



01/2021

# Messung und Dokumentation des Erdungswiderstandes

**Die Interessengemeinschaft Elektrotechnikunternehmen IGK wollte vom ESTI wissen, ob die Messung des Erdungswiderstandes vorgeschrieben ist und welche Messwerte dabei erreicht werden müssen. Dieser Fachbeitrag stellt die relevanten Normen zusammen und erläutert die Vorgaben des ESTI.**

Die IGK stellt fest, dass in der Praxis oft keine Messungen des Erdungswiderstands bei neuen Erdungssystemen bzw. bei Änderungen an bestehenden Erdungssystemen vorgenommen werden. Dies obwohl der Erdungswiderstand für die Sicherheit zentral ist und im Sicherheitsnachweis dokumentiert werden muss.

## Teil 1: - Einführung in die Thematik

Erdungen sind wesentliche Bestandteile unserer elektrischen Energieversorgungssysteme. Sie dienen unterschiedlichen Zwecken, insbesondere aber um Stromkreise und Anlagenteile auf ein gemeinsames Potenzial zu bringen (Potenzialausgleich). Ausserdem sind Erdungen unerlässlich für die wirksame Gestaltung von Schutzmassnahmen gegen elektrischen Schlag in TN und TT-Systemen. Erdungen werden auch zum Schutz gegen Überspannungen, z.B. Schaltüberspannungen oder atmosphärische Überspannungen, in elektrischen Anlagen eingesetzt. Aber auch Rohrleitungen, und Tankanlagen müssen im Zusammenhang mit dem Korrosionsschutz korrekt geerdet sein. Heute bekommen die Erdleitungen immer grössere Bedeutung auch im Zusammenhang mit der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV). Sowohl Schutzmassnahmen mit Schutzleiter als auch der Überspannungsschutz erfordern niederohmige Erdverbindungen. Die prüfenden Elektrotechniker und Sachverständigen müssen bei den zur Verfügung stehenden Messverfahren immer abwägen, ob die Methode für die zu prüfende Schutzmassnahme geeignet und zielführend ist. Dies ist die grösste Herausforderung.

## Erdübergangswiderstand

Was ist eigentlich der Erdungswiderstand? Korrekterweise muss vom Erdübergangswiderstand gesprochen werden. Das ist der elektrische Widerstand, der zwischen dem Material des Erders und dem eigentlichen Erdreich auftritt (Bild 1). Der Erder an sich ist nahezu widerstandslos. Bedingt durch die grossen verwendeten Querschnitte von 30 mm x 3 mm Stahl/ Kupferleiter oder 50 mm<sup>2</sup> CU-Seil oder 10mm Rundstahl beträgt der Widerstand des Erders weniger als ein Milliohm pro Meter. Auch die Erde (bzw. der Boden oder das Erdreich) als solches ist relativ gut leitfähig. Der Widerstand ist hauptsächlich abhängig von der Bodenbeschaffenheit, Feuchte und Temperatur. Massgeblich für die Funktion des Erders ist der Übergangswiderstand an der Oberfläche des Erders (Bild 1). Eine Erdung besteht aus der Erdungsleitung, dem Erder und dem Erdausbreitungswiderstand. (Bild 2)



Bild 1: Erdungsanlagen sind vor der Eindeckung und der Fundamenterder **vor dem Einbetonieren** durch eine Fachperson auf ihre richtige Ausführung zu kontrollieren oder nach Absprache mit der Brandschutzbehörde oder dem Kontrollorgan mit Bildmaterial zu dokumentieren.

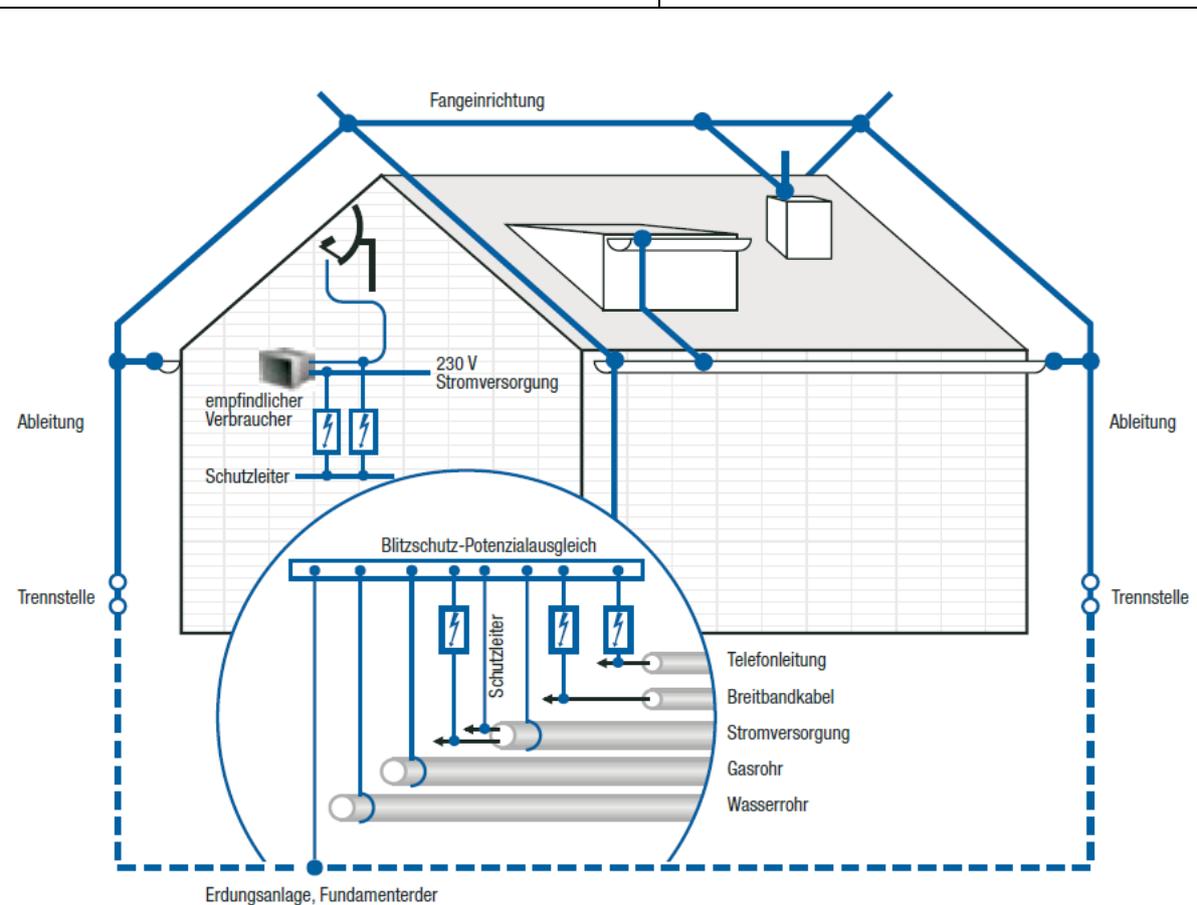


Bild 2: Sowohl der innere als auch der äussere Blitzschutz erfordern regelmässige Kontrollen durch entsprechend ausgebildetes Personal.  
Erdung mit zentralem Erdungs-Punkt „ZEP“  
Quelle : Ausschuss für Blitzschutz und Blitzforschung (ABB) des VDE



## Grenzwerte für bestimmte Anwendungsfälle

Für die Einhaltung von Schutzmassnahmen gibt es keinen allgemein gültigen Grenzwert, der aussagt, wie gut der Erdübergangswiderstand einer Anlage sein muss. Viel mehr finden sich für bestimmte Anwendungsfälle verschiedene Grenzwerte um die Berührungsspannung und oder die Abschaltzeit einzuhalten (Tabelle 2).

### Bemessungsdifferenzstrom des RCDs.

In TT-Netzen, und theoretisch auch in TN-Netzen, wird der maximal zulässige Erdungswiderstand durch die verwendete Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) begrenzt. In einem TT-Netz hat der Anlagenerder den grössten Anteil am Widerstand des Gesamtsystems. Über den Anlagenerder muss aber im Fehlerfall genug Strom fließen können, damit der RCD auslösen kann, bevor die maximale zulässige Berührungsspannung in der Anlage erreicht wird. Der maximale Erdungswiderstand richtet sich dann nach dem RCD mit dem grössten Bemessungsdifferenzstrom:

$R_A = \frac{U_B}{I_{\Delta N}}$	$R_A$ = Erdungswiderstand bei Auslösung RCD $U_B$ = Berührungsspannung max. 50V $I_{\Delta N}$ = am RCD eingestellter Nennauslösestrom 10 mA / 30 mA / 300 mA
----------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Daraus ergeben sich für die Praxis die Grenzwerte in der Tabelle 1.

Tabelle 1: Maximale Erdübergangswiderstände in Abhängigkeit des Bemessungsdifferenzstromes eines RCDs und der zulässigen Berührungsspannung

Bemessungsdifferenzstrom des RCD $I_{\Delta N}$	Maximaler Erdungswiderstand bei $U_B = \text{max. } 50 \text{ V}$
10 mA	5000 $\Omega$
30 mA	1650 $\Omega$
300 mA	165 $\Omega$

Tabelle 2: Grenzwerte des Erdübergangswiderstandes für bestimmte Anwendungsfälle (Auswahl)

Maximal zulässiger Erdungswiderstand $R_E$	Beschreibung	Vorschrift/Norm
10 $\Omega$	Blitzschutz: Erdungswiderstand des äusseren Blitzschutzes mit Fundamenterder	SNR 464022:2015 – 6.3.5 Besondere Bedingungen für einen Ableiter



20 $\Omega$	Ein bestimmter Wert ist nicht vorgeschrieben, hingegen soll aufgrund langjähriger Erfahrung die Erdungsimpedanz 20 $\Omega$ nicht überschreiten. Die Sondererdung ist so zu bemessen und anzuordnen, dass die Bedingungen gemäss Artikel 55 und Artikel 57 Absatz 2 erfüllt sind.	SNG 483755:2019 – 10.1.3 Bemessung der Sondererdung  Alle Gebäude mit TN-System ohne Transformatorstationen  Jedoch Abschaltzeiten erfüllt = 0.4 Sek. oder 5 Sek. NIN 4.1.1.3.2.
1.6 $\Omega$	Wenn bei einer Transformatorstation der Löschstrom 30 A beträgt, darf der Erderwiderstand bei 50 V/30 A $\triangleq$ maximal 1.6 $\Omega$ betragen.	Starkstromverordnung gemäss Art. 54, 55, 61 Bei Gebäuden mit <b>Transformatorstationen</b> in gelöschten Netzen oder Abschaltzeiten erfüllt: 50V $\triangleq$ 5 Sek. U1-t1 500V $\triangleq$ 0.1 Sek. U2-t2 80V $\triangleq$ 0.8 Sek.
0.44 $\Omega$	In Gebäuden mit <b>System TN;TT</b> und bei Unterwerken mit 30 A Löschstrom muss der Erdungswiderstand unter <b>0.44 <math>\Omega</math></b> liegen (siehe Beispiel unten).	gemäss Art. 54, 55, 61 der Starkstromverordnung 1.6 / 3.6 $\triangleq$ 0.44 $\Omega$
1 $\Omega$	Die Verbindung aller Anschlusspunkte mit dem Erdungssystem ist mit einer Durchgangsmessung (Niederohmmessung; Richtwert $\leq$ 1 $\Omega$ ) zu prüfen.	SNR 464022:2015 – 6.3.5 Besondere Bedingungen



## System TN / TT und Beispiel aus der Starkstromverordnung

Die NIN 2020 (SN 411000:2020) gibt für das System TN und TT folgendes Verhältnis vor (NIN 4.1.1.4.1):

$\frac{R_B}{R_E} \leq \frac{50}{U_0 - 50}$	<p><math>R_B \triangleq</math> Der Erdungswiderstand aller parallelen Erder</p> <p><math>R_E \triangleq</math> Der kleinste Widerstand von fremden leitfähigen Teilen, die sich in Kontakt mit Erde befinden und nicht mit einem Schutzleiter verbunden sind und über die ein Fehler zwischen Aussenleiter und Erde auftreten kann</p> <p><math>U_0 \triangleq</math> Die Bemessungswechselspannung Aussenleiter gegen Erde</p> <p>50 V: maximale Berührungswchselspannung für permanente Berührung</p>
--------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Beispiel: nach Starkstromverordnung und SNG 483755:2019

Bestimmen des Erdungswiderstandes für System TT mit der Formel aus der NIN.

$$230 \text{ V } (U_0) - 50 \text{ V} = 180 \text{ V}$$

$$180 \text{ V} / 50 \text{ V} \triangleq 3.6 \text{ Mal kleiner}$$

Wenn bei einer Transformatorenstation der Löschstrom 30 A beträgt, darf der Erdungswiderstand bei 50 V/30 A  $\triangleq$  maximal 1.6  $\Omega$  betragen. Teilt man den Erdungswiderstand durch den ermittelten Faktor 3.6, kommt man auf maximal  $\triangleq$  0.44  $\Omega$  beim Anschlussüberstromunterbrecher.

Ergebnis: Der Erdungswiderstand im Haus darf 0.44  $\Omega$  nicht überschreiten.

## Erkenntnisse des ESTI für die Berührungsspannung im Zusammenhang mit dem Erdübergangswiderstand

Zur Herabsenkung der Berührungsspannung wird der PEN an der Hauseinführungsstelle mit der Erde verbunden. Die Rückführung des PEN-Leiters parallel zum Erdreich wird dadurch niederohmiger und die Berührungsspannung sinkt. Zwei Kreis Sicherheitssystem, einmal PEN – Leiter und einmal Erdungsleiter.

- Je mehr Erdverbindungen ein System aufweist und je besser die einzelnen Erder sind, umso kleiner ist die mögliche Berührungsspannung (Bild 3)
  - Im Fehlerfall wird somit der Körperstrom kleiner
  - Im Schadenfall wird der Kurzschlussstrom grösser, dadurch sinkt die Abschaltzeit und Überstromunterbrecher lösen schneller aus



- Bei reduziertem Querschnitt des PEN-Leiter steigt die Berührungsspannung über 115 V. (z.B. 3 x 50 + 2 x 25 mm<sup>2</sup>) Nicht mehr zu empfehlen. Bei Netzinstallationen gemäss Starkstromverordnung nicht erlaubt.
- Die Berührungsspannung ist immer ein Teil der Fehlerspannung. Bild 4
- Die Fehlerspannung ist die maximale Berührungsspannung.

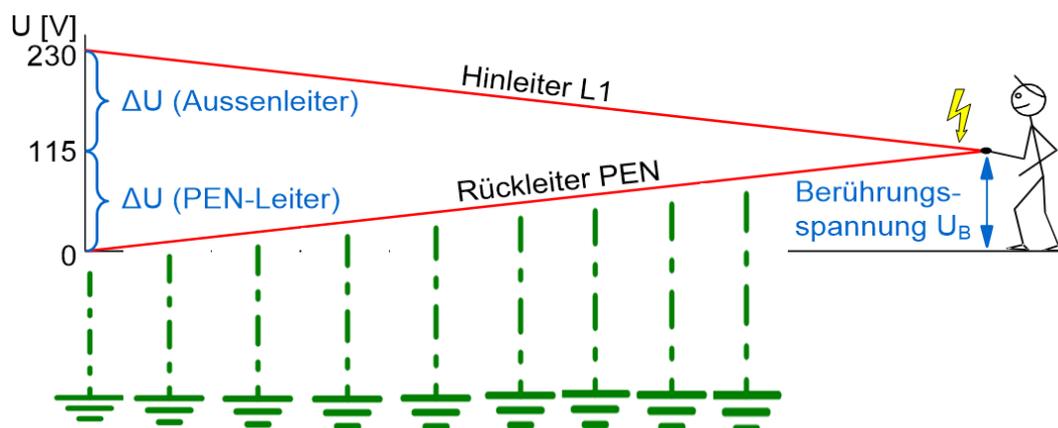


Bild 3: Berührungsspannung

### **Einflussfaktoren auf die Messung**

Die Bestimmung des Erdungswiderstandes ist nicht immer ganz einfach. Sie ist zu einem grossen Teil von verschiedenen Umweltfaktoren abhängig:

- Bodenfeuchte
- Temperatur
- Einbautiefe

Diese Faktoren können zu Veränderungen des Messwertes von bis zu 50 % führen! Die Bodenbeschaffenheit im Zusammenhang mit der Witterung und den jahreszeitlichen Schwankungen sorgen dafür, dass die Wirksamkeit des Anlagenerders stark vom Fachwissen und den Einschätzungen der planenden und errichtenden Elektroinstallateure oder Sachverständigen abhängt.

Nicht unerheblich können die Messwerte auch durch Störspannungen und Streuströme im Erdreich beeinflusst werden. Um dies auszuschliessen, werden bei modernen Messgeräten die Prüfungen mit „nicht harmonischen“ Frequenzen durchgeführt. Diese kommen in den vor Ort verwendeten elektrischen Systemen üblicherweise nicht zur Anwendung. Je nach Prüfgerät sind diese Frequenzen für die Messung frei wählbar (z. B. 91 Hz, 97 Hz, 111 Hz, 128 Hz, bis 2083 Hz).

Um zu vermeiden, dass Polarisationserscheinungen am Übergang des metallenen Erders zum Erdreich oder im Erdreich selbst eine Messung fälschen können, wird grundsätzlich mit Wechselstrom gemessen. Die Messspannung an den offenen Klemmen des Gerätes kann 50 V überschreiten, jedoch muss dann der Leerlaufstrom auf 10 mA begrenzt sein.



Allerdings gibt es auch standardisierte Messungen mit einer Frequenz bis 25 kHz, um die Ableitfähigkeit von hochfrequenten Ableitströmen oder Sendeanlagen nachzuweisen. Auch können einige spezialisierte Erdungsprüfgeräte eine Impulsmessung durchführen, um das elektrische Verhalten bei Blitzeinschlag zu simulieren (Impedanzen, Reaktanzen).

### Schlussfolgerungen:

Jede Situation erfordert das Einhalten der in den Normen vorgeschriebenen Erdungswiderstandswerte.

Die Beurteilung der **Personensicherheit** einer elektrischen Installation und deren Erdungssystem erfolgt aufgrund der maximal auftretenden Einwirkspannungen (Berührung- und Schrittspannungen) gemäss Art. 54, 55, 61 der Starkstromverordnung.

Der Sicherheitsnachweis (SiNa) muss neben den Angaben nach Artikel 37 Absatz 1 NIV alle technischen Angaben enthalten, die für die Beurteilung der Sicherheit einer elektrischen Installation notwendig sind (Art. 13 V-UVEK). Insbesondere ist die Beschreibung der **Schutzmassnahmen und Schutzorgane** und deren Beurteilung eine notwendige und damit zwingende Angabe im SiNa.

Da der Erder mit dem Erdungsleiter ein Teil der **Schutzmassnahmen TN / TT** ist, muss der Erdungswiderstand gemessen und im Messprotokoll und/oder im Sicherheitsnachweis dokumentiert werden.

- Der Blitzschutz wird im Messprotokoll nach SNR 464022:2015 aufgeführt.
- Gemäss Starkstromverordnung ist ein Messprotokoll erforderlich.

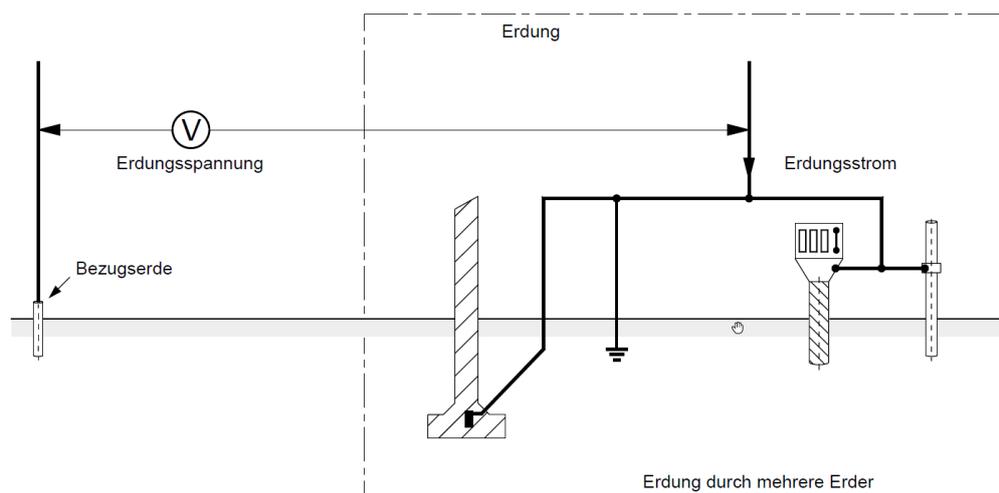


Bild 4: Erdungsgrößen nach Starkstromverordnung: Die zwischen einem Erder und der Bezugserde gemessene Spannung «nach aussen» (neutrales Erdreich) wird als Fehlerspannung (Erdungsspannung) bezeichnet. Die Spannung zwischen leitfähigen Teilen, wenn diese gleichzeitig von einem Menschen oder einem Tier berührt werden, sind Teil der Erdungsspannung. (Berührungsspannung) Quelle: SNG 483755:2019



## Fazit

Obwohl in der Praxis vielfach vernachlässigt, ist die Messung des Erdungswiderstandes bei elektrischen Systemen, Anlagen und Installationen vorgeschrieben und muss mit einer geeigneten Messmethode durchgeführt werden. Dabei gilt es die je nach Situation von den Normen vorgeschriebenen maximalen Erdungswiderstandswerte einzuhalten. Zudem muss der technische Aufbau des Erdungssystems festgehalten und die dazugehörigen Messprotokolle erstellt werden – entweder im Sicherheitsnachweis und/oder in einem geeigneten Messprotokoll.

Daniel Otti, Geschäftsführer ESTI

André Moser, Techn. Experte / Sicherheitsbeauftragter

Eidgenössisches Starkstrominspektorat ESTI

Luppenstrasse 1, 8320 Fehraltorf

Tel. +41 58 595 18 18

[info@esti.admin.ch](mailto:info@esti.admin.ch)

[www.esti.admin.ch](http://www.esti.admin.ch)

Literatur:

Starkstromverordnung und System TT Art. 54, 55, 61

Niederspannungs-Installationsverordnung, 4. Kapitel 3. Abschnitt NIV:  
Nachweis der Sicherheit

Art. 13 Verordnung des UVEK (V-UVEK; SR 734.272.3)

NIN 4.1 und NIN 6.1.3.6.2.1 – Messung des Erderwiderstands

SNG 483755:2019 – 12.1 Notwendigkeit und Zweck von Erdungsmessungen

SNR 464113:2015 – 8. Dokumentation und Abnahme

SNR 464022:2015 – 6.3.5 Besondere Bedingungen



## Teil 2: - Erdungsmessungen, Widerstandsmessungen:

Die verschiedenen Methoden der Erdungsmessung basieren alle mehr oder weniger auf dem Prinzip der einfachen Widerstandsmessung. Dabei wird in einem Stromkreis der Spannungsfall an einem Widerstand gemessen und daraus der Widerstand bestimmt:

$R_E = \frac{U_E}{I_E}$	<p><math>R_E</math> = Erdungswiderstand allgemein <math>U_E</math> = Spannung über dem Erder (Erderspannung) <math>I_E</math> = Strom durch den Erder</p>
-------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Prinzip der Messung:

Das Prinzip der Erdungsmessung beruht auf der Messung des Spannungsabfalls über dem zu messenden Erdungswiderstand. Kennt man den Strom, der durch den Erder fließt, und misst die Spannung, so kann nach dem ohmschen Gesetz der Erdungswiderstand gerechnet werden. Das Problem bei der Erdungsmessung ist jedoch, dass die Spannungsmessung irgendwo kontaktiert werden muss:

- einmal am Erder und
- einmal am „idealen, fernen neutralen Erdreich“.

Für die Messung gibt es diverse geeignete Messverfahren: Bilder 5-8

- Strom/Spannungsmessung
- Spannungsvergleichsmessung
- Brückenmethode
- Schleifenwiderstandsmessung



## Die Erdungsmessungen: werden mit Wechselstrom durchgeführt.

**Bild 5: Strom-Spannungsmessverfahren**  
Vorteil: Nur eine Sonde und Messstrom bis 5 A aus dem Netz  
Nachteil: Braucht neutrales Erdreich und abhängig von der Netzspannung 230 V 50 Hz  
Hinter einem RCD nicht möglich!

**Bild 6: Erdungsmessung nach Wenner oder Schlumberger, 3-Punkt-Verfahren**  
Vorteil: Spannungsunabhängig  
Nachteil: Man braucht 2 Sonden und neutrales Erdreich, in einer Stadt schwierig (City- Methode Durchgangsprüfung < 1 Ω)

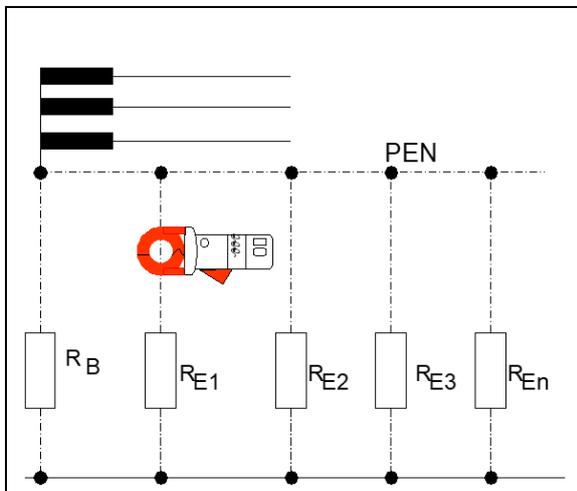


Bild 7: Die weit verbreitete Erdschlaufen-messung mit Erdungsprüfzange genügt alleine nicht, um den Erdungswiderstand zu messen.

Vorteil: Eigene Spannungsquelle und Frequenz bis 2083 Hz

Kein Abtrennen der Erdungsleitung erforderlich.

Die Erdschleife ist immer grösser als der effektive Erdübergangswiderstand

Nachteil: Es ist eine Erdschleifenmessung und keine Erdungsmessung man muss wissen was man misst. (Interpretation) Liegt nicht am System sondern am Fachmann.

**Praxistipp:**

Wenn die Erdschleife offen ist, kann man nicht messen oder muss die Schleife künstlich mit einem Prüfkabel verbinden.

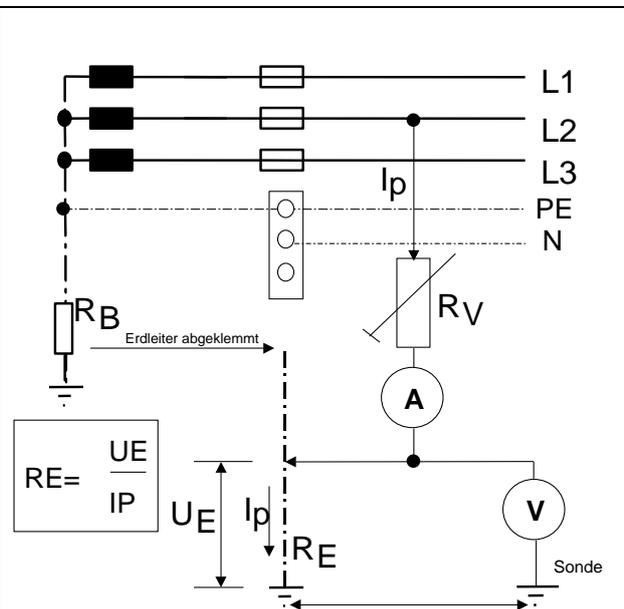


Bild 8: Erdungsmessung mit Hilfe der Netzspannung

Vorteil: Spannung 230 V hat es überall

Nachteil: Der Aussenleiter (Polleiter) ist in der Schleife inkludiert; das heisst man muss immer Erderwiderstand minus 1/2 der Netz-Schleife subtrahieren.

Hinter einem RCD nicht möglich!

$$R_E \triangleq a - R_i / 2$$

$R_E$  = Erdungswiderstand

$R_i$  = Netzzinnenwiderstand

$a$  = Ablesewert der ersten Messung