglichen Kurzschlussströme in Kraftwerken und anderen hochenergetischen Anlagen ermitteln wollen, ist die Bestimmung der komplexen Erdungsimpedanz von Bedeutung. Diese setzt sich aus induktiven und kapazitiven Elementen zusammen. Da Induktivität und Widerstände in den meisten Fällen bekannt sind, lässt sich die Impedanz durch eine komplexe Berechnung ermitteln.

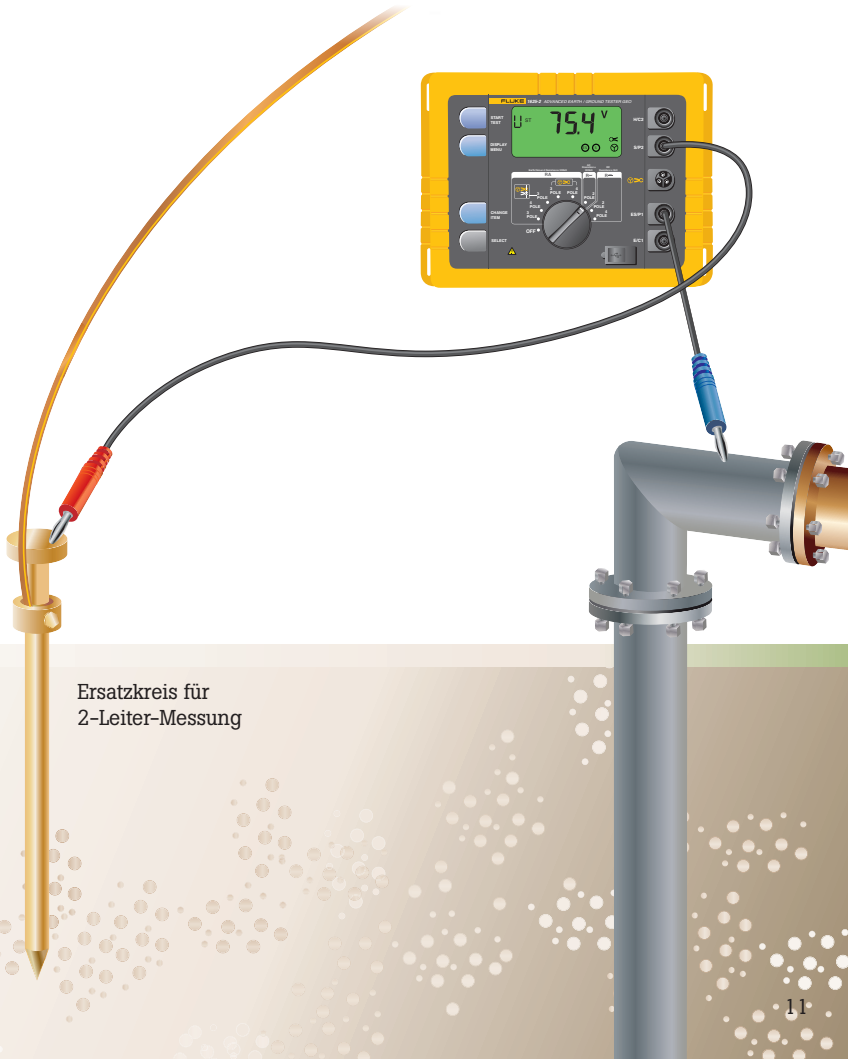
Da die Impedanz frequenzabhängig ist, verwendet das Erdungsmessgerät Fluke 1625-2 ein 55-Hz-Signal, das der normalen Betriebsfrequenz möglichst nahe ist, zur Berechnung. Dies gewährleistet, dass die Messung dem Wert bei der tatsächlichen Betriebsfrequenz weitgehend entspricht. Mit dieser Funktion des Fluke 1625-2 ist eine genaue direkte Messung der Erdungsimpedanz möglich.

Techniker von Versorgungsunternehmen, die Übertragungsleitungen prüfen, sind an zwei Dingen interessiert: dem Erdungswiderstand für den Fall eines Blitzschlags und der Impedanz des Gesamtsystems für den Fall eines Kurzschlusses an einer bestimmten Stelle in der Leitung. Ein Kurzschluss bedeutet in diesem Zusammenhang, dass sich eine spannungsführende Leitung löst und die Metallstreben des Masts berührt.

2-Leiter-Messung des Erdungswiderstands

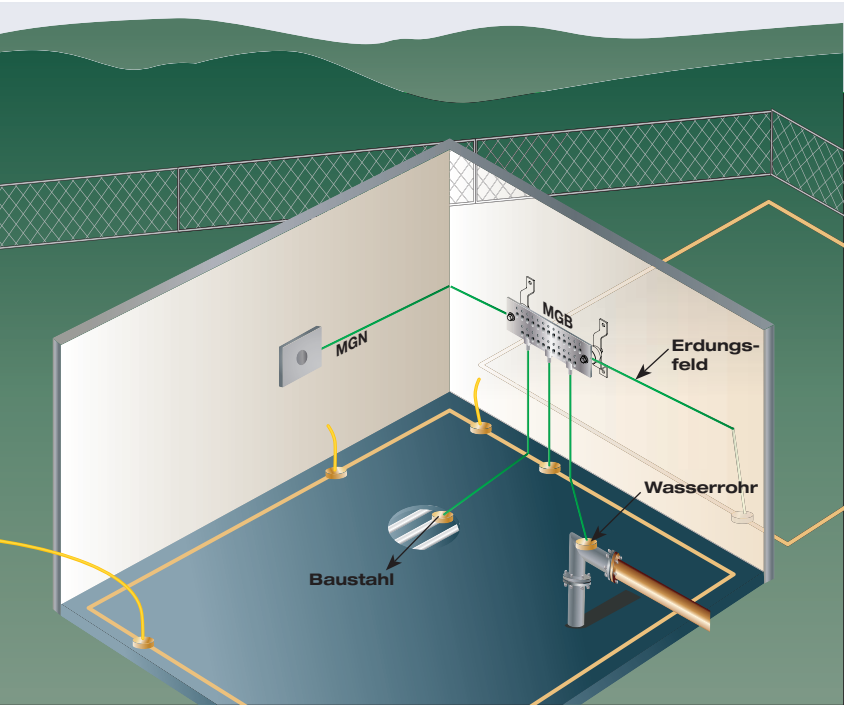
Wenn das Eintreiben von Erdspießen nicht zielführend oder unmöglich ist, haben Sie mit den Messgeräten Fluke 1623-2 und 1625-2 die Möglichkeit, 2-Leiter-Erdungswiderstands- und Durchgangsmessungen durchzuführen – siehe unten.

Um diese Messungen durchzuführen, benötigt der Techniker Zugang zu einem bekannt gut geerdetem Punkt, bspw. zu einem Wasserleitungsrohr. Dieses sollte groß genug sein, aus Metall und keine isolierenden Anschlüsse, Verbindungen oder Flansche aufweisen. Im Gegensatz zu vielen anderen Messgeräten führen die Geräte Fluke 1623-2 und 1625-2 diese Messung mit einem relativ hohen Strom (Kurzschlussstrom > 250 mA) durch, um stabile Ergebnisse zu gewährleisten.



Ersatzkreis für
2-Leiter-Messung

Messung des Erdungswiderstands



Grundstruktur eines typischen großen Gebäudes.

In großen Gebäuden und Anlagen

Bei der Erdungsprüfung in großen Gebäuden und Anlagen sind drei verschiedene Messungen erforderlich.

Vor dem Messen müssen Sie feststellen, wo sich die Haupterdungsschiene (MGB) der Zentrale befindet, und ermitteln, welche Art von Erdungssystem vorliegt. Wie auf dieser Seite zu sehen ist, gehen von der Haupterdungsschiene Erdungskabel ab, und zwar an:

- mehrfach geerdete Neutralleiter (MGN) oder Einspeisungen
- Erdungsfeld
- Wasserleitung und
- Fundamenterdung

Als Erstes führen Sie eine spießlose Überprüfung an jedem einzelnen Erdungskabel durch, das von der Haupterdungsschiene abgeht. Dadurch wird festgestellt, ob alle Erdungskabel verbunden sind, vor allem der mehrfach geerdete Neutralleiter. Es ist wichtig zu berücksichtigen, dass Sie nicht die einzelnen Widerstände messen, sondern den Schleifenwiderstand der Erdung, die Sie mit den Zangen prüfen. Wie in Abbildung 1 dargestellt, verbinden Sie das Messgerät Fluke 1625-2 oder 1623-2 und die induzierende sowie die messende Zange, die um jede Verbindung geklemmt werden, um den Schleifenwiderstand des mehrfach geerdeten Neutralleiters, des Erdungsfelds, der Wasserleitung und des Fundamenterders zu messen.

Anschließend führen Sie eine 3-Leiter-MESSUNG mittels DESSpannungsfallverfahrens am gesamten Erdungssystem durch und verbinden die Haupterdungsschiene wie in Abbildung 2 dargestellt. Um Fernmessungen im Erdungssystem durchzuführen, verwenden viele Telefongesellschaften unbenutzte Kabelpaare, die bis zu einer Meile (1,6 km) lang sind. Notieren Sie den Messwert und wiederholen Sie diese Prüfung mindestens einmal jährlich.

Abschließend messen Sie die einzelnen Widerstände des Erdungssystems mit dem selektiven Erdungsmessverfahren des Fluke 1625-2 oder 1623-2. Verbinden Sie das Fluke Erdungsmessgerät wie in Abbildung 3 dargestellt. Messen Sie den Widerstand des mehrfach geerdeten Neutralleiters; dieser Wert steht für diesen speziellen Abschnitt der Haupterdungsschiene. Dann führen Sie Messungen am Erdungsfeld durch. Das Messergebnis stellt den tatsächlichen Widerstandswert des Erdungsfelds des großen Gebäudes dar. Fahren Sie jetzt mit der Wasserleitung fort, und wiederholen Sie den Vorgang für die Widerstandsermittlung des Fundamenterders. Sie können die Genauigkeit problemlos mithilfe des Ohmschen Gesetzes überprüfen. Der aus den Widerständen der einzelnen Abschnitte berechnete Widerstand sollte gleich dem Widerstand des Gesamtsystems sein (kleine Abweichungen sind normal, da evtl. nicht alle Bodenelemente gemessen werden).

Diese Messungen stellen die genauesten Verfahren für große Gebäude und Anlagen dar, da die einzelnen Widerstandswerte sowie deren tatsächliches Verhalten im Erdungssystem angezeigt werden. Obwohl die Ergebnisse sehr genau sind, zeigen die Messungen nicht, wie sich das System als Netzwerk verhält, da im Fall eines Blitzschlags oder eines Fehlerstroms alles verbunden ist.

Um dies zu prüfen, müssen weitere Messungen der Widerstände der einzelnen Abschnitte durchgeführt werden.

Führen Sie zunächst 3-Leiter-MESSUNGEN mittels DES Spannungsfallverfahrens an jedem Einzelabschnitt der Haupterdungsschiene durch und notieren Sie die Ergebnisse. Der mittels dieser Messwerte gemäß dem Ohmschen Gesetz berechnete Widerstand sollte gleich dem Widerstand des Gesamtsystems sein. Aus den Berechnungen dürfte hervorgehen, dass Sie 20 % bis 30 % vom gesamten Widerstand (R_E-Wert) abweichen.

Abschließend messen Sie die Widerstände der einzelnen Abschnitte der Haupterdungsschiene mittels des Selektiven spießlosen SMessverfahrens. Es funktioniert ebenso wie das SPIESSLOSE Messverfahren, unterscheidet sich jedoch in der Art und Weise, wie die beiden separaten Stromzangen verwendet werden. Wir platzieren die Stromzange für induzierte Spannung um das Kabel, das zur Haupterdungsschiene führt, und da die Haupterdungsschiene mit der Einspeisung verbunden ist, die parallel zum Erdungssystem angeschlossen ist, haben wir diese Anforderung erfüllt. Die Messzange wird um das Erdungskabel, das zum Erdungsfeld führt, platziert. Wenn der Widerstand gemessen wird, wird der tatsächliche Widerstand des Erdungsfelds gemessen sowie zusätzlich der parallele Pfad der Haupterdungsschiene. Da dieser Wert besonders niederohmig ausfallen sollte, sollte er keinen wirklichen Einfluss auf das Messergebnis haben. Dieser Vorgang kann nun für alle Einzelabschnitte der Erdungsschiene durchgeführt werden, d. h. Wasserleitung und Fundamenterder.

Um die Haupterdungsschiene mittels des Selektiven SPIESSLOSEN Verfahrens zu messen, platzieren Sie die Stromzange für induzierte Spannung um den Leiter zur Wasserleitung (da die Kupferwasserleitung sehr niederohmig sein sollte). Das Messergebnis ist nur der Widerstand des mehrfach geerdeten Neutralleiters.

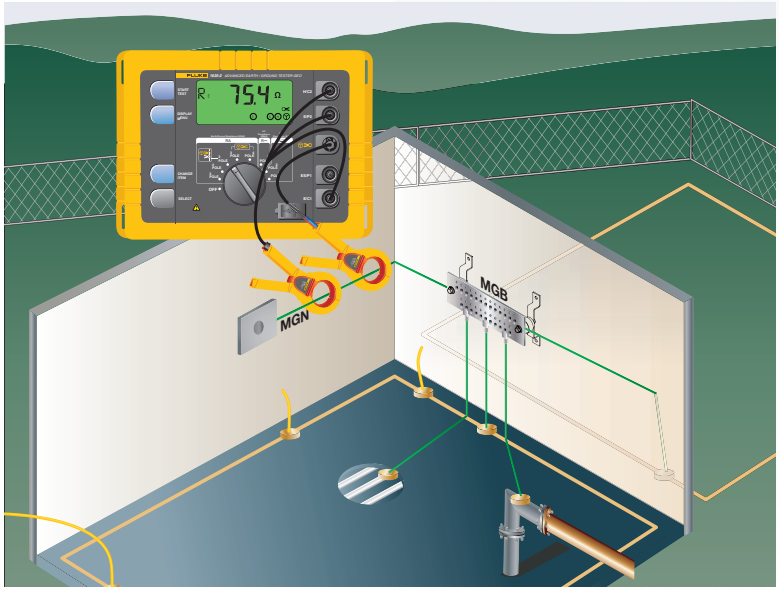


Abbildung 1: Spießlose Messung in einem großen Gebäude.

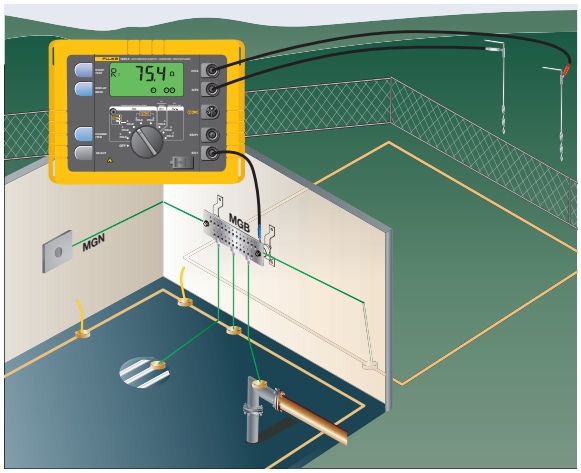


Abbildung 2: Durchführung der 3-Leiter-Spannungsfall-messung für das gesamte Erdungs-system.

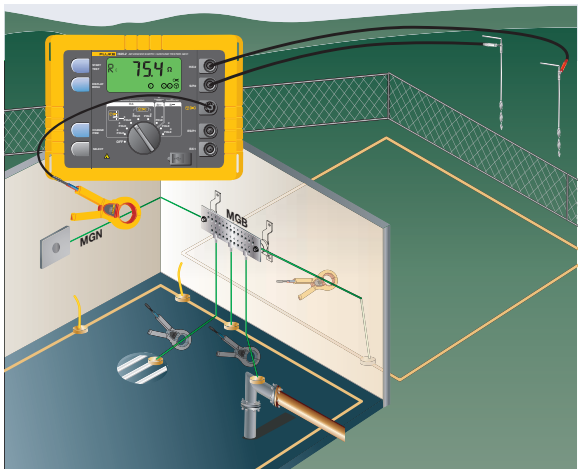
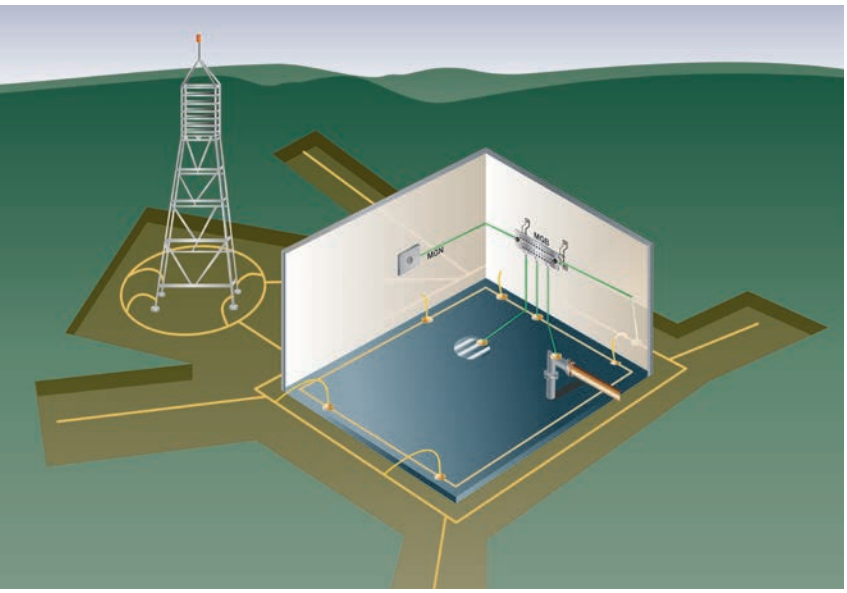


Abbildung 3: Messung der einzelnen Widerstände des Erdungssystems mit dem selektiven Messverfahren.

Weitere Anwendungen zum Erdungswiderstand



Typischer Aufbau an einem Mobilfunk-Sendemast.

Einsatzorte

Es gibt vier weitere spezielle Anwendungen, für die Sie das Erdungsmessgerät Fluke 1625-2 verwenden können, um die Betriebseigenschaften des Erdungssystems zu prüfen.

Mobilfunk-, UKW- und Funk-Sendemasten

In den meisten Fällen handelt es sich um Masten mit vier Beinen, wobei jedes Bein einzeln geerdet wird. Diese Erdungen werden dann über Kupferkabel miteinander verbunden. Neben dem Mast befindet sich das Mobilfunkgebäude, in dem die gesamte Übertragungstechnik untergebracht ist. Innerhalb des Gebäudes befindet sich ein zusätzlicher Erdungsring, der wie eine Haloantenne aufgebaut und mit der Haupterdungsschiene verbunden ist. Das Mobilfunkgebäude ist an allen vier Ecken geerdet und mit der Haupterdungsschiene über ein Kupferkabel verbunden. Die vier Ecken sind ebenfalls über ein Kupferkabel miteinander verbunden. Es gibt weiterhin eine Verbindung zum Erdungsring des Gebäudes wie auch zum Erdungsring des Masts.

Umspannwerke

Ein Umspannwerk ist eine untergeordnete Station eines Energieverteilungssystems, in der die Spannung in der Regel von einem hohen in einen niedrigeren Wert transformiert wird. Ein typisches Umspannwerk besteht aus Leitungsabschlussteilen, einer Hochspannungsschaltanlage, einem oder mehreren Leistungstransformatoren, Niederspannungsschaltanlagen, einem Überspannungsschutz sowie aus Steuerungen und Messeinrichtungen.

Fernumschaltanlagen

In Fernumschaltanlagen werden digitale Leitungskonzentratoren und andere Telekommunikationsgeräte betrieben. Die Fernumschaltanlage ist gewöhnlich an beiden Enden des Schaltschranks geerdet sowie durch eine Reihe von Erdungsspießen um den Schaltschrank herum, die durch Kupferkabel miteinander verbunden sind.

Blitzschutz an gewerblichen und industriellen Standorten

Die meisten Blitzfehlerstrom-Schutzsysteme sind an allen vier Ecken des Gebäudes geerdet, die in der Regel durch Kupferkabel miteinander verbunden sind. Abhängig von der Größe des Gebäudes und dem Widerstandswert, der gemäß Planung erzielt werden sollte, kann die Anzahl der Erdungsstäbe variieren.

Empfohlene Messungen

Fachkräften wird empfohlen, bei jeder Anwendung die gleichen drei Messungen durchzuführen: Spießlose Messung, 3-Leiter-MESSUNG mittels DES Spannungsfallverfahrens und Selektive Messung.

Spießlose Messung

Führen Sie zunächst eine spießlose Messung an folgenden Stellen durch:

- an den einzelnen Mastfüßen und den vier Ecken des Gebäudes **(Mobilfunkstandort/-mast)**
- an allen Erdungsverbindungen **(Umspannwerke)**
- an den Leitungen, die zur Fernumschaltanlage führen **(Fernumschaltung)**
- an den Erdungsspießen des Gebäudes **(Blitzschutz)**

Für alle Anwendungen gilt, dass es sich aufgrund des Netzwerkbodens nicht um eine echte Erdwiderstandsmessung handelt. Es handelt sich dabei in der Hauptsache um eine Durchgangsprüfung, um festzustellen, ob der Standort geerdet ist, ob eine elektrische Verbindung vorhanden ist und ob das System Strom führen kann.

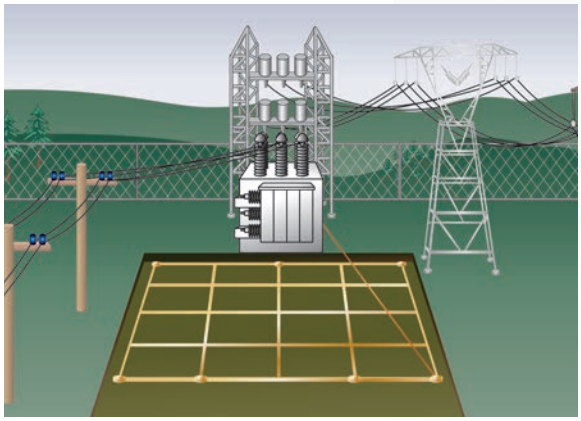
3-Leiter-MESSUNG mittels DES Spannungsfallverfahrens

Anschließend messen wir den Widerstand des Gesamtsystems durch die 3-Leiter-Messung mittels des Spannungsfallverfahrens. Beachten Sie die Regeln für das Einsetzen der Spieße. Die erzielten Messwerte sollten notiert und die Messungen mindestens zweimal pro Jahr durchgeführt werden. Diese Messung ergibt den Widerstandswert für den gesamten Standort.

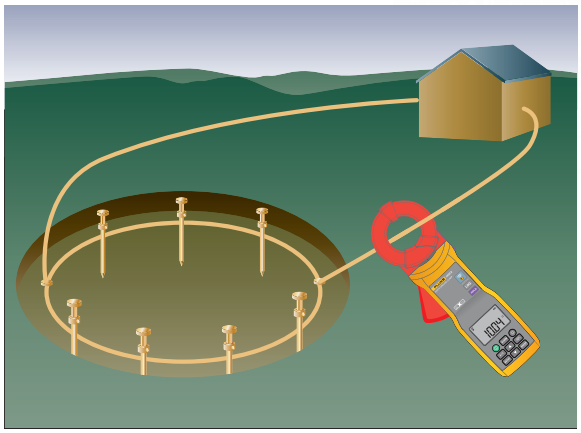
Selektive Messung

Abschließend überprüfen wir die einzelnen Erdungen mithilfe der selektiven Messung. Dadurch wird die Integrität der einzelnen Erdungen und ihrer Verbindungen überprüft. Außerdem wird festgestellt, ob das Erdungspotenzial insgesamt hinreichend einheitlich ist. Sollte eine der Messungen eine größere Abweichung aufweisen als die anderen, muss die Ursache hierfür ermittelt werden. Der Widerstand sollte an folgenden Stellen gemessen werden:

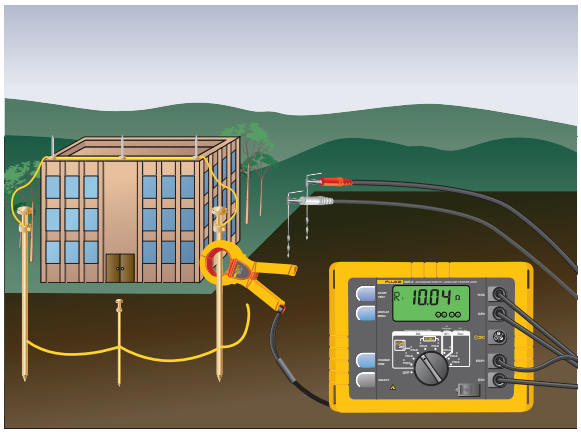
- an den einzelnen Mastfüßen und den vier Ecken des Gebäudes (Mobilfunkstandort/-mast)
- an den einzelnen Erdungsstäben und ihren Verbindungen (Umspannwerke)
- an beiden Enden der Fernumschaltanlage (Fernumschaltung)
- an allen vier Ecken des Gebäudes (Blitzschutz)



Typischer Aufbau eines Umspannwerks.



Einsatz des spießlosen Messverfahrens in einer Fernumschaltanlage.



Einsatz des selektiven Messverfahrens bei einem Blitzschutzsystem.

Produkte zur Erdungsmessung



Erdungsmessgerät Fluke 1625-2 mit erweiterten Funktionen



Erdungsmessgerät Fluke 1623-2 mit Basisfunktionen



Erdschleifenmesszange Fluke 1630-2 FC

Eine umfassende Messgerätefamilie

Fluke 1623-2 und 1625-2 sind Erdungsmessgeräte, mit denen Sie alle vier Arten von Erdungsmessungen ausführen können:

Zu den besonderen Ausstattungsmerkmalen von Fluke 1625-2 zählen:

- Die automatische Frequenzregelung (AFC) erkennt eine vorhandene Interferenz und wählt eine geeignete Messfrequenz aus, um den Einfluss der Interferenz zu minimieren und präzisere Messwerte des Erdungswiderstands zu erzielen.
- Die R*-Messung: berechnet die Erdungsimpedanz bei 55 Hz, um eine präzisere Informationen über den Erdungswiderstands bei einem Erdungsfehler zu ermöglichen.
- Einstellbare Grenzwerte beschleunigen die Messungen.

Zu den besonderen Ausstattungsmerkmalen von Fluke 1630-2 FC zählen:

- Messungen mit einer einzigen Stromzange
- Protokollierung der Messdaten – Speicherung von maximal 32.760 Messdaten im Speicher mit einem voreingestellten Protokollierungsintervall
- Alarmgrenzwerte – benutzerdefinierte Alarmgrenzwerte (HI/LO) zur schnellen Auswertung der Messungen
- Zuschaltbarer Bandpassfilter zur Beseitigung von unerwünschtem Rauschen bei der AC-Leckstrommessung
- Fluke 1630-2 FC gehört zu einem System aus Wireless-Messgeräten und Anlageninstandhaltungssoftware, das kontinuierlich erweitert wird. Unter flukeconnect.com erfahren Sie mehr über das Fluke-Connect-System.

Optionales Zubehör

Zweiteiliger Stromwandler mit 320 mm Durchmesser zur Durchführung selektiver Erdungsmessungen an einzelnen Beinen von Masten.



Komplettes Messsystem Fluke 1625-2-Kit



Fluke 1630-2 FC mit Schleifenwiderstandsnormal und Hartschalenkoffer

Fluke. *Damit Ihre Welt intakt bleibt.*

Die Erdungsmessgeräte im Vergleich

Produkt	Spannungsfallverfahren		Selektiv	Spießlos	2-Leiter-Verfahren
	3-Leiter	4-Leiter/Erde	1 Stromzange	2 Stromzangen	2-Leiter
Fluke 1623-2	■	■	■	■	■
Fluke 1625-2	■	■	■	■	■
Fluke 1630-2 FC				■	

ivkrause
www.iv-krause.de

Fluke Deutschland GmbH
In den Engematten 14
79286 Glottertal
Telefon: 0 69 2 2222 0203
Telefax: 0 76 84 800 9410
E-Mail: CS.Deutschland-ELEK@Fluke.com
E-Mail: CS.Deutschland-INDS@Fluke.com
Web: www.fluke.de

Technischer Beratung:
Beratung zu Produkteigenschaften, Spezifikationen, Messgeräte und Anwendungsfragen
Tel.: +49 (0) 7684 8 00 95 45
E-Mail: techsupport.dach@fluke.com

Fluke Austria GmbH
Liebermannstraße F01
2345 Brunn am Gebirge
Telefon: +43 (0) 1 928 9503
Telefax: +43 (0) 1 928 9501
E-Mail: roc.austria@fluke.nl
Web: www.fluke.at

Fluke (Switzerland) GmbH
Industrial Division
Hardstrasse 20
CH-8303 Bassersdorf
Telefon: +41 (0) 44 580 7504
Telefax: +41 (0) 44 580 75 01
E-Mail: info@ch.fluke.nl
Web: www.fluke.ch

©2013, 2014, 2017 Fluke Corporation. Alle Rechte vorbehalten. Änderungen vorbehalten. 2/2017 4346628c-ger

Dieses Dokument darf nicht ohne die schriftliche Genehmigung der Fluke Corporation geändert werden.