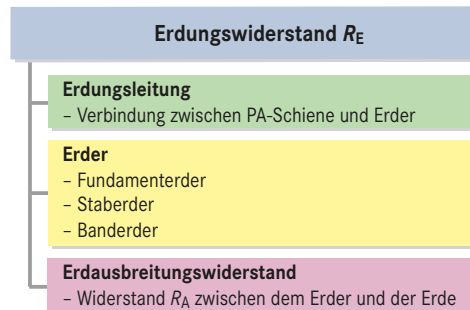


2.9.6 Erdungswiderstand

Die Erdung ist ein wesentlicher Bestandteil zur sicheren elektrischen Energieversorgung. Durch sie wird das gemeinsame Bezugspotenzial gebildet. Sie ist eine Schutzmaßnahme gegen **Überspannungen** [overvoltages].

Der **Erdungswiderstand** [earthing resistance] besteht aus den in Abb. 1 dargestellten Komponenten. Er ist somit in erster Linie von der Beschaffenheit des umgebenden Erdreiches und vom Erder abhängig (Abb. 2).



1: Erdungswiderstand

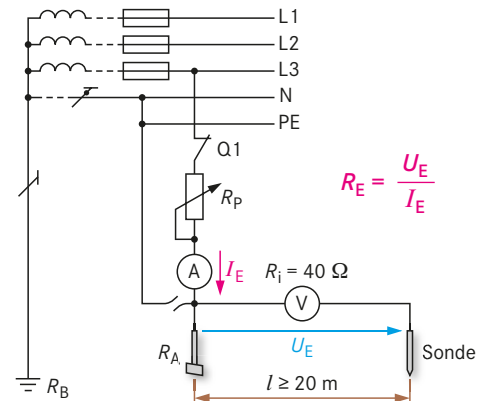
Bodenart	Erdungswiderstand R_E in Ω			
	Staberder in einer Tiefe von		Banderder der Länge	
	3 m	6 m	10 m	20 m
Lehm, Ton	33	17	20	10
Sand	330	165	200	100
Steiniger Boden	1000	500	600	300

2: Abhängigkeit des Erdungswiderstandes

In Abb. 3 ist das **Strom-Spannungs-Messverfahren** dargestellt. Der Erdungswiderstand wird indirekt gemessen. Der Erder wird abgetrennt und eine Sonde im Abstand von $l \leq 20$ m verwendet. Der Erdungswiderstand R_E ergibt sich aus der Messspannung und der Stromstärke. Beim **Kompensations-Messverfahren** werden dagegen ein Hilfserder und eine Sonde verwendet.

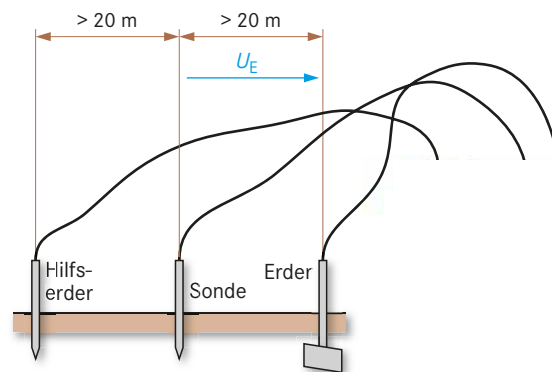
In dicht bebauten Gebieten, in denen keine Sonde eingesetzt werden kann, ist die **Erder-Schleifenwiderstandsmessung** sinnvoll. Sie wird mit einem Schleifenwiderstandsmessgerät durchgeführt.

Die gemessene **Erder-Schleifenimpedanz** [earthing loop impedance] (Abb. 5) besteht aus dem zu messenden Erder R_E , dem Betriebserder R_B , der Transformatorwicklung und dem Außenleiter. Zur Bestimmung des R_E müssen vom abgelesenen Wert a die Widerstände des Betriebserders und des Transformators abgezogen werden. Somit liegt der Wert stets auf der „sicheren Seite“ (Formel s. Abb. 5).



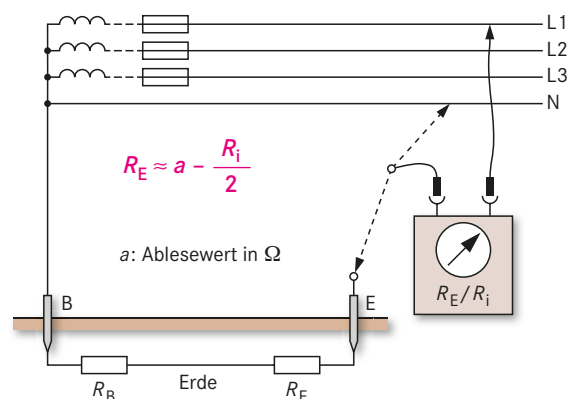
Sonde + Netz + Strommesser + Spannungsmesser + abgetrennter Erder R_A

3: Strom-Spannungs-Messverfahren



Erdungsmessgerät + Sonde + Hilfserder + abgetrennter Erder R_A

4: Kompensations-Messverfahren



5: Erder-Schleifenwiderstandsmessung

2.9.7 Schleifenimpedanz

Die Messung der **Schleifenimpedanz** Z_S [loop impedance] ist zur Ermittlung der Kurzschlussstromstärke wichtig. Gemessen wird der Widerstand zwischen

- Außenleiter und Schutzleiter bzw.
- Außenleiter und PEN-Leiter

an einer möglichst weit von der Verteilung entfernten Stelle (z. B. Steckdose). Moderne Messgeräte zeigen neben der Schleifenimpedanz auch die Kurzschlussstromstärke direkt als Messwert an

Damit im Fehlerfall der Anlagenteil durch einen hohen Abschaltstrom möglichst schnell abgeschaltet werden kann, muss der Wert für Z_S gering sein.

Die gemessene Schleifenimpedanz muss dabei folgende Bedingung erfüllen:

$$Z_S \leq \frac{U_0}{I_a}$$

Z_S : Schleifenimpedanz
 I_a : Abschaltstromstärke
 U_0 : Netzspannung (230 V)

Der Wert der Abschaltstromstärke ist von dem eingesetzten Überstrom-Schutzorgan abhängig.

Überstrom-Schutzorgan	Abschaltstromstärke
Schmelzsicherung, Typ gG	$I_a = 8 \times I_n$
Leitungsschutz-Schalter, Typ B	$I_a = 5 \times I_n$
Leitungsschutz-Schalter, Typ C	$I_a = 10 \times I_n$
Leitungsschutz-Schalter, Typ D	$I_a = 20 \times I_n$
Leitungsschutz-Schalter, Typ Z	$I_a = 3 \times I_n$
Leitungsschutz-Schalter, Typ K	$I_a = 12 \times I_n$
I_n : Bemessungsstromstärke des Überstrom-Schutzorgans	

7: Abschaltstromstärken

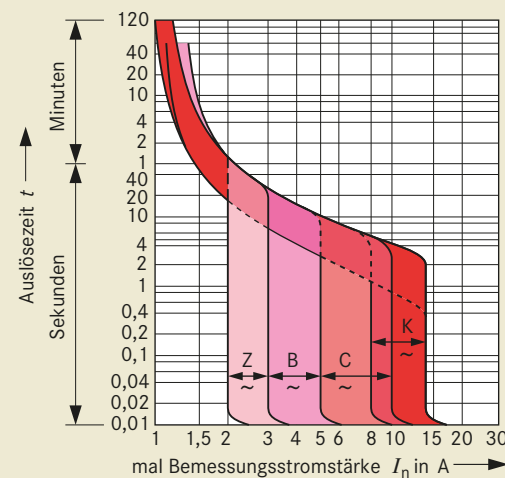
Maßnahmen bei zu hoher Schleifenimpedanz

Wenn die Schleifenimpedanz zu groß sein sollte, können folgende Maßnahmen ergriffen werden:

- Austausch des Überstrom-Schutzorgans gegen Leitungsschutz-Schalter mit geringerer Abschaltstromstärke I_a
- Einbau einer RCD
- Verlegung einer Leitung mit größerem Leiterquerschnitt zur Verringerung des Leiterwiderstandes

Wie wird die Abschaltstromstärke ermittelt?

Der Grenzwert für die Abschaltstromstärke kann direkt aus der Strom-Zeit-Kennlinie des eingesetzten Überstrom-Schutzorgans abgelesen werden.



Die Kennlinie zeigt den Bereich, in dem der Leitungsschutz-Schalter sicher auslöst.

Leitungsschutz-Schalter der Charakteristik B:

$$I_a = 3 \dots 5 \times I_n$$

Damit ein sicheres Auslösen garantiert ist, wird der obere Grenzwert zur Bestimmung der Abschaltstromstärke verwendet ($I_a = 5 \times I_n$).

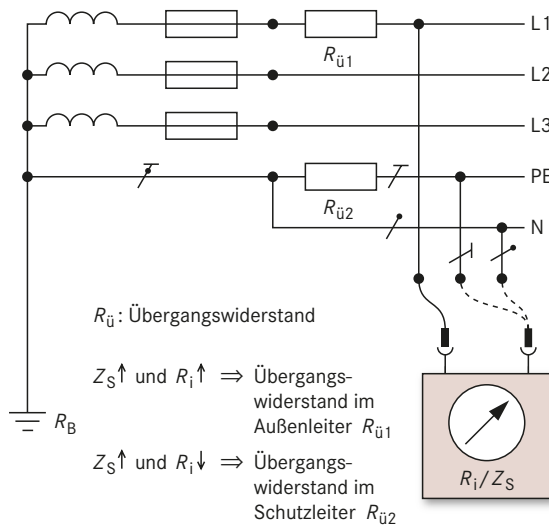
AUFGABEN

1. Welche Bedeutung hat die Messung der Schleifenimpedanz für die Sicherheit der Anlage?
2. Wie groß darf die Schleifenimpedanz in einem Stromkreis bei einer Spannung von 230 V und einem LS-Schalter $I_n = 16$ A (Typ C) maximal sein?

- Die Schleifenimpedanz dient zur Ermittlung der Kurzschlussstromstärke und somit zur Prüfung der Wirksamkeit der verwendeten Schutzmaßnahme.
- Die Schleifenimpedanz wird an der entferntesten Stelle zwischen Außenleiter und PE-Leiter in jedem Stromkreis bestimmt.

2.9.8 Netzenwiderstand

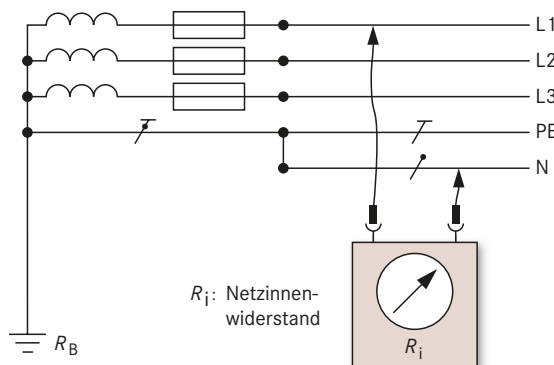
Die Messung des **Netzenwiderstandes** [mains internal resistance], auch kurz **R_i -Messung** genannt, ist zur Prüfung der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen nicht zwingend vorgeschrieben. Sie stellt jedoch für den Prüfer einen wichtigen Vergleichswert bei der Fehlersuche dar (Abb. 1).



1: Fehleranalyse mit Hilfe des Netzenwiderstandes

Wie wird der Netzenwiderstand gemessen?

Die Messung ist vergleichbar mit der Messung der Schleifenimpedanz (s. Kap. 2.9.7). Es wird im Gegensatz dazu zwischen Außenleiter und N-Leiter gemessen (Abb. 2).



2: Messung des Netzenwiderstandes

Bedeutung des Messwertes für R_i

1. Für die Prüfung des zulässigen Spannungsfalls

Laut DIN VDE 0100-520 darf der maximale Spannungsfall zwischen Hausanschlusskasten und Verbraucher maximal 4 % betragen. Mit dem Messwert für R_i lässt sich diese Forderung leicht überprüfen.

2. Für die Schleifenimpedanzmessung

Liegt der Wert für Z_S zu hoch, so liefert die Messung des Innenwiderstandes an gleicher Stelle einen Vergleichswert zur Analyse der möglichen Fehlerursache.

- Bei großem R_i kann die Ursache in einem großen Übergangswiderstand im Außenleiter liegen.
- Bei deutlich geringerem R_i liegt der Fehler im Schutzleiter.

3. Für die Fehlerstrom-Schutzeinrichtung

Sind N- und PE-Leiter vertauscht, so führt die Messung von R_i zum sofortigen Auslösen der RCD, da nun ein Strom über den PE-Leiter fließt. Die Summe der zufließenden Ströme ist somit ungleich der Summe der abfließenden Ströme. Diese Differenz führt letztlich zum Auslösen der RCD.

Prüfung des Spannungsfalls bei der R_i -Messung

Bei der Messung des Netzenwiderstandes ergibt sich ein Messwert von $R_i = 0,28 \Omega$.

Geg.: $R_i = 0,28 \Omega$

Ges.: Δu

$I_n = 16 \text{ A}$

$U = 230 \text{ V}$

$$\begin{aligned} \text{max. Spannungsfall: } \Delta u &= \frac{U \cdot 4 \%}{100 \%} \\ \Delta u &= \frac{230 \text{ V} \cdot 4 \%}{100 \%} \\ \Delta u &= 9,2 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{tatsächlicher Spannungsfall: } \Delta u &= R_i \cdot I_n \\ \Delta u &= 0,28 \Omega \cdot 16 \text{ A} \\ \Delta u &= 4,48 \text{ V} \end{aligned}$$

⇒ Der Spannungsfall liegt mit 4,48 V unterhalb des geforderten Wertes von 9,2 V.

AUFGABE

1. Berechnen Sie den maximal zulässigen Wert für R_i in einem Steckdosenstromkreis ($I_n = 16 \text{ A}$, $U_0 = 230 \text{ V}$) bei einem zulässigen Spannungsfall von 4 %.

- Der Netzenwiderstand wird zwischen dem Außenleiter und dem N-Leiter gemessen.
- Der Netzenwiderstand dient zur Überprüfung des maximal zulässigen Spannungsfalls.