

7 Schutz gegen elektrischen Schlag

7.1 Gefahren des elektrischen Stromes

Tod auf Gartenparty

... Auf einer Gartenparty stellte ein Jugendlicher eine Stehleuchte neben den Gartentisch. Über eine Verlängerungsleitung wurde die Lampe an das Netz angeschlossen. Als er die Lampe näher an den Tisch stellte und einschaltete, fiel er tot zu Boden....

1. Fehler:

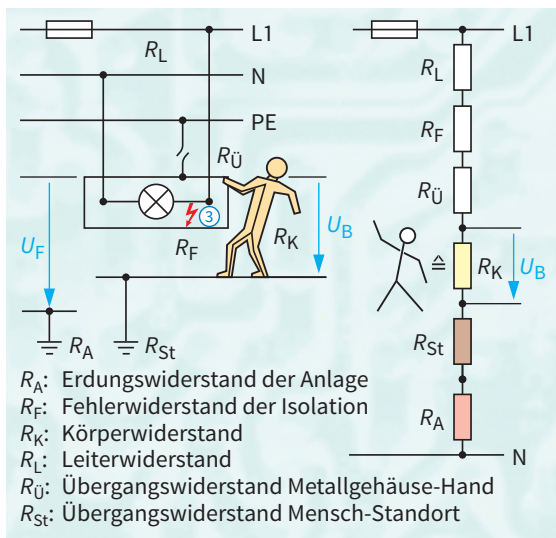
Der Schutzleiter, der mit dem Metallgehäuse verbunden sein sollte, hatte sich beim Bewegen der Leuchte aus der Verschraubung gelöst.

2. Fehler:

Die scharfe Innenkante des Gewindenippels, der in die Fassung eingeschraubt war, hatte die Isolierung des Leiters beschädigt. Der Spannung führende Leiter kam mit dem Metallgehäuse in Berührung.

Wie kommt es zu einem Stromschlag?

Zur Erklärung verwenden wir den Stromlaufplan der fehlerhaften Leuchte nach Abb. 1. Dort ist eine Person dargestellt, die das Metallgehäuse berührt. Infolge eines Isolationsfehlers ③ steht das Gehäuse unter Spannung. Im entstehenden Fehlerstromkreis liegen jetzt einige Widerstände, die die Größe des Fehlerstromes (Körperstrom I_K) beeinflussen.

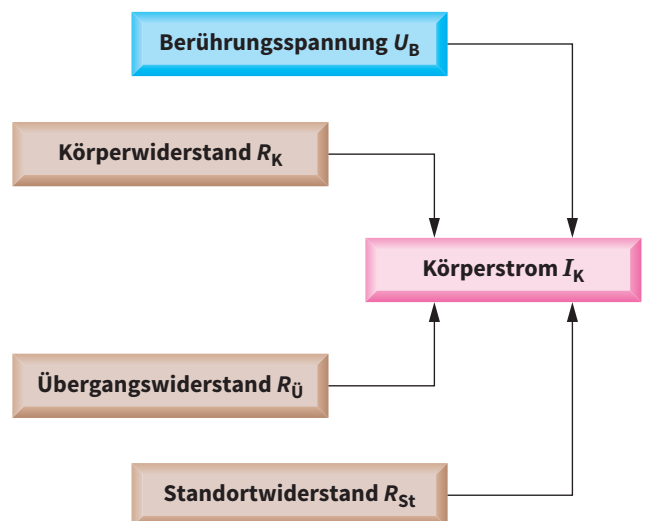


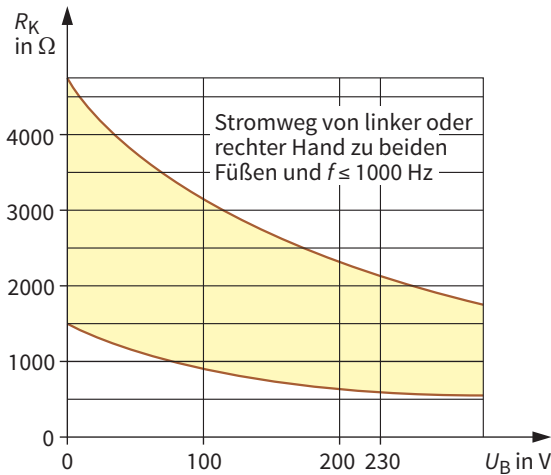
1: Ersatzschaltbilder im Fehlerfall

Eine weitere Einflussgröße auf den Körperstrom ist die Berührungsspannung U_B . Bei der fehlerhaften Stehleuchte beträgt die Berührungsspannung 230 V (Abb. 1). Der zu hohe Körperstrom löste den tödlichen Stromschlag aus.

Aus folgender Darstellung kann man ablesen, von welchen Größen der Körperstrom I_K abhängt.

Diese Größen beeinflussen den Körperstrom:





1: Körperwiderstand R_K in Abhängigkeit von U_B (Bereich für mögliche Körperwiderstände)

Durch Untersuchungen wurde festgestellt, dass der Körperwiderstand R_K auch von der Höhe der **Berührungsspannung** U_B abhängt. Wird die Berührungsspannung größer, dann verkleinert sich der Widerstand des menschlichen Körpers (Abb. 1). Der Körperstrom I_K wird dann größer und die Gefährdung des Menschen nimmt damit zu. Eine wichtige Einflussgröße ist dabei der Weg des Stromes durch den menschlichen Körper.

Physiologische Wirkungen (Abb. 2)

Fließt ein Strom durch den menschlichen Körper, dann sind folgende physiologische Wirkungen bemerkbar.

- Kleinere Stromstärken ($< 0,5$ mA), die nur als **leichtes Kribbeln** ① bemerkt werden, wirken sich bereits gesundheitsschädlich aus.
- Größere Stromstärken ($> 0,5$ mA) lösen **Muskelverkrampfungen** ② aus. Das fehlerhafte Gerät kann nicht mehr losgelassen werden (Loslassschwelle bei ca. 5 mA).
- Stromstärken ab etwa 30 mA können zu **Herzkammerflimmern** ③ mit anschließendem **Herzstillstand** ④ führen. An den Berührungsstellen treten Verbrennungen auf.
- Auch kurze Stromeinwirkungen („Wischer“) können zu **Folgeschäden** (z. B. Sturz von der Leiter) führen.

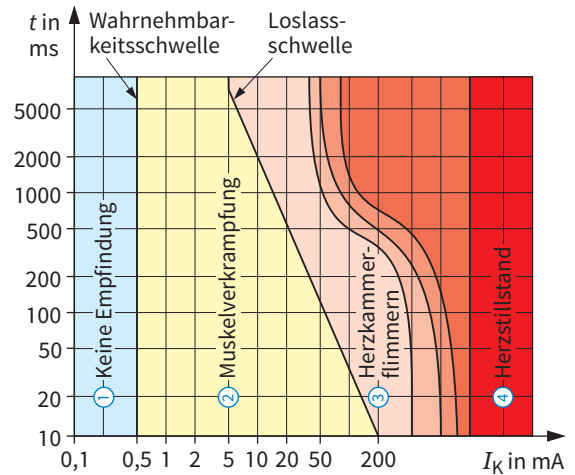
Neben den oben genannten Wirkungen gibt es noch weitere Wirkungen.

Die **Wärmewirkung** führt zu

- Strommarken an den Eintrittsstellen,
- Gerinnung des Bluteiweiß und
- Platzen der roten Blutkörperchen.

Die **chemische Wirkung** bewirkt

- Zersetzung der Zellflüssigkeit und
- eventuellen späteren Tod durch Vergiftung.



2: Stromstärkebereiche bei Wechselstrom (50 Hz)

Einwirkungszeit und Körperstrom

In Abb. 2 sind die unterschiedlichen Wirkungen des elektrischen Stromes in Abhängigkeit von den einzelnen Stromstärken dargestellt. Daran können Sie je nach Größe der Stromstärke und Einwirkungszeit die Art der Gefährdung ablesen. Bei längerer Einwirkungszeit kann bereits ein kleinerer Körperstrom für Menschen und Tiere gefährlich sein, weil er zu Herzkammerflimmern bzw. Herztod führt.

Die aufgezählten Wirkungen werden weiterhin durch

- **Körperbau** wie Größe und Gewicht,
- **Hautbeschaffenheit** (feucht oder trocken) und
- **körperliche Verfassung** beeinflusst.

Auch die Kleidung, besonders die Qualität des Schuhwerks, spielt eine wichtige Rolle. Sie beeinflusst den Übergangswiderstand $R_{Ü}$.

- Ein Körperstrom von 50 mA führt bei einer Einwirkungszeit von 1 s zum Tod durch Herzstillstand.

Aufgaben

1. Laut Untersuchungen besteht für 95 % aller Menschen bei der Spannung 230 V und ungünstigstem Stromfluss durch den Körper ein Gesamtwiderstand $R_K + R_{Ü} \approx 2100 \Omega$. Wie groß ist I_K ?
2. Welche gesundheitlichen Folgen können sich nach Abb. 2 ergeben, wenn bei der berechneten Stromstärke von Aufgabe 1 die Einwirkungszeit t a) 20 ms; b) 100 ms; c) 1000 ms beträgt?
3. Stellen Sie die Einflussgrößen zusammen, die sich auf Körper- und Übergangswiderstand auswirken!
4. Beschreiben Sie drei Wirkungen auf den menschlichen Körper, die bei den Stromstärken 0,4 mA, 1,2 mA und 55 mA auftreten können, wenn die Einwirkungszeit 0,2 s beträgt!

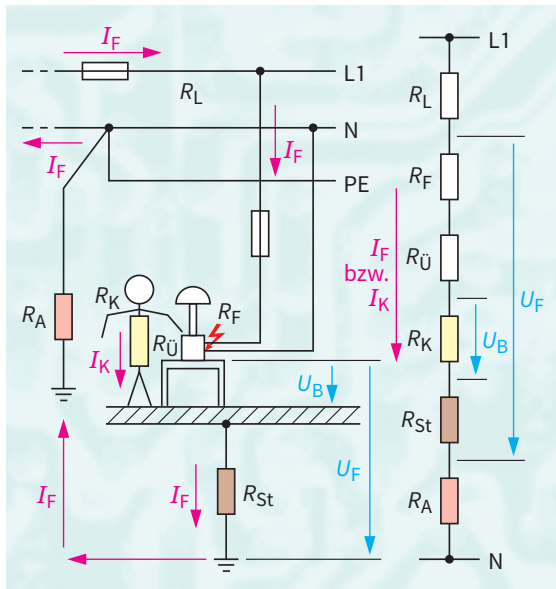
7.2 Fehlerstromkreis

Gehen wir von folgendem Fehlerfall aus. An einem Elektrogerät entsteht durch einen Isolationsfehler ein Körperschluss, also eine leitende Verbindung zwischen dem Spannung führenden Leiter und dem Gehäuse. Die Netzspannung des Außenleiters L1 liegt an dem Metallgehäuse. Die Sicherung löst nicht aus, weil der Schutzleiter unterbrochen oder nicht angeschlossen ist. Wie fließt jetzt der Strom, wenn eine Person das Gehäuse berührt?

Zwischen Gehäuse und Erde (Bezugs Erde) besteht eine **Fehlervoltage** U_F (Abb. 3). Über den Standort des fehlerhaften Elektrogerätes fließt als Folge der Fehlervoltage ein **Fehlerstrom** I_F zur Betriebs Erde R_A der Anlage.

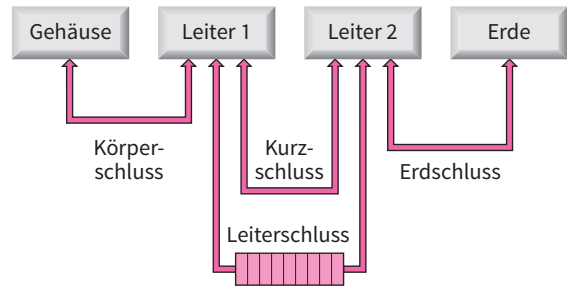
Wie verläuft der Fehlerstrom?

Der Fehlerstrom entsteht durch einen Isolationsfehler. Dabei durchfließt I_F eine Reihe von Widerständen. Der jeweilige Stromweg für I_F und I_K wird in den beiden Ersatzschaltbildern verdeutlicht.



3: Fehlerstromkreis bei Körperschluss

- **Fehlervoltage** U_F ist die Spannung, die bei einem Isolationsfehler, z. B. Körperschluss, zwischen Gehäuse und Erde auftritt.
- **Berührungsspannung** U_B ist die Spannung zwischen leitfähigen Teilen, die gleichzeitig von Mensch oder Nutztier berührt werden.
- **Fehlerstrom** I_F ist der Strom, der durch einen Isolationsfehler und die anstehende Fehlervoltage zum Fließen kommt.
- **Körperstrom** I_K ist der Strom, der durch einen Isolationsfehler und bei überbrückter Berührungsspannung durch den menschlichen Körper fließt.



4: Fehlerarten

Mögliche Fehler in einer Anlage

Außer Körperschluss (direkte Verbindung zwischen Gehäuse und Leiter) können andere Fehler in einer Anlage dazu führen, dass ein Fehlerstromkreis entsteht und ein Fehlerstrom fließt. In Abb. 4 sind die verschiedenen **Fehlerarten** schematisch dargestellt. Die fehlerhafte Verbindung wird jeweils durch den Doppelpfeil gekennzeichnet.

Kurzschluss ist ein Fehler, bei dem sich zwei unter Spannung stehende Leiter, z. B. die Außenleiter L1 und L2, berühren. Bei dieser Verbindung fließt ein sehr großer Strom, der als Kurzschlussstrom bezeichnet wird.

Beispiel: Überbrückung von zwei Stromschienen in einer Verteilung.

Ein **Erdschluss** entsteht, wenn zwischen einem Spannung führenden Leiter und dem geerdeten Anlagenteil eine leitende Verbindung besteht.

Beispiel: Freileitung (L1) reißt und fällt zu Boden.

Bei einem **Leiterschluss** wird ein Teil des Nutzwiderstandes (Widerstand des Verbrauchers) überbrückt.

Beispiel: Ein Teil des Heizwiderstandes, z. B. in einem Toaster, wird durch Beschädigung der Isolierung überbrückt.

- Schutzleiter müssen am Metallgehäuse eines Gerätes angeschlossen werden, damit im Fehlerfall der Fehlerstrom die Abschaltung auslöst.

Aufgaben

1. Beschreiben Sie die Fehlersuche an einer Tischleuchte mit Metallfuß, bei der beim Einschalten die Sicherung auslöst!
2. Erklären Sie den Unterschied zwischen Kurzschluss und Erdschluss!
3. Zeichnen Sie den Fehlerstromkreis mit den Widerständen bei Kurzschluss! Tragen Sie die Pfeile für U_F und I_F in die Schaltung ein!
4. Warum fließt beim Fehler „Kurzschluss“ im Vergleich zu den anderen Fehlerarten der größte Strom?

7.3 Sicherheitsregeln beim Arbeiten in elektrischen Anlagen

Wenn Handwerker an bestimmten Arbeitsstellen tätig sind, müssen Regeln beachtet werden. Für die Elektrofachkraft gelten bestimmte **Vorschriften (UVV, VDE)** und **Normen (DIN)**.

Vielleicht haben Sie Situationen erlebt, in denen auf bestimmte Vorschriften, z. B. „Betrieb von elektrischen Anlagen“ (DIN VDE 0105-100), hingewiesen wurde.

Beim Arbeiten in Anlagen ist deshalb die Einhaltung von Vorschriften und Regeln lebenswichtig auch mit Rücksicht auf Mitarbeiter, die in der Anlage arbeiten.

Unfallverhütungsvorschrift

Die Unfallverhütungsvorschrift mit der Bezeichnung **Elektrische Anlagen und Betriebsmittel (DGUV Vorschrift 3)** wird von der Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik herausgegeben. Sie ist für alle im Betrieb tätigen Personen verbindlich. Neben anderen Vorschriften enthält sie die für den Facharbeiter sehr wichtigen **fünf Sicherheitsregeln**.

Messkreiskategorien (CAT) für Niederspannungsmessgeräte

Messgeräte sind je nach Einsatzort in vier Messkreiskategorien (vgl. DIN EN 61010-1) eingeteilt. Je höher die Kategoriezahl desto höher ist aufgrund des Stromversorgungssystems die auftretende Leistung und eine hohe Stromstärke, z. B. bei Überspannung oder Blitzeinschlag.

- **CAT I:** Stromkreise mit Schutz gegen Überspannungen, z. B. mit elektronischen Geräten ...
- **CAT II:** Wechselstrom-Steckdosenstromkreise, z. B. für Werkzeuge ...
- **CAT III:** Stromkreise, z. B. für Drehstrommotoren ...
- **CAT IV:** Stromkreise des Versorgungsnetzes, z. B. Zählerabgänge ...

- Die fünf Sicherheitsregeln müssen in vorgeschriebener Reihenfolge durchgeführt werden.
- Nach Abschluss der Arbeiten sind die Sicherheitsregeln in umgekehrter Reihenfolge aufzuheben.
- In Anlagen bis 1000 V entfällt die 4. Regel, wenn Regeln eins bis drei eingehalten werden.

5 Sicherheitsregeln

1. Freischalten

Das Anlagenteil muss allpolig und allseitig abgeschaltet werden.



2. Gegen Wiedereinschalten sichern

Nur die an der Anlage tätigen Personen dürfen das betreffende Anlagenteil wieder in Betrieb nehmen.



3. Spannungsfreiheit feststellen

Durch Messung mit geeignetem Messgerät (mindestens CAT III) vergewissern, dass keine Spannung gegen Erde am betreffenden Anlagenteil vorhanden ist.



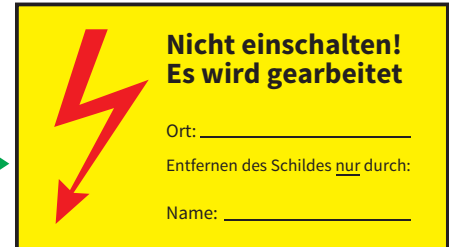
4. Erden und Kurzschließen¹⁾

Von der Erdungsklemme ausgehend alle Leiter untereinander verbinden.



5. Benachbarte, unter Spannung stehende Teile abdecken oder abschränken

Abdecken oder Abschränken verhindern, dass Anlagenteile nicht berührt werden können.



¹⁾ In Anlagen mit Bemessungsspannungen bis 1 kV darf unter bestimmten Umständen hiervon abgewichen werden (vgl. DIN VDE 0105-100).