

Prüfung elektrischer Anlagen, Geräte und Maschinen

nach BetrSichV, DGUV Vorschrift 3, DIN VDE 0100-600,
DIN VDE 0105-100, DIN VDE 0701-0702, DIN VDE 0113-1

1 Rechtsgrundlagen	1
1.1 Verantwortung und Pflichten des Betreibers elektrischer Anlagen und Betriebsmittel	1
2 Netzsysteme (Niederspannung < 1kV)	1
2.1 Kennzeichnung der Netzsysteme.....	1
2.2 TN-Netzsystem	2
2.3 TT-Netzsystem	4
2.4 IT-Netzsystem	4
2.5 Symptome in den Netzsystemen.....	7
3 Schutzmaßnahmen - Schutz gegen elektrischen Schlag	1
3.1 Allgemeines	1
3.2 Maßnahmen zum Schutz gegen elektrischen Schlag nach DIN VDE 0100-410	7
3.3 Berührungsspannung in fehlerbehafteten Netzsystemen	43
4 Prüfungen elektrischer Anlagen nach DIN VDE 0100-600 und DIN VDE 0105-100	1
4.1 Zweck und Umfang elektrischer Anlagenprüfungen	1
4.2 Prüfschritte	3
4.3 Besichtigen	3
4.4 Überstromschutzorgane	6
4.5 Kabel und Leitungen.....	15
4.6 Auswahl von Schalt- und Steuergeräten (Schutzeinrichtungen).....	46
4.7 Schutzpotentialausgleich über die Haupterdungsschiene	47
4.8 Potentialausgleich und Erdungsanlagen	48
4.9 Unfallverhütung und Brandschutz	48
4.10 Elektrothermografie	48
4.11 Prüfungen durch Erproben und Messen	53
4.12 Technische Unterlagen und Kennzeichnungen	56
5 Prüfung nach Instandsetzung, Änderung und Wiederholungsprüfung elektrischer Geräte nach DIN VDE 0701-0702	1
5.1 Definition für ortsveränderliche elektrische Geräte	1
5.2 Anwendungsbereich der Norm DIN VDE 0701-0702.....	1
5.3 Prüfungen nach DIN VDE 0701-0702	6
5.4 Prüfpraxis	17
6 Prüfung der elektrischen Ausrüstung von Maschinen nach EN 60204-1 (VDE 0113-1)	1
6.1 Normative Erläuterungen	1
6.2 Prüfung der elektrischen Ausrüstung	2
7 Messungen an elektrischen Anlagen, Geräten u. elektrischen Ausrüstungen von Maschinen .	1
7.1 Schutzleiterwiderstand	1

7.2 Schleifenimpedanz	12
7.3 Messverfahren für das Isoliervermögen	17
7.4 Prüfung des Isolationswiderstandes.....	21
7.5 Ersatzableitstrommessverfahren.....	36
7.6 Ableitstrommessverfahren.....	37
7.7 Ableit- und Fehlerstrommessung bei Drehstromverbrauchern	46
7.8 Schutz durch sichere Trennung (Schutztrennung, Kleinspannung SELV/PELV)	48
7.9 Prüfung bei Verwendung von RCD-Schutzeinrichtungen	50
7.10 Spannungspolarität und Phasenfolge der Außenleiter.....	56
7.11 Spannungsfall.....	57
7.12 Erdungswiderstand.....	59
8 Beurteilung der Prüfungen und Dokumentation	1
8.1 Normative Grenzwerte und Beurteilung der Messwerte	1
8.2 Prüfprotokoll für elektrische Anlagen.....	4
8.3 Prüfprotokoll für elektrische Geräte.....	7
9 Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (Residual Current Device).....	1
9.1 Grundlagen.....	1
9.2 Funktionsprinzip	4
9.3 Koordination von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen	17
9.4 Überlastschutz von RCD	25
9.5 Grenzen der Schutzwirkung von Fehlerstromschutzschaltern.....	25
9.6 Einsatzgebiete	27
9.7 RCD-Ausführungen	28

7 Messungen an elektrischen Anlagen, Geräten und elektrischen Ausrüstungen von Maschinen

7.1 Schutzleiterwiderstand

7.1.1 Messwerte und Grenzwerte bei Geräte- und Anlagenprüfung

Grenzwerte nach DIN VDE 0701-0702 (Geräteprüfung)

Für elektrische Leitungen bis zu einer Gesamtlänge von 5m und bis zu einem Bemessungsstrom von 16A maximal darf der Widerstand des Schutzleiters den Grenzwert von 0,3Ω nicht überschreiten. Für Leitungen bis zu einem Bemessungsstrom von 16A darf je 7,5m zusätzlicher Länge der Grenzwert um 0,1Ω bis zu einem Maximalwert von 1Ω sein.

Für alle Leitungslängen korreliert hat der Messwert mit dem errechneten Widerstandswert:

$$R = \frac{l}{\chi \cdot A} \quad \text{mit} \quad \chi_{Cu} = 56 \frac{m}{\Omega \cdot mm^2}, \quad \chi_{Al} = 36 \frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$$

Grenzwerte nach DIN VDE 0701-0702		
Schutzleiterwiderstand		
Prüfverfahren	Grenzwerte	Leitungsart
	≤ 0,3Ω	Geräteanschlussleitung bis 5m (für Bemessungsstrom bis 16A)
	≤ 0,4Ω	Geräteanschlussleitung bis 12,5m (für Bemessungsstrom bis 16A)
	≤ 0,5Ω	Geräteanschlussleitung bis 20,0m (für Bemessungsstrom bis 16A)
	↓	+ 0,1Ω je zusätzliche Länge von 7,5m
	≤ 1,0Ω	Maximalwert bei Leitungslänge bis 57,5m (für Bemessungsstrom bis 16A)
	$R_{SL} = \frac{l}{\chi \cdot A}$	Alle anderen Leitungen

Bild 1: Normative Grenzwerte für den Schutzleiterwiderstand von Geräten

Geräteart	normativer Grenzwert
Geräte mit Anschlussleitung bis 5m mit zusätzlicher Geräteanschlussleitung	0,3 Ω plus 0,1 Ω je 7,5m - bis maximal 1,0 Ω
Geräte mit Festanschluss	1,0 Ω

Tab. 1: Normative Grenzwerte für den Schutzleiterwiderstand von Geräten

In Abhängigkeit von der Prüfstromstärke kann möglicherweise ein

- Verschweißen der Prüfspitze mit dem Prüfling
- Reinigungseffekt an den Schutzleiterkontakten und -flächen
- Funkenbildung

eintreten.

Die damit entstehenden Schäden aber auch die Möglichkeiten der Fehlerlokalisierung hat der Prüfer bei der Auswahl seines Prüfgerätes zu beachten.

Beim Messen des Schutzleiterwiderstandes an fest mit der Anlage verbundenen Geräten besteht die Gefahr, dass der Prüfstrom über die Schirme von Datenleitungen fließen kann.



Bild 2: Schutzleitermessung mit 10A AC: Leiterbruch ist damit detektierbar

Die Messung des Schutzleiterwiderstandes mit einem 10A AC Prüfstrom kann zur Reduzierung des Messwertes führen. Dies ist jedoch nicht als Fehler zu werten.

Wegen der erhöhten Brandgefahr ist die Messung mit 10A AC bei der Anlagenprüfung nicht immer zu empfehlen. Sie sollte nur durchgeführt werden, wenn der Prüfabschnitt im gesamten Verlauf über- schaut werden kann.

Da elektrisch gezündete Brände schon bei 70W-80W möglich sind, ist eine Brandgefahr durch das Messen in der Anlage gegeben. Bei einer Prüfspannung von üblicherweise 24V und einem Prüfstrom von 10A ergibt sich eine Leistung von:

$$P_{\text{Zünd}} = U \cdot I = 24V \cdot 10A = 240W$$



Bild 3: Schutzleitermessung mit 10A AC: Oxidschicht

7.1.3 Messspitzen

Die Messwerte können durch die Form der Messspitzen beeinflusst werden. Die Stromdichte ist bei punktförmig ausgeführten Messspitzen hoch, der Übergangswiderstand gering. Ist die Berührungsfläche klein, findet eine punktuelle Verschweißung während des Messvorganges statt. Eine niederohmige Kontaktierung während des Messvorgangs wird erreicht.

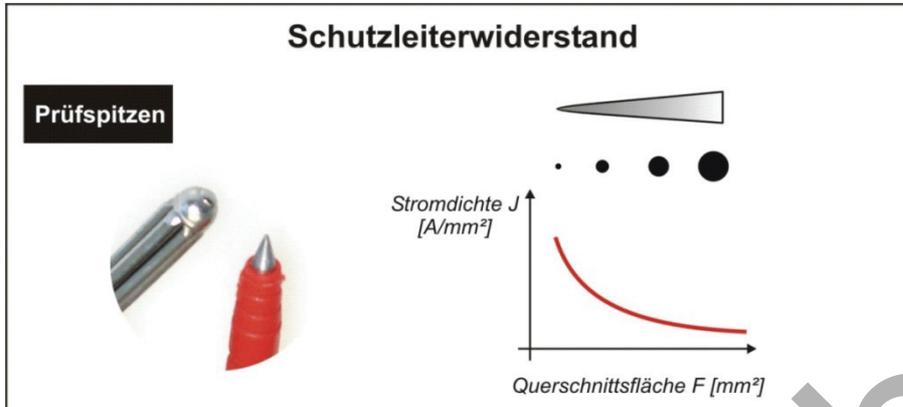


Bild 6: Messspitzen und Stromdichte

7.1.4 Prüfung des Schutzleiterwiderstandes in Anlagen- und Maschinen

Niederohmigkeit - Durchgängigkeit der Schutzleiter und Potentialausgleichsleiter

Die Prüfung der elektrischen Durchgängigkeit muss durchgeführt werden bei:

- Schutzleitern, einschließlich der Schutzpotentialausgleichsleiter (Schutz-PA-Leiter). Die Verbindungen über die Haupterdungsschiene und der einzelnen Leiter des zusätzlichen Schutzpotentialausgleich sind in die Prüfung einzubeziehen.
- Schutzleiteranschlüsse und Verbindungen ringförmig installierter Endstromkreise

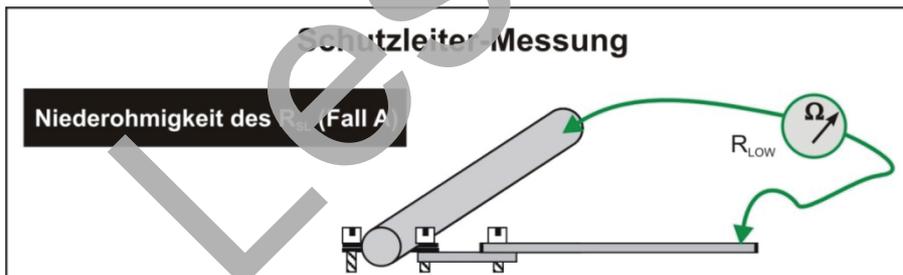


Bild 7: Niederohmigkeit des Schutzleiterwiderstandes (Fall A)

Fall A: Bei der Messung an Schellen oder Rohrleitungen muss die Prüfung stets so erfolgen, dass die gesamte metallische Konstruktion in die Messung mit einbezogen wird.

Fall B: An der von der Verteilung am weitesten entfernten Steckdose muss eine Messung des Schleifenwiderstandes R_{SCHL} erfolgen. An den anderen Anschlussstellen kann ebenfalls eine solche Messung oder der Nachweis der niederohmigen Verbindung zum PE erfolgen. Der Schutzleiterwiderstand R_{SL} ist Bestandteil der Fehlerschleife und kann (zumindest qualitativ) mit Hilfe einer Schleifenwiderstandsmessung R_{SCHL} ermittelt werden.

Der halbe Messwert kann für den Prüfer als Orientierung gelten. Jedoch ist dieser Wert nicht als Messergebnis zu dokumentieren.

7.1.5 Prüfung des Schutzleiterwiderstandes elektrischer Geräte

Der ordnungsgemäße Zustand der elektrischen Verbindung ist zwischen der Schutzleiteranschlussstelle des Gerätes - Schutzkontakt des Netzsteckers - und jedem mit dem Schutzleiter verbundenen berührbaren leitfähigen Teil festzustellen.

Außerdem ist der messtechnische Nachweis der ordnungsgemäßen Schutzleiterverbindung an allen leitfähigen Teilen zu führen, die bei der Instandsetzung oder Änderung zugänglich werden.



Bild 11: Prüfung des Schutzleiters (Geräteprüfung nach DIN VDE 0701-0702)

Prüfschritte sind:

- Sichtprüfung der einzelnen Schutzleiterverbindungen und der Schutzleiterverdrahtung
- Durchführung der Widerstandsmessung R_{SL} , bei der jeder Leitungsabschnitt in die Messung (gemäß Messschaltungen „Messung 1a“ oder „Messung 1b“) einbezogen wird
- jeder Leitungsabschnitt ist an den Einführungs- und Befestigungsstellen zu bewegen

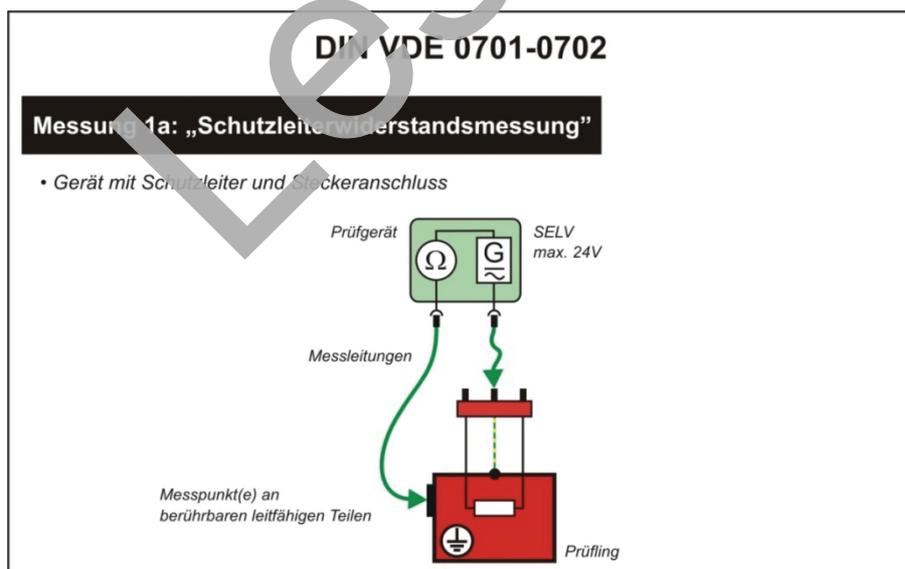


Bild 12: Messung 1a: Schutzleiterwiderstandsmessung, Gerät mit Schutzleiter und Steckeranschluss

Wenn bei der Isolationsmessung nicht der Wert „Unendlich“ (Messbereichsendwert - Überlauf) bzw. bei (Ersatz-) Ableitstrommessungen nicht der Messwert „Null“ angezeigt wird, ist das ein indirekter Nachweis dafür, dass der Schutzleiter nicht unterbrochen ist. Ein konkreter Schutzleiterwiderstand kann nicht ermittelt und im Prüfprotokoll angegeben werden.

b) Kaffeemaschine ohne berührbare leitfähige Teile

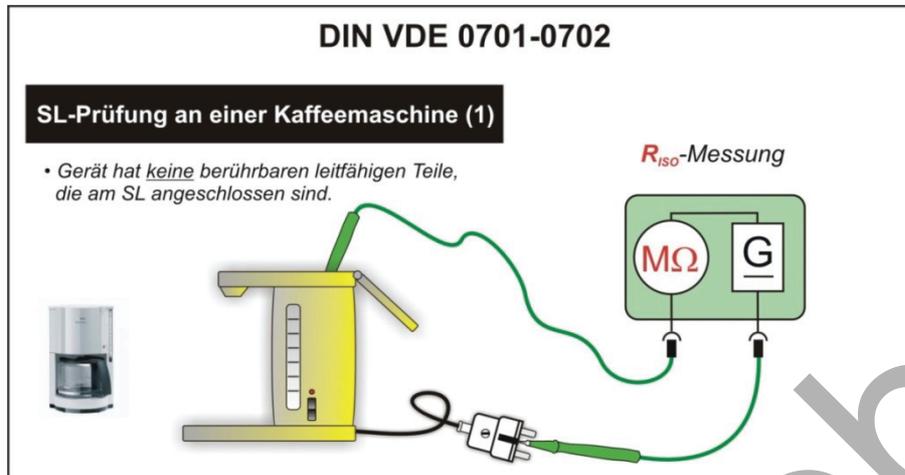


Bild 15: Schutzleiterprüfung an der Kaffeemaschine ohne berührbare leitfähige Teile (1)

Ein indirekter Nachweis, dass der Schutzleiter und seine Verbindungen intakt sind, kann wie folgt erbracht werden:

Wird bei Bewertung des Isoliervermögens bei SK I-Prüfungen nicht „Unendlich (Messbereichsendwert - Überlauf)“ für den Isolationswiderstandswert oder alternativ bei der Ersatzableitstrommessung $I_{Abl} = „0mA“$ angezeigt, ist indirekt der Nachweis erbracht, dass der Schutzleiter nicht unterbrochen sein kann.

Prüfmethode 1:

- Die Kaffeemaschine wird mit Wasser gefüllt. Ein Isolationswiderstand von annähernd $R_{ISO} = 0\Omega$ signalisiert einen an der Heizpatrone korrekt angeschlossenen Schutzleiter
- Eine Prüfspitze wird ins Wasser gehalten, die andere an den Schutzleiterkontakt des Gerätesteckers.

Eine quantitative Aussage zum Schutzleiterwiderstand R_{SL} ist aber nicht möglich, da die Auflösung der R_{ISO} -Messung dafür ungeeignet ist, die Prüfspannung zusammen bricht.

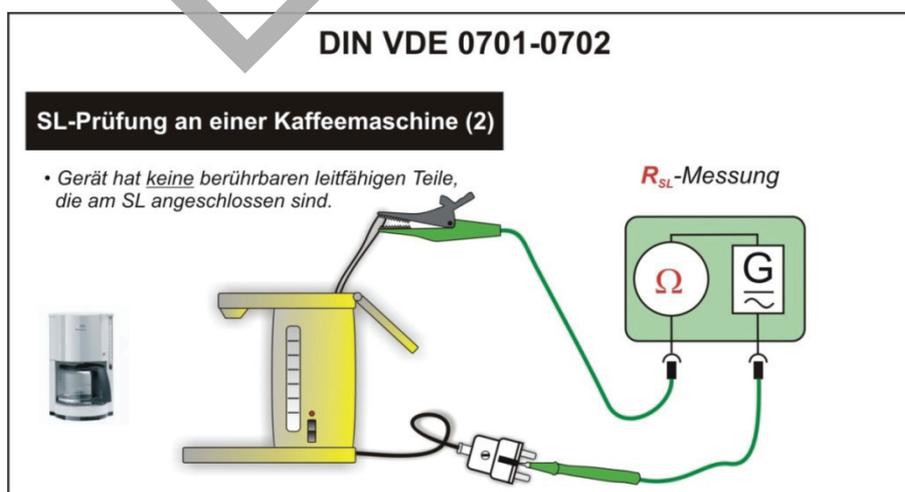


Bild 16: Schutzleiterprüfung an der Kaffeemaschine ohne berührbare leitfähige Teile (2)

Nachweis der Schutzleiterverbindung

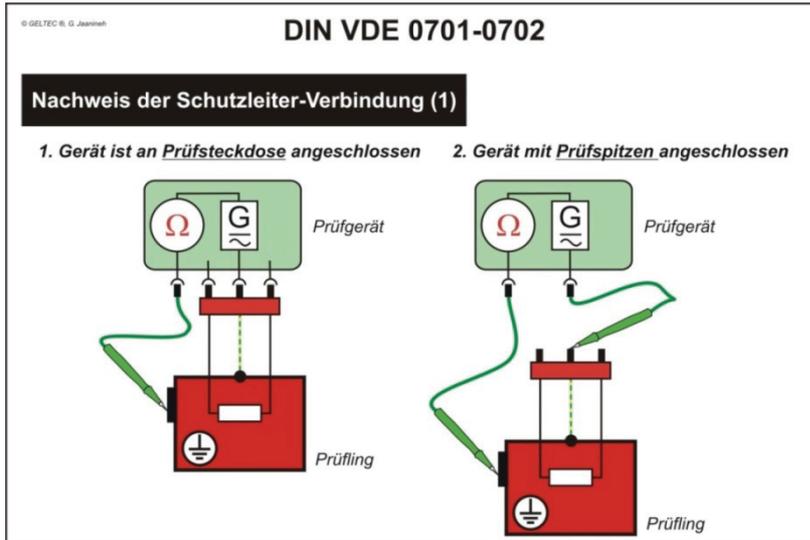


Bild 19: Nachweis der Schutzleiterverbindung (1)

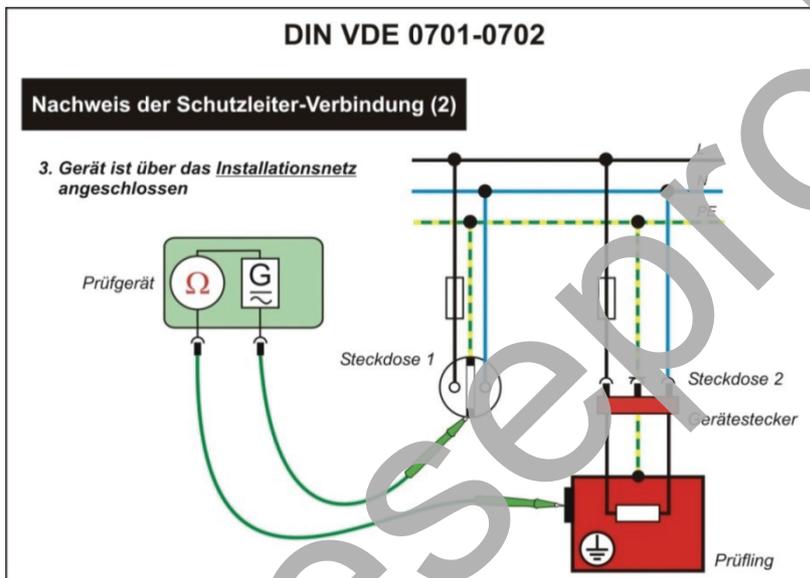


Bild 20: Nachweis der Schutzleiterverbindung (2)

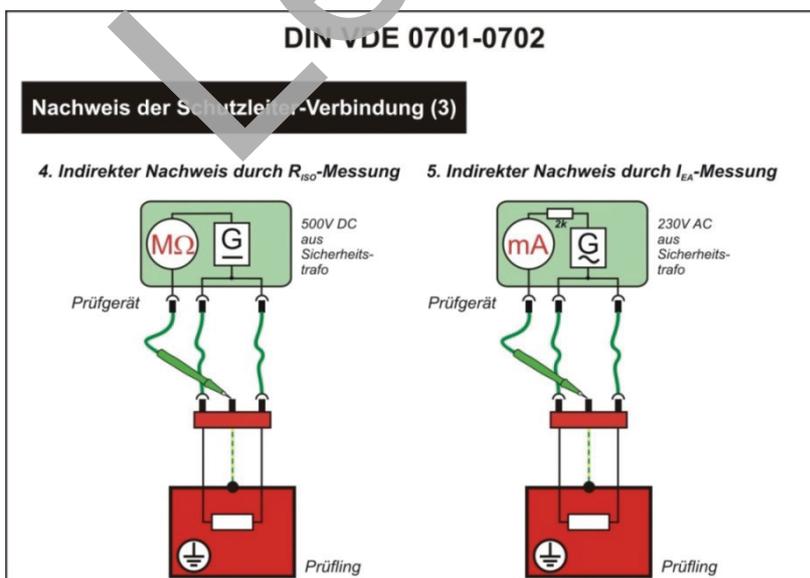


Bild 21: Nachweis der Schutzleiterverbindung (3)

Schleifenwiderstände von Stromkreisen mit RCD werden mit der Methode der Berührungsspannungsmessung und $1/3 I_{\Delta N}$ -Messung – also ohne Auslösung der RCD – ermittelt. Das Prüfgerät zeigt die Berührungsspannung und den Schleifenwiderstand an.

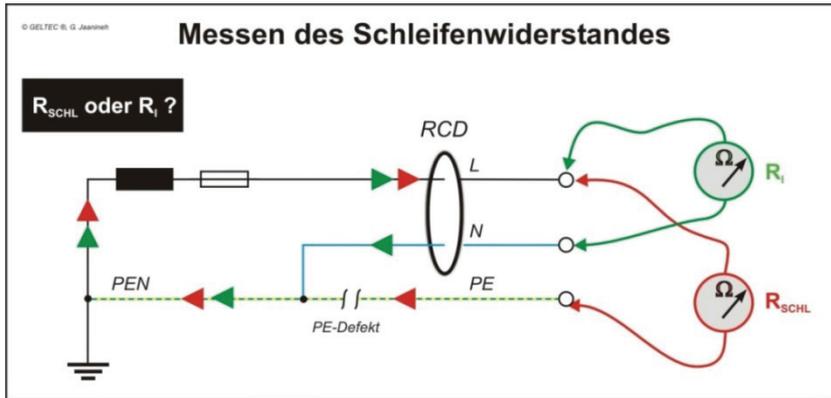


Bild 23: Messung des Schleifenimpedanz von Z_{SCHL} vs. Netzimpedanz Z_i

Beide Messverfahren sind in der Praxis als gleichwertig anzusehen. In Installationsanlagen sind die zu erwartenden Schleifenwiderstände $> 0,1\Omega$. Die Scheinwiderstände in Installationsanlagen sind bei einem in der Praxis zu erwartenden Phasenwinkel von $\varphi \ll 12^\circ$ und einem $\cos\varphi > 0,98$ etwa so groß wie der Wirkwiderstand. Die Messabweichung beträgt weniger als 2%.

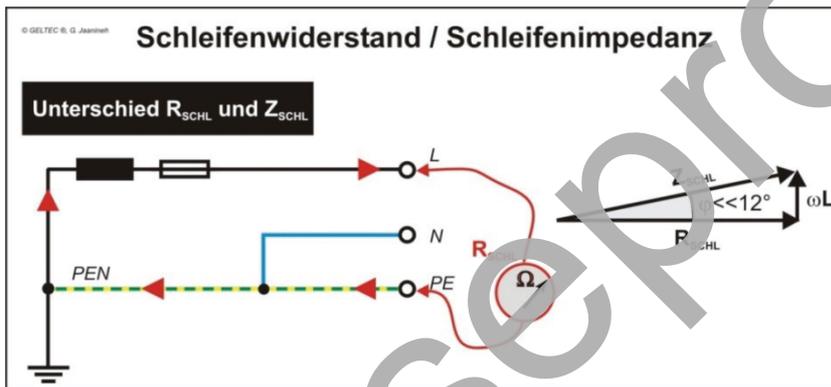


Bild 24: Messung des Schleifenwiderstandes R_{SCHL} vs. Schleifenimpedanz Z_{SCHL}

Prüfgerät - Potentialfreiheit des PE-Kontaktes

Das PE-Potential (im Prüfgerät) wird mit dem Potential der die Metallplatte an der Prüfsonde berührenden Person verglichen. Bei festgestellten Potentialunterschieden erfolgt eine Warnmeldung auf dem Display des Messgerätes und weitere Messschritte werden gesperrt.

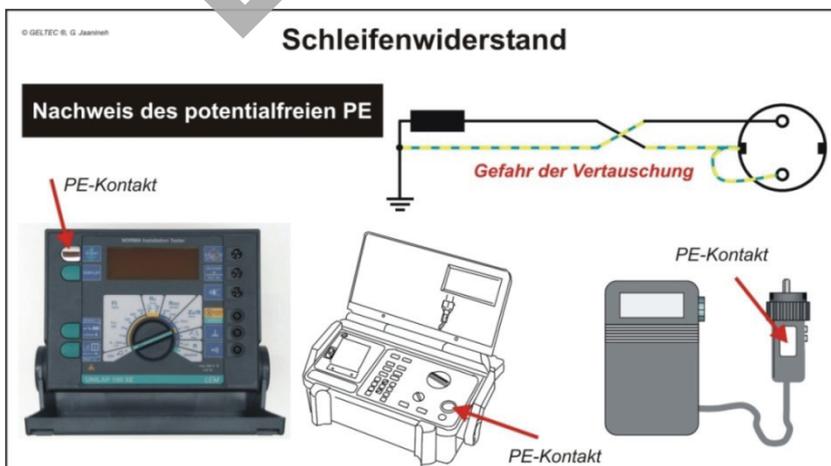


Bild 25: Potentialfreiheit des PE-Kontaktes

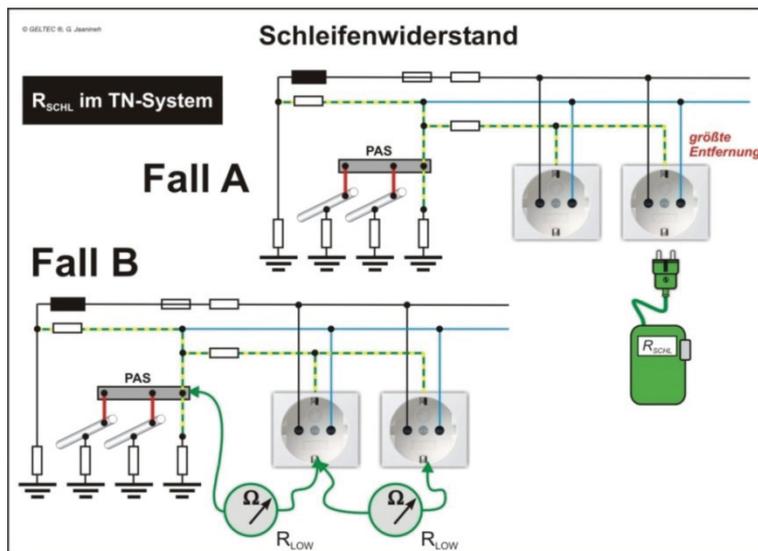


Bild 28: Schleifenwiderstandsmessung im TN-Netzsystem ohne RCD

Fall A: Die Messung von R_{SCHL} erfolgt mit einem Messstrom von $1/3 I_{AN}$ an der entferntesten Steckdose ohne RCD-Auslösung. Im Fehlerfall ist eine Abschaltung in $< 0,4s$ (TN-Netzsystem) zu gewährleisten bzw. hat eine Abschaltung beim Überschreiten der zulässigen Berührungsspannung von 50V AC (25V AC in medizinisch genutzten Räumen) zu erfolgen.

Fall B: Messungen der Schleifenwiderstände zu jedem einzelnen Schutzleiteranschluss in der Installationsanlage zum Nachweis der niederohmigen Verbindungen. Es sind die niederohmigen Verbindungen zu den einzelnen Schutzleiteranschlusspunkten der Anlage messtechnisch festzustellen oder eine erneute Messung von R_{SCHL} mit der Methode nach Fall A durchzuführen.

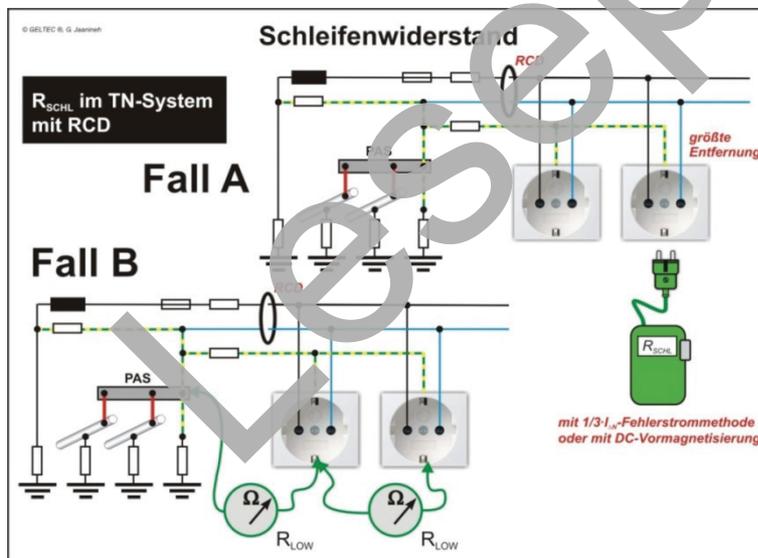


Bild 29: Schleifenwiderstandsmessung im TN-Netzsystem mit RCD

Die Ermittlung des Schleifenwiderstandes zum Nachweis der Abschaltbedingung im TN-Netzsystem **mit Fehlerstromschutzschalter (RCD)** ist nicht erforderlich, da selbst bei einer 1000mA-RCD erst ein Schleifenwiderstand von 50Ω eine Berührungsspannung von 50V AC zur Folge hätte.

Das entspricht einem 4,2km langen Schutzleiter bei einem Querschnitt von $1,5\text{mm}^2$.

Diese Ausdehnungslänge eines einzelnen Schutzleiters ist in TN-Netzsystem - Installationsanlagen praktisch nicht erreichbar.