

ELEKTRISCHE SICHERHEIT

Gefahren des elektrischen Stromes

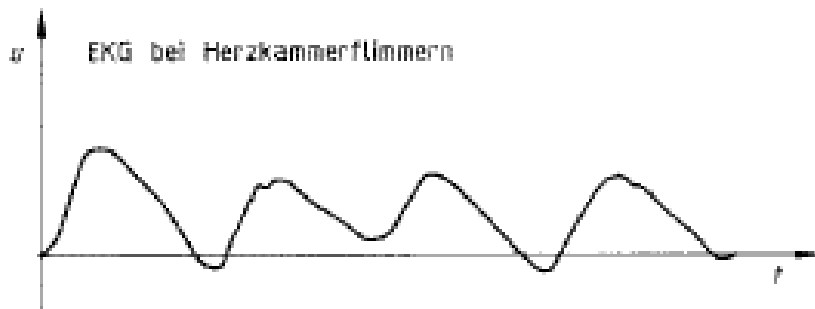
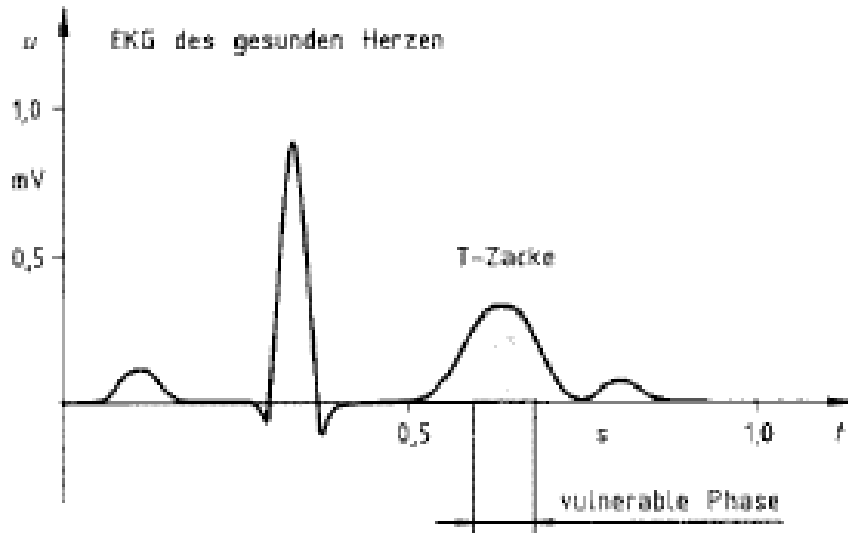
Gefahren des elektrischen Stromes

Körpereigene Ströme

Viele Körperfunktionen, z. B. die Herz- und Muskeltätigkeit, werden durch schwache elektrische Impulse gesteuert. Diese körpereigenen Ströme können über Elektroden abgeleitet und gemessen werden. Besonders wichtig sind die Ströme, die die Herzfunktion steuern. Sie können in einem EKG (Elektrokardiogramm) dargestellt und dann vom Arzt analysiert werden. Besonders markante Stellen sind im dargestellten Diagramm gekennzeichnet. Von besonderer Bedeutung für den Verlauf eines elektrischen Unfalls ist dabei die „T-Zacke“.

Gefahren des elektrischen Stromes

Körpereigene Ströme



Während dieses Teils der Kurve ist das Herz besonders empfindlich gegen Fremdströme. Tritt während der T-Zacke ein elektrischer Unfall ein, so ist die Gefahr einer dauerhaften Schädigung besonders groß. Diese Phase heißt deshalb „vulnerable (verletzbare) Phase“.

Gefahren des elektrischen Stromes

Gefährliche Körperströme

Wird der menschliche Körper von Fremdströmen durchflossen, so wird das körpereigene Steuersystem gestört. In einfachen Fällen können dabei Muskelverkrampfungen, in schweren Fällen Herzstörungen und Atemlähmung auftreten. Besonders gefährlich ist das Herzkammerflimmern, bei dem das Herz seine Pumptätigkeit einstellt; es führt ohne sofortige ärztliche Hilfe immer zum Tod.

Gefahren des elektrischen Stromes

Gefährliche Körperströme

Bei sehr großen Fremdströmen z. B. einige Ampere, bei Hochspannungsunfällen, kommt es meist zu schweren inneren Verbrennungen; diese können durch giftige Zersetzungsprodukte noch nach Tagen zum Tod führen. Da Fremdströme immer die Herztätigkeit stören können, sollte man auch nach einem glimpflich verlaufenen Elektrounfall einen Arzt aufsuchen.

Gefahren des elektrischen Stromes

Wirkungsbereiche

Die Wirkung des elektrischen Stromes auf den menschlichen Körper (physiologische Wirkung) ist von mehreren Faktoren abhängig, insbesondere von

1. Stromstärke
2. Einwirkdauer
3. Stromweg über den Menschen
4. Frequenz
5. Allgemeinzustand des Betroffenen

Gefahren des elektrischen Stromes

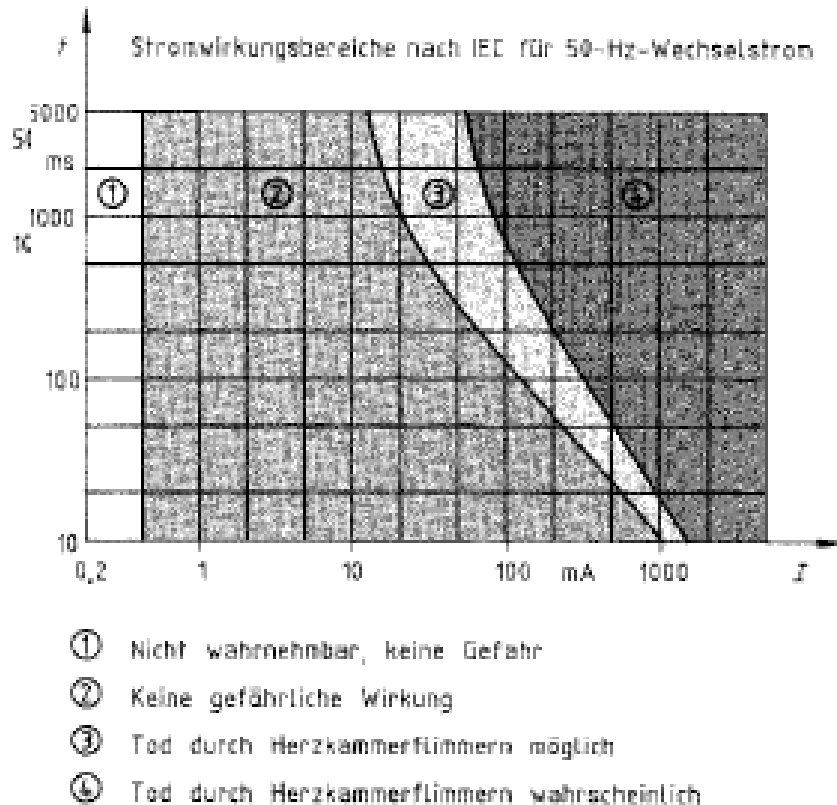
Wirkungsbereiche

Die Wirkung des elektrischen Stromes auf den menschlichen Körper (physiologische Wirkung) ist von mehreren Faktoren abhängig, insbesondere von

1. Stromstärke
2. Einwirkdauer
3. Stromweg über den Menschen
4. Frequenz
5. Allgemeinzustand des Betroffenen

Gefahren des elektrischen Stromes

Wirkungsbereiche

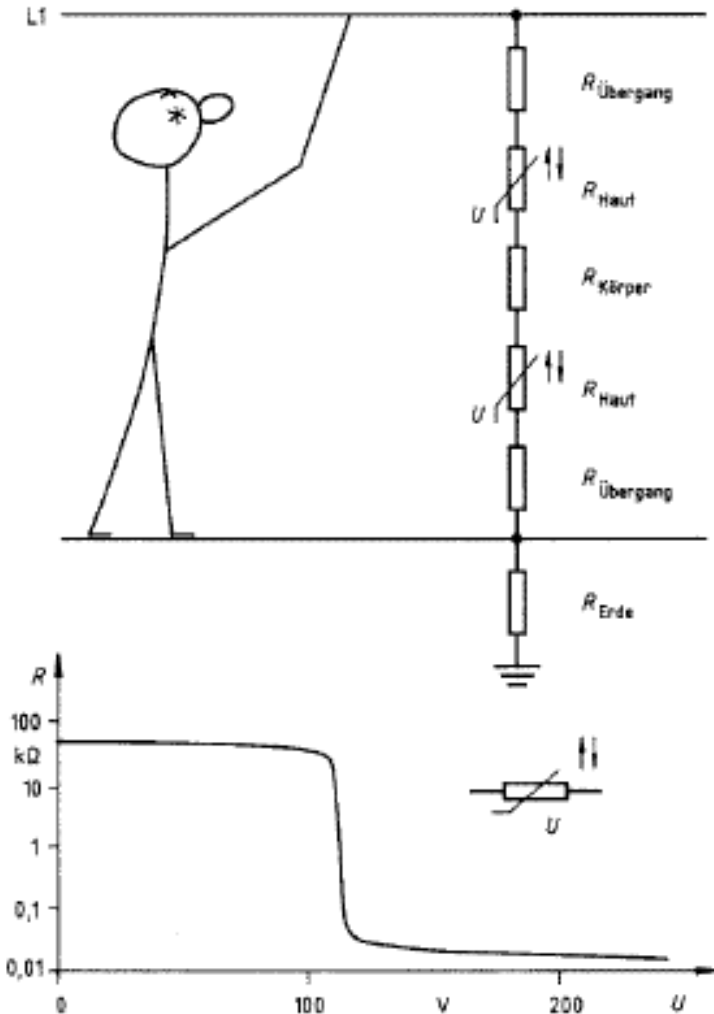


Im nebenstehenden Diagramm (nach IEC) sind die Gefahrenbereiche aufgrund von Stromstärke und Einwirkdauer für gesunde Erwachsene angegeben. Kinder und Kranke sind naturgemäß stärker gefährdet. Auch Tiere sind empfindlicher gegen elektrische Fremdströme.

Gefahren des elektrischen Stromes

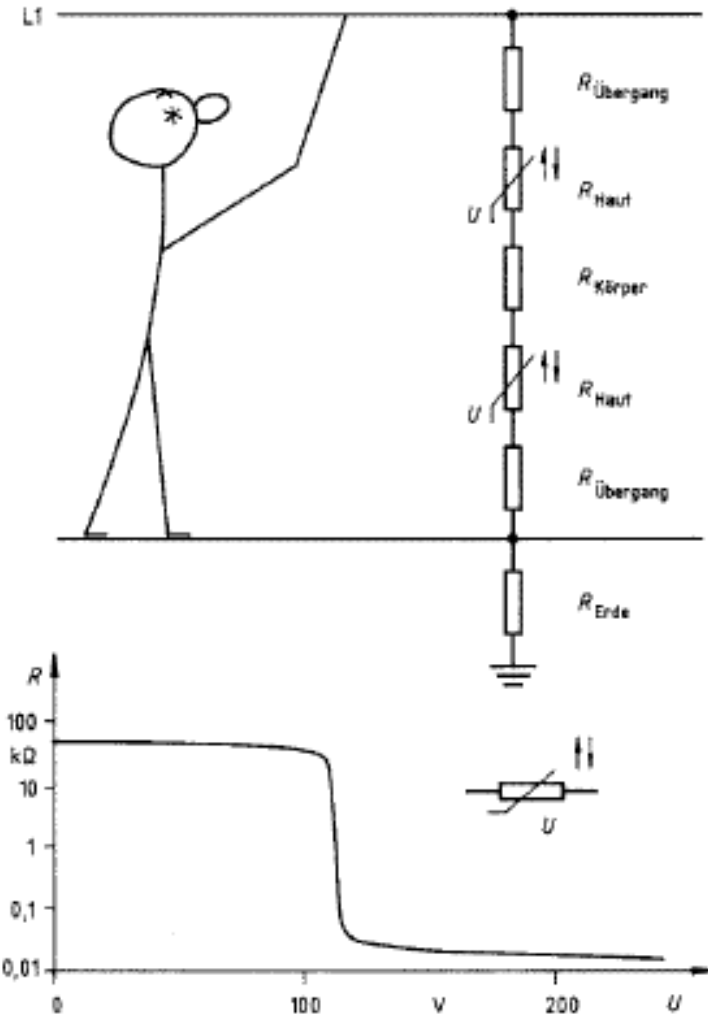
Der Mensch im elektrischen Stromkreis

Der über den menschlichen Körper fließende Strom folgt dem Ohmschen Gesetz. Der Strom ist also abhängig von der anliegenden Spannung und den wirksamen Widerständen.



Gefahren des elektrischen Stromes

Der Mensch im elektrischen Stromkreis

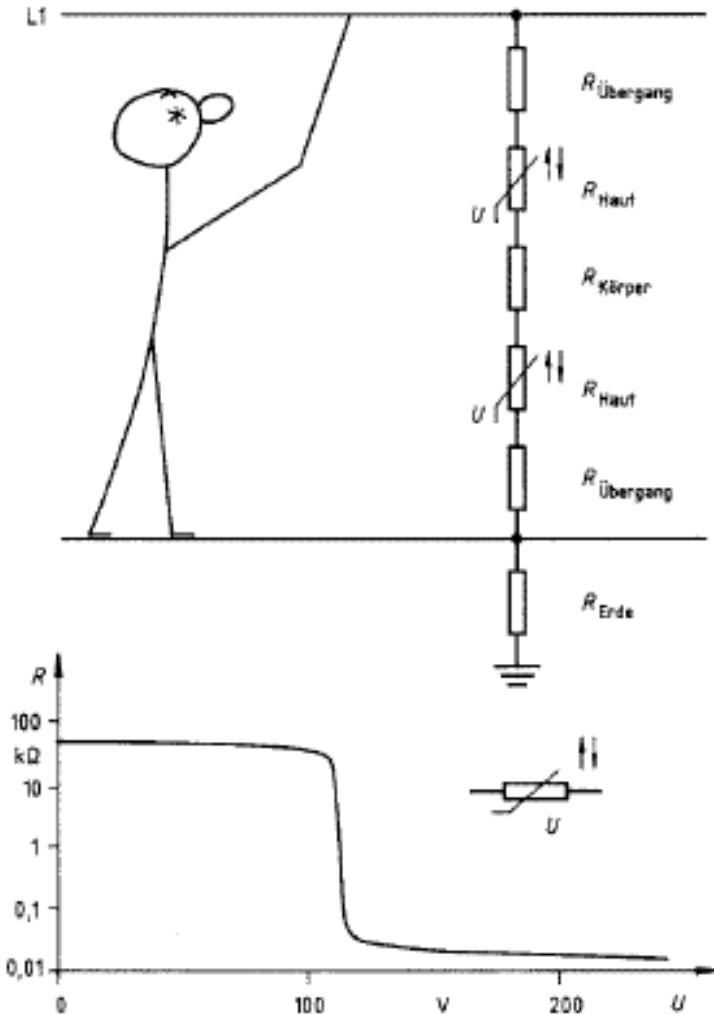


Es sind dies der Körperwiderstand (Blutbahn) und die Übergangswiderstände (Haut, Schuhe, Fußboden). Unter günstigen Umständen können die Übergangswiderstände sehr groß, der fließende Körperstrom also entsprechend klein sein.

Gefahren des elektrischen Stromes

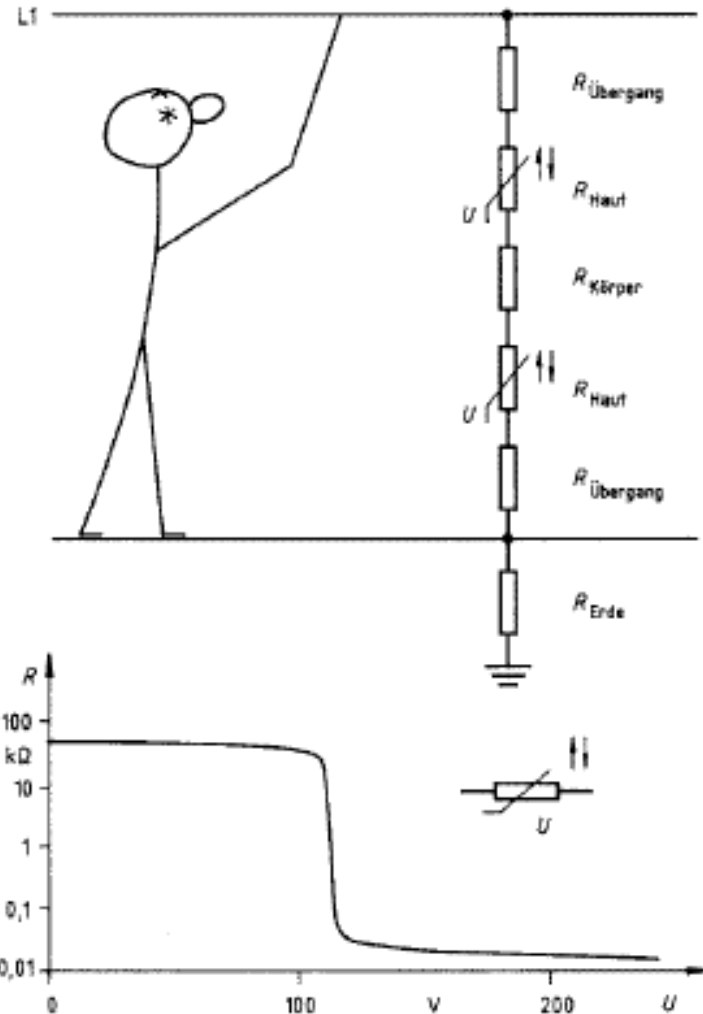
Der Mensch im elektrischen Stromkreis

Unter ungünstigen Umständen sind die Übergangswiderstände vernachlässigbar klein; in diesem Fall wirkt nur der Körperwiderstand des Menschen strombegrenzend.



Gefahren des elektrischen Stromes

Der Mensch im elektrischen Stromkreis



Der Körperwiderstand des erwachsenen Menschen beträgt ungefähr 1 k Ω . Körperströme, die 50 mA überschreiten, gelten als lebensgefährlich; daraus folgt, daß die höchstzulässige Berührungsspannung 50V betragen darf.

Gefahren des elektrischen Stromes

Der Mensch im elektrischen Stromkreis

In besonders kritischen Bereichen (Kinderspielzeug, medizinische Geräte, Tierhaltung) ist die zulässige Berührspannung auf 25 V begrenzt.

Merke: Körperwiderstand $R = 1 \text{ k}\Omega$

Maximal zulässiger Strom $I_{\max} = 50 \text{ mA}$

Maximale Berührspannung $U_{\max} = 50 \text{ V (25 V)}$

Gefahren des elektrischen Stromes

Widerstand der menschlichen Haut

Der Hautwiderstand hängt in gewissen Grenzen davon ab, ob die Haut trocken oder nass (Schweiß) ist, ob sie weich oder schwielig ist und ob der Anpressdruck der spannungsführenden Teile klein oder groß ist. Auch die Berührfläche spielt eine gewisse Rolle. Der Hautwiderstand liegt aber immer im Kilo-Ohm-Bereich (etwa 30 bis 100 k Ω), wenn die anliegende Spannung unter 50 V ist.

Steigt die Spannung auf über 100V, so kann die Haut durchschlagen werden. Im Durchschlagskanal (Strommarke) verkohlt die Haut, der Widerstand sinkt auf nahezu Null.

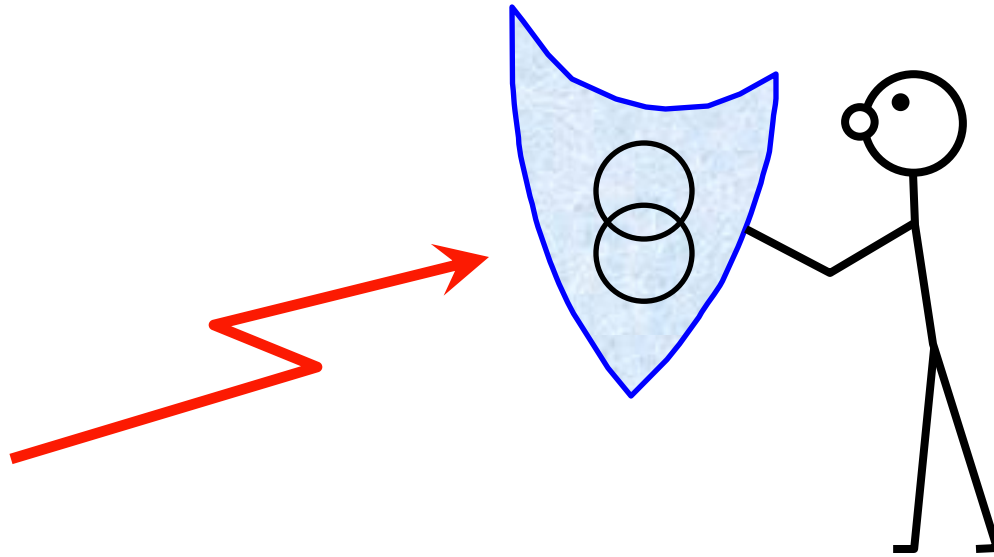
Gefahren des elektrischen Stromes

Elektrische Unfälle

Bei elektrischen Unfällen unterscheidet man üblicherweise zwischen Primär- und Sekundärunfällen.

Primärunfälle: Unfälle, die direkt durch Stromeinwirkung entstehen, insbesondere Herzkammerflimmern und Verbrennungen.

Sekundärunfälle: Unfälle, bei denen der Strom Auslöser für weitere Unfälle ist, z. B. Sturz von einer Leiter.



Schutzmaßnahmen

Schutzmaßnahmen

Direktes und indirektes Berühren

Menschen und Tiere können durch die Berührung mit elektrischer Spannung in Lebensgefahr geraten. Die Möglichkeiten des Schutzes gegen gefährliche Körperströme sollen untersucht werden.

Direktes Berühren ist das Berühren von Anlageteilen, die betriebsmäßig unter Spannung stehen. Der Schutz gegen direktes Berühren wird durch Isolierung erreicht, aber auch durch Abdeckung oder Umhüllung aller aktiver Anlageteile, sowie durch Aufstellen von Hindernissen und Einhalten von Sicherheitsabständen.

Schutzmaßnahmen

Direktes und indirektes Berühren

Indirektes Berühren ist das Berühren von Anlageteilen und Betriebsmitteln, die wegen eines Fehlers Spannung gegen Erde führen. Der Schutz wird vor allem durch schnelles Abschalten erreicht, außerdem durch Schutzisolierung, nichtleitende Räume, Schutztrennung oder örtlichen erdfreien Potentialausgleich.

Die Schutzmaßnahmen Schutzkleinspannung, Funktionskleinspannung und Begrenzung der Entladeenergie gewähren Schutz bei direktem und indirektem Berühren.

Schutzmaßnahmen

Schutzmaßnahmen ohne Schutzleiter

Beim Schutz gegen gefährliche Körperströme durch indirektes Berühren unterscheidet man Maßnahmen mit Schutzleiter (Schutzklasse I) und ohne Schutzleiter (PE). Schutzmaßnahmen, die keinen Schutzleiter haben, sind unabhängig von der Netzform. Es sind dies Schutzisolierung (Schutzklasse II), nichtleitende Räume, erdfreier örtlicher Potentialausgleich, Schutzkleinspannung (Schutzklasse III), Funktionskleinspannung und Schutztrennung.

Schutzmaßnahmen

Schutzmaßnahmen ohne Schutzleiter

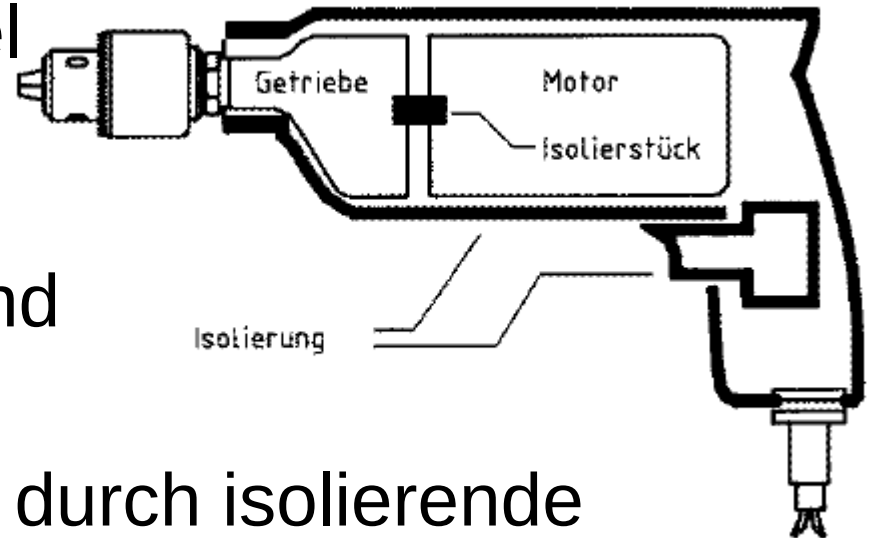
Beim Schutz gegen gefährliche Körperströme durch indirektes Berühren unterscheidet man Maßnahmen mit Schutzleiter (Schutzklasse I) und ohne Schutzleiter (PE). Schutzmaßnahmen, die keinen Schutzleiter haben, sind unabhängig von der Netzform. Es sind dies Schutzisolierung (Schutzklasse II), nichtleitende Räume, erdfreier örtlicher Potentialausgleich, Schutzkleinspannung (Schutzklasse III), Funktionskleinspannung und Schutztrennung.

Schutzmaßnahmen

Schutzisolierung

Schutzisolierte Betriebsmittel haben zusätzlich zur Betriebsisolation (Basisisolation) eine feste und dauerhafte Schutzisolation.

Wellen von Motoren werden durch isolierende Zwischenstücke vom Getriebe getrennt. Zwingend vorgeschrieben ist die Schutzisolierung für Handleuchten, Zählertafeln, Kleinverstärker, Spielzeugtransformatoren und ortsveränderliche Sicherheitstransformatoren.

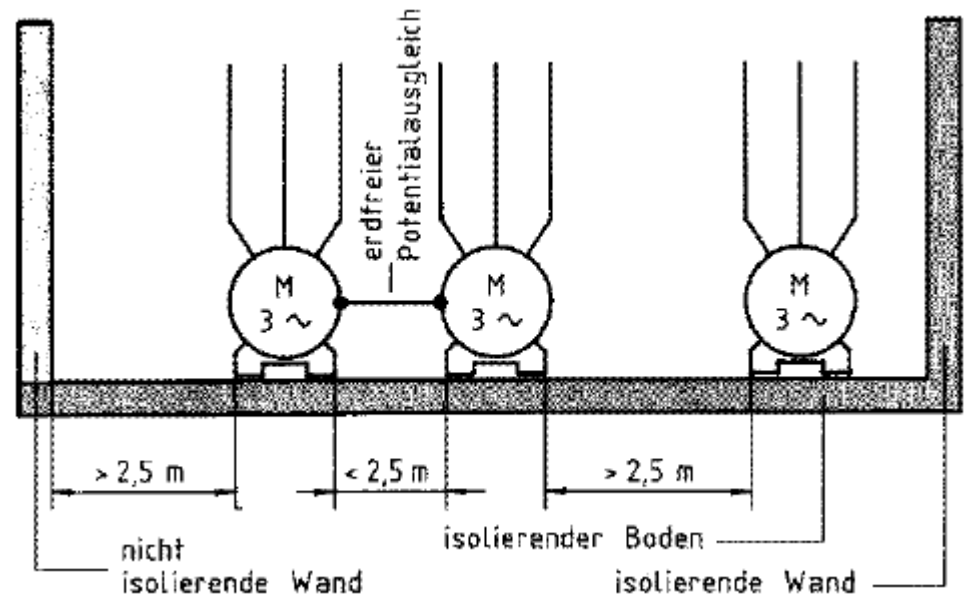


Schutzmaßnahmen

Nichtleitende Räume

Schutz durch nichtleitende Räume ist eine Sonderform der Schutzisolierung. Sie ist bei ortsfesten Betriebsmitteln zulässig, wenn andere

Schutzmaßnahmen nicht oder nur schwer anwendbar sind. Bei dieser Schutzart wird nicht das Betriebsmittel, sondern die Umgebung des Menschen im Handbereich isoliert.



Schutzmaßnahmen

Nichtleitende Räume

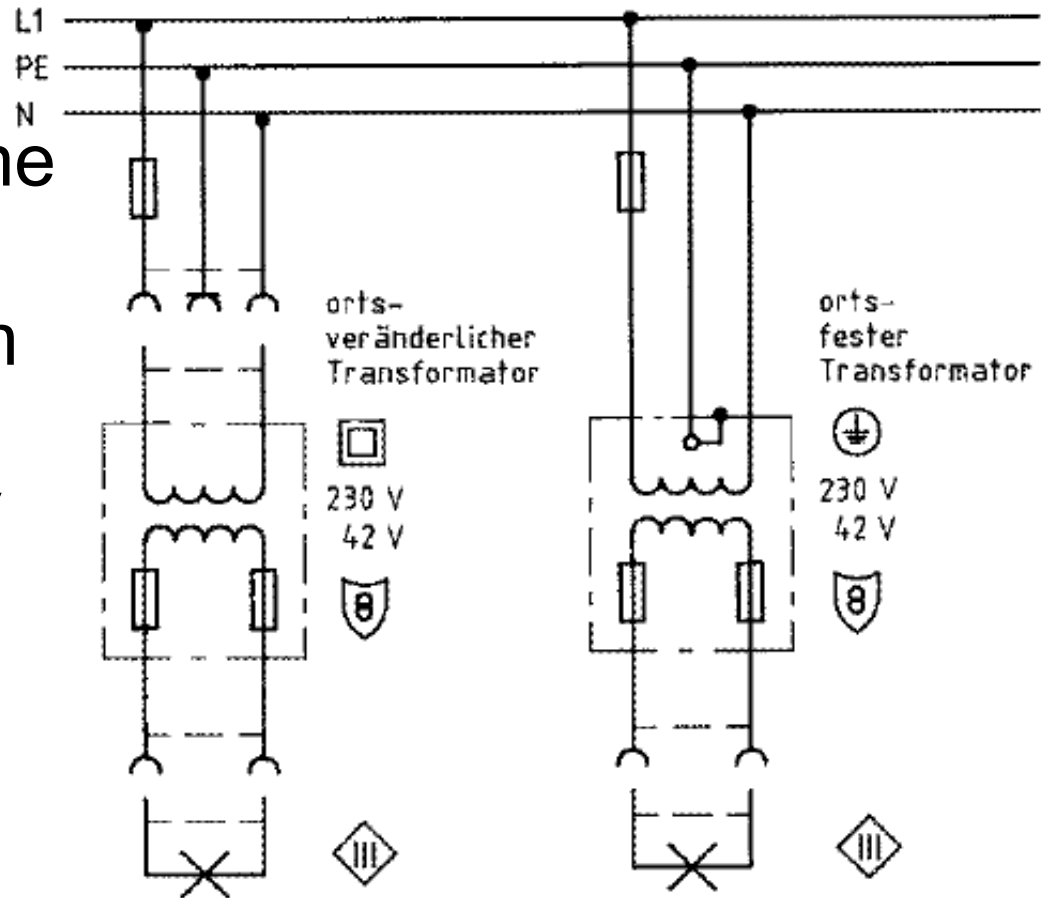
Der Isolationswiderstand (Standortwiderstand) muß mindestens 50 k Ω betragen, bei Spannungen über 500 V mindestens 100 k Ω .

Haben zwei Betriebsmittel einen kleineren gegenseitigen Abstand als 2,5 m, so können diese Betriebsmittel gleichzeitig von einem Menschen berührt werden. In diesem Fall muß das Auftreten einer gefährlichen Berührspannung durch einen erdfreien Potentialausgleich verhindert werden.

Schutzmaßnahmen

Schutzkleinspannung

Gefährliche Körperströme können zuverlässig verhindert werden, wenn die Betriebsmittel mit maximal 50V bzw. 120V betrieben werden. Bei elektromotorischem Spielzeug und in bestimmten Räumen, z.B. Sauna und Schwimmhalle, sind höchstens 25V bzw. 60V als Schutzkleinspannung zulässig.



Schutzmaßnahmen

Schutzkleinspannung

Alle Spannung führenden Teile des Kleinspannungsnetzes müssen erdfrei sein und dürfen keine Verbindung zu Netzen höherer Spannung haben.

Die Steckvorrichtungen dürfen nicht in Steckdosen für höhere Spannungen passen.

Schutzkleinspannung kann durch Sicherheitstransformatoren, Umformer, Akkumulatoren oder galvanische Elemente erzeugt werden.

Spartransformatoren oder Spannungsteiler sind in jedem Fall verboten.

Schutzmaßnahmen

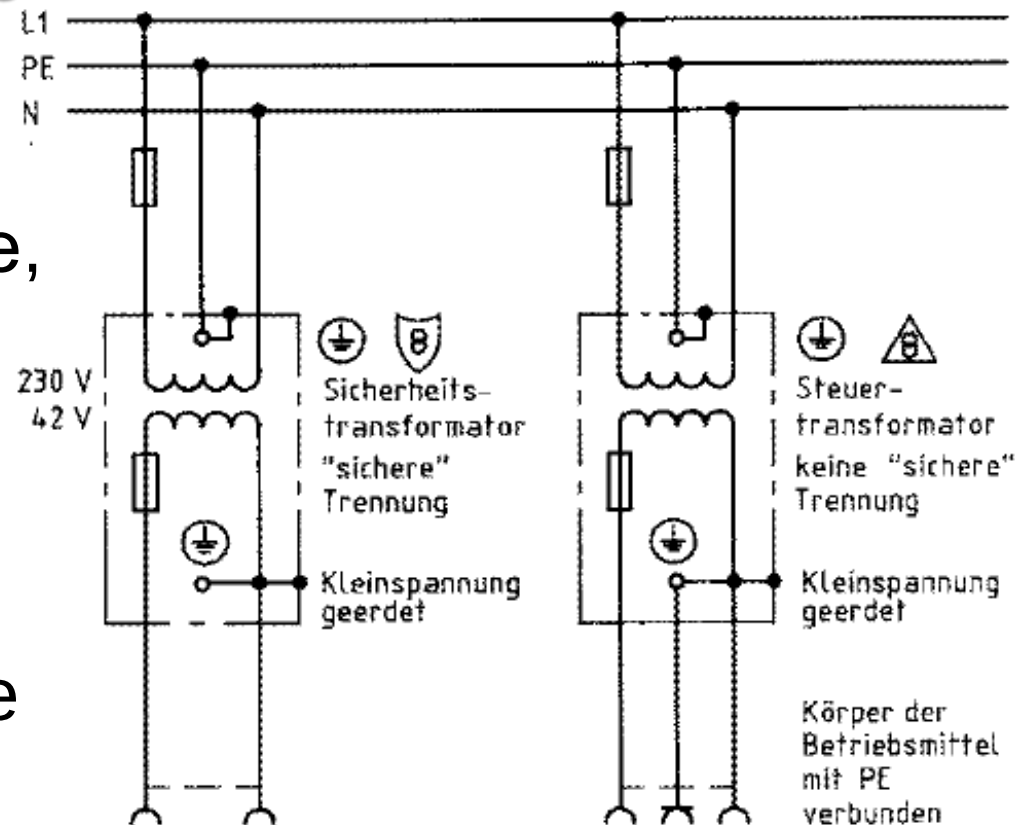
Schutzkleinspannung

Die Spannungsquellen können kurzschlußfest oder bedingt kurzschlußfest sein. Sind sie nicht kurzschlußfest, so muß die Anlage durch angepaßte Schutzorgane, z. B. Gerätesicherungen, geschützt sein. Ortsveränderliche Transformatoren müssen schutzisoliert sein; ortsfeste Transformatoren können auch Schutzklasse 1 entsprechen.

Schutzmaßnahmen

Funktionskleinspannung

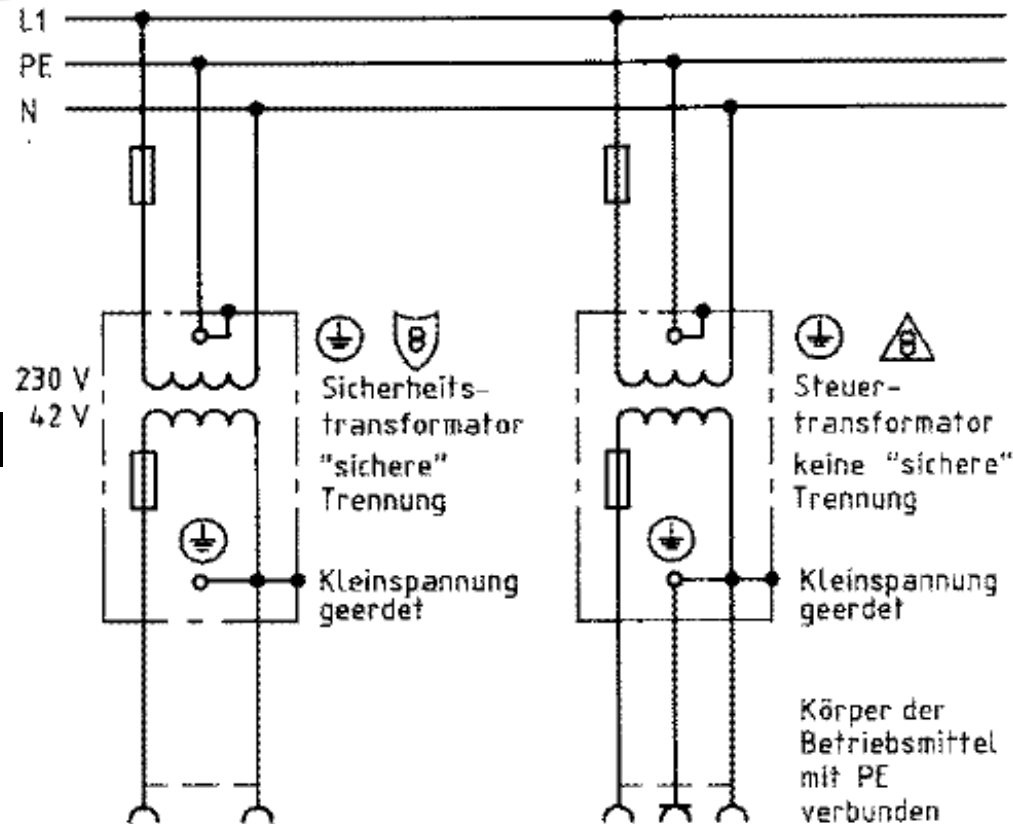
Die Funktionskleinspannung ist eine Schutzmaßnahme, die wie die Schutzkleinspannung mit maximal 50V oder 120V arbeitet. Zwei der sehr strengen Anforderungen, die an die Schutzkleinspannung gestellt werden, können aber unerfüllt sein:



Schutzmaßnahmen

Funktionskleinspannung

1. ein Punkt der Kleinspannung ist geerdet;
2. die Spannungsquelle oder ein Betriebsmittel ist gegenüber Stromkreisen höherer Spannung unzureichend isoliert.



Die Erdung eines Punkts der Kleinspannung ist, z.B. bei Schützsteuerungen, manchmal erforderlich.

Schutzmaßnahmen

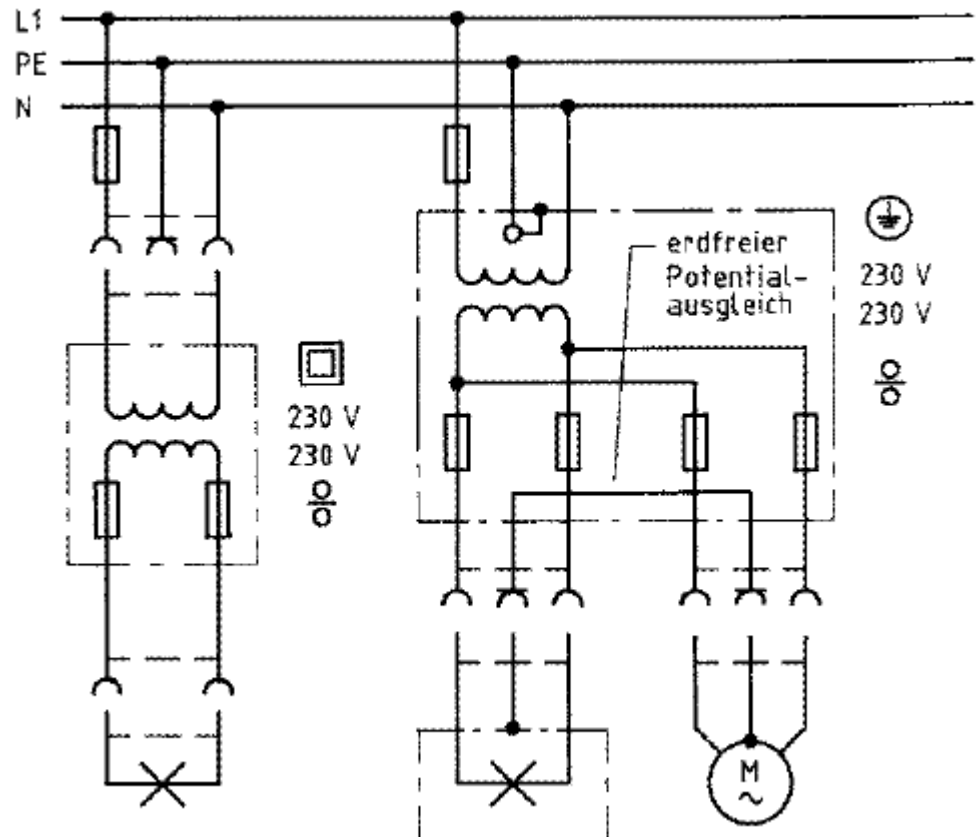
Funktionskleinspannung

Wird die Kleinspannung aus Transformatoren gewonnen, z. B. Steuertransformatoren, die nicht alle Anforderungen eines Sicherheitstransformators erfüllen und damit keine „sichere Trennung“ gemäß VDE 0551 gewährleisten, so müssen die Körper der Betriebsmittel mit dem PE des Primärstromkreises verbunden sein. Stecker und Steckdosen müssen unverwechselbar sein, auch gegenüber Systemen mit Schutzkleinspannung.

Schutzmaßnahmen

Schutztrennung

Bei der Schutztrennung erfolgt eine galvanische Trennung zwischen Gerätestromkreis und speisendem Netz. Der Gerätestromkreis ist erdfrei, dadurch tritt auch bei defektem Gerät keine Spannung zwischen dem Körper des Betriebsmittels und der Erde auf.



Schutzmaßnahmen

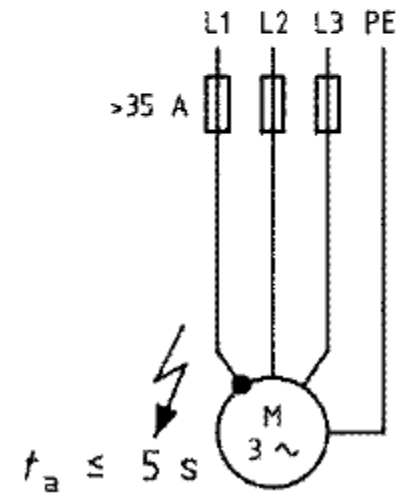
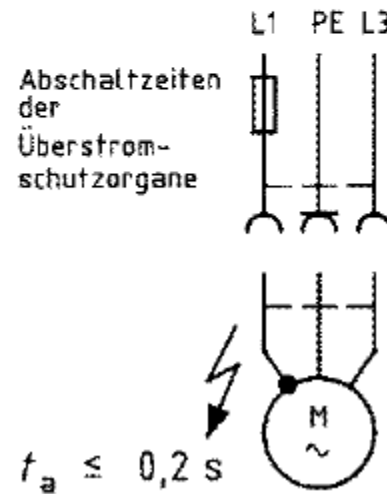
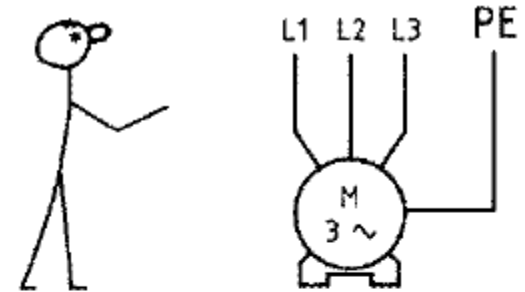
Schutztrennung

Trenntransformatoren müssen VDE 0550 entsprechen, ortsveränderliche Transformatoren müssen schutzisoliert sein. Mit einem Trenntransformator wird üblicherweise nur ein Verbraucher gespeist. Sollen mehrere Betriebsmittel angeschlossen werden, so müssen ihre Körper durch einen erdfreien Potentialausgleich verbunden sein. Dazu müssen die Verbraucher einen Schutzleiter haben (Ausnahme: schutzisolierte Geräte) und die Schutzkontakte der Steckdosen müssen miteinander verbunden sein.

Schutzmaßnahmen

Schutzmaßnahmen mit Schutzleiter

Netzunabhängige Schutzmaßnahmen, insbes. Schutzkleinspannung und Schutzisolierung, verhindern gefährliche Körperströme sehr zuverlässig. Für Betriebsmittel mit hoher Leistung, z. B. Maschinen und Heizgeräte, sind diese Maßnahmen wegen der hohen Stromaufnahme und Erwärmung nicht geeignet.

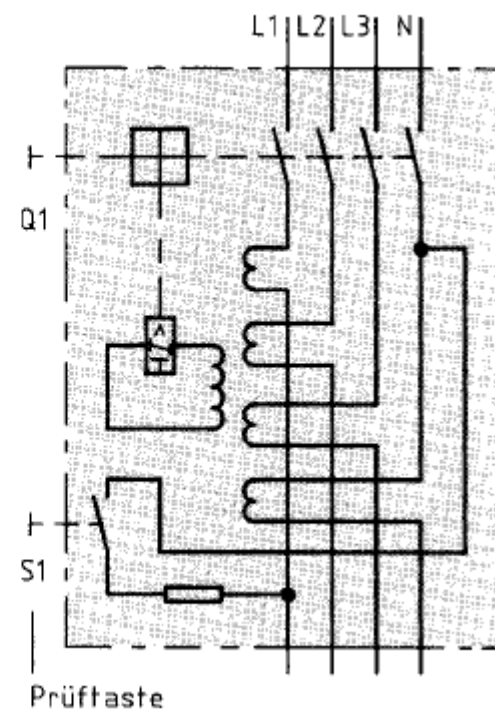
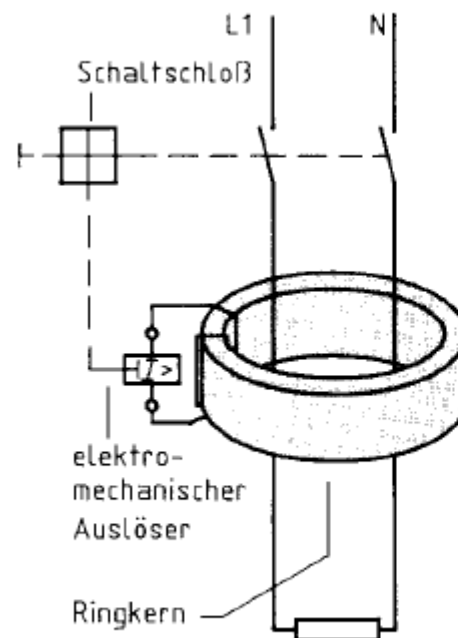
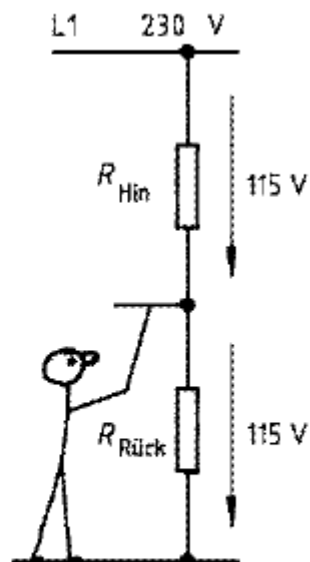
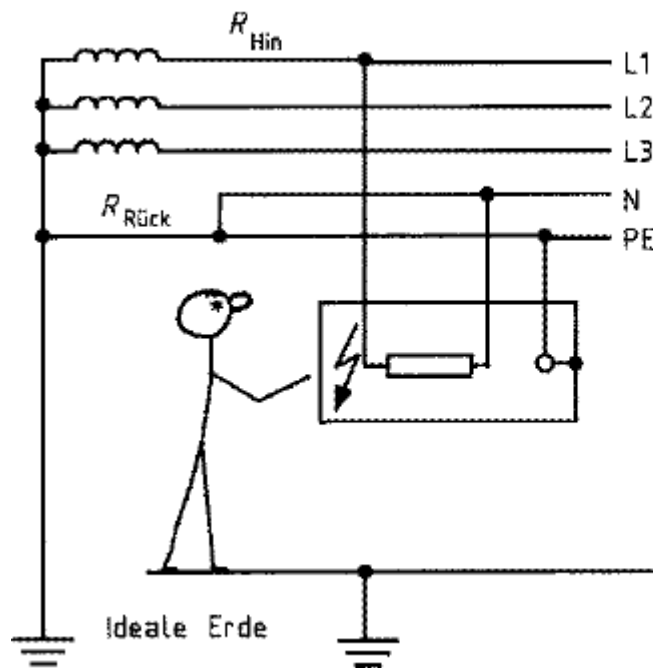


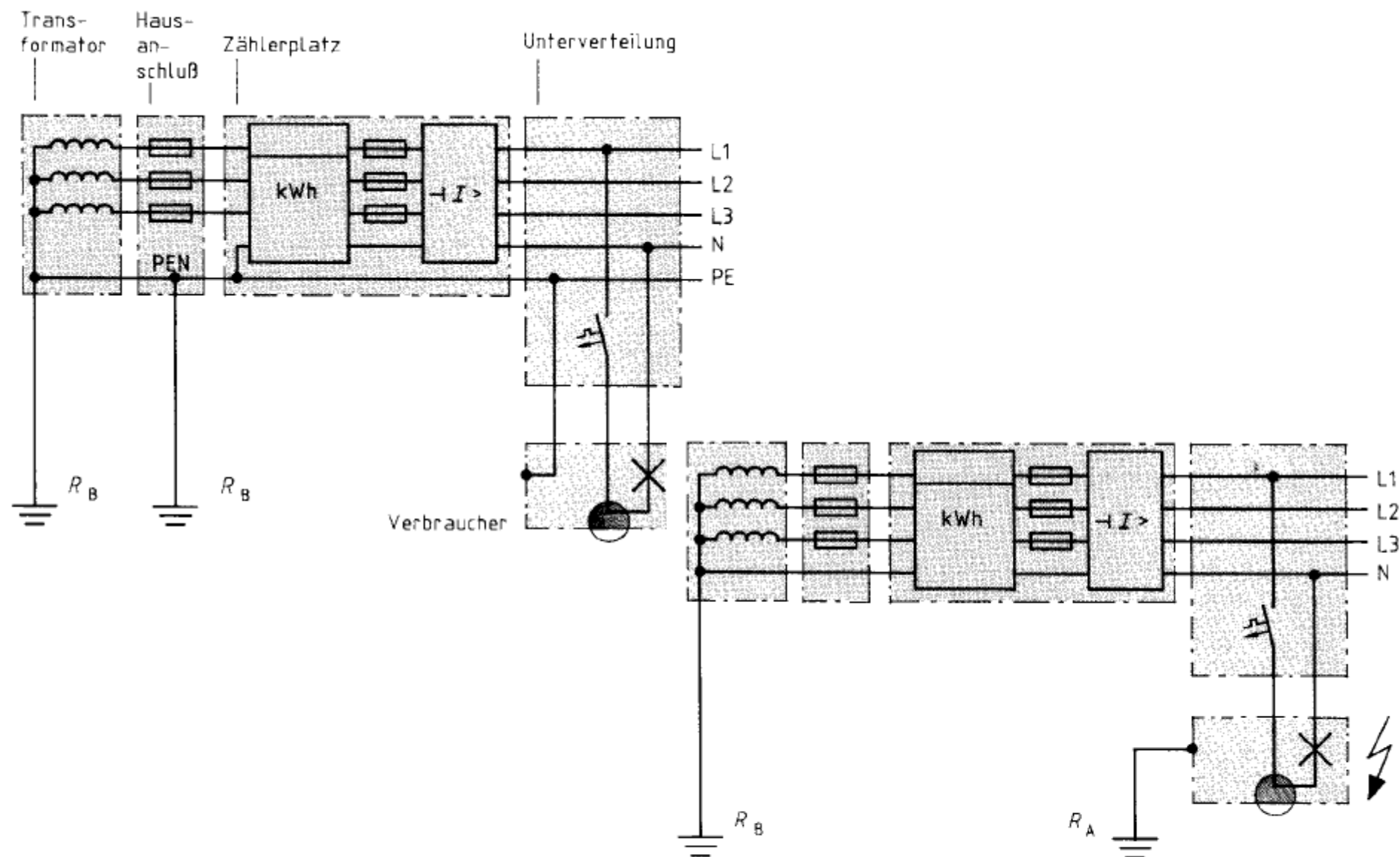
Schutzmaßnahmen

Schutzmaßnahmen mit Schutzleiter

Die meisten Verbrauchernetze haben deshalb einen Schutzleiter, der im Fehlerfall zum raschen Abschalten führt.

Bei allen Schutzmaßnahmen mit Schutzleiter wird der fehlerhafte Stromkreis möglichst schnell abgeschaltet. Das Auftreten einer gefährlichen Berührungsspannung kann zwar nicht verhindert, aber zeitlich stark eingeschränkt werden. Die Abschaltzeit in fehlerhaften Steckdosenkreisen beträgt maximal 0,2 s. In Stromkreisen mit Nennströmen über 35 A, die keine ortsveränderlichen Betriebsmittel enthalten, ist die höchstzulässige Abschaltzeit 5 s.





$I_{\Delta n}$ in mA	10	30	100	300	500	1000
R_A in Ω	5000	1667	500	167	100	50

