

1 Einführung

1.1 Zielsetzung

Ziel dieses Versuches ist, Ihnen eine Einführung in die grundlegenden Regeln zur Sicherheit elektrischer Geräte und Einrichtungen zu geben. Anhand einiger Beispiele sollen Sie erkennen, welche Gefahren im Fehlerfall und aufgrund von Konstruktionsmängeln für den Menschen, aber auch für Sachwerte bestehen können. Die einschlägigen Empfehlungen und Vorschriften sind sehr vielfältig, fast unüberschaubar. Es gibt jedoch einige Grundregeln, die Sie kennen und beachten müssen und die die Grundlage für alle weiteren Vorschriften bilden. Sie sollen letztendlich dafür sensibilisiert werden, durch Umsicht und durch die Einhaltung einfacher Sicherheitsregeln bereits vorausschauend Unfälle zu verhüten. Von einem Ingenieur wird man hier ein hohes Maß an Verantwortungsbewusstsein erwarten.

1.2 Gefahren des elektrischen Stromes

Die Gefährdung des Menschen durch elektrischen Strom hängt nicht - wie oft angenommen - von der Höhe der elektrischen Spannung [V] ab. Die Stromstärke [A] bestimmt die Größe der Gefahr. Die Stromeinwirkung ist von der Stromart (Gleich- oder Wechselstrom), der Frequenz und von dem elektrischen Widerstand des menschlichen Körpers abhängig. Der Widerstand ist sehr unterschiedlich, je nach Berührungsfläche, dem Stromweg durch verschiedene Glieder, der Beschaffenheit der Haut und Kleidung, dem Übergangswiderstand (trockene, feuchte Haut u.a.). Im Körper ist die Leitfähigkeit sehr verschieden, beispielsweise im Blut; in Gewebeflüssigkeit oder Knochen. Genau genommen ist es ein komplexer Widerstand mit $R||C$.

Die Wärmeentwicklung beim Stromdurchgang führt zu inneren und äußeren Verbrennungen aller Schweregrade in Abhängigkeit von der Stromstärke. Große Stromstärken bewirken das Auskochen der Gewebeflüssigkeit und die Zerstörung des Eiweißes mit häufig tödlicher Wirkung nach einigen Tagen, da der Körper die giftigen Verbrennungsprodukte nicht abbauen kann. An den Berührungsstellen finden sich oft kleine punktförmige Verbrennungen - Stromdurchschläge durch die Haut - so genannte Strommarken. Genau genommen sind die Stromdurchschläge von der Spannung verursacht, wobei die recht gut isolierende, aber dünne obere Hautschicht, die Lederhaut, durchschlagend wird.

Der elektrische Strom bewirkt ab einer relativ niedrigen Reizschwelle Muskelverkrampfungen, oft mit der Folge, dass der Berührungskontakt vom Verunglückten nicht mehr losgelassen werden kann. Dies erschwert die Bergung und erhöht die Stromeinwirkungszeit auf Verunglückte. Bei steigender Stromstärke wird das Reizleitungssystem des Herzens beeinflusst. Es entsteht eine unregelmäßige Herzmuskeltätigkeit - Herzmuskelverkrampfung - bis zum Herzstillstand.

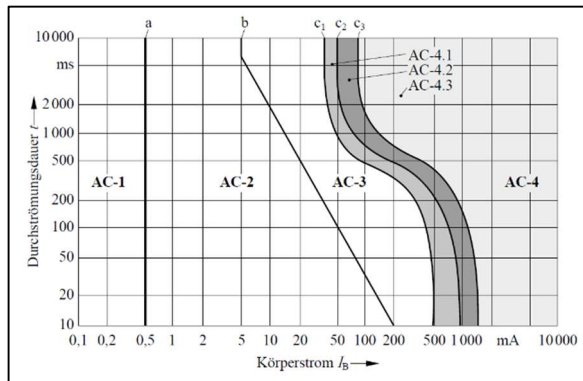
Aus technischen Gründen hat sich für die Übertragung elektrischer Energie und deren Nutzung Wechselstrom von 50 Hz bis 60 Hz als besonders vorteilhaft herausgestellt. Aus Sicherheitsaspekten ist aber gerade diese Stromform für den Menschen besonders gefährlich, weil Ströme im Frequenzbereich um 50 Hz für das Auslösen von Herzkammerflimmern besonders kritisch sind. Andere Stromformen und Frequenzen schädigen nicht in dem Maße, wie dies bei Wechselstrom von 50 Hz der Fall ist.

Bei Wechselströmen mit 50 Hz und kleiner als 5 mA entstehen nur geringe Einwirkungen; bis 15 mA beginnt das Verkrampfen, ein Loslassen des Kontaktes ist noch möglich; bei 20 bis 50 mA beginnen Herzunregelmäßigkeiten; über 50 mA tritt Bewusstlosigkeit ein und ab 80 mA setzt Herzkammerflimmern mit tödlicher Wirkung ein.

Genauere Auskunft über die Wirkungen bei einem gesunden Organismus gibt die Grafik in Abbildung 1. Die Kurve a ist die Grenzlinie zwischen den Bereichen 1 und 2, die Kurve b stellt die Grenzlinie zwischen den Bereichen 2 und 3 dar und die Kurven c stehen für die Grenzen zwischen den Bereichen 3 und 4. Bei der Festlegung der Grenzen spielt nicht nur die Stromstärke, sondern auch die Einwirkungsdauer eine entscheidende Rolle.

Versuch 4: Elektrische Sicherheit

Bei der Überlagerung von Gleich- und Wechselströmen (z.B. unvollständig geglättete Gleichspannung) wird angenommen, dass für die Gefahr des Auftretens des Herzkammerflimmerns nicht die Stromform entscheidend ist, sondern der Spitze-Spitze-Wert der Stromform in Verbindung mit der Einwirkungszeit.



Bereiche	Grenzen	Physiologische Wirkung
AC-1	bis zu 0,5 mA Grenzlinie a	Wahrnehmung möglich, aber im Allgemeinen keine Schreckreaktionen
AC-2	über 0,5 mA bis Grenzlinie b	Wahrnehmung und unwillkürliche Muskelkontraktionen wahrscheinlich, aber im Allgemeinen keine schädlichen physiologischen Wirkungen
AC-3	Grenzlinie b bis Grenzlinie c ₁	Starke unwillkürliche Muskelkontraktionen. Schwierigkeiten beim Atmen. Reversible Störungen der Herzfunktion. Muskelverkrampfung kann auftreten. Wirkung zunehmend mit Stromstärke und Durchströmungsdauer. Im Allgemeinen ist kein organischer Schaden zu erwarten
AC-4	über der Grenzlinie c ₁	Es können pathologische Wirkungen auftreten wie Herzstillstand, Atemstillstand und Verbrennungen oder andere Zellschäden. Wahrscheinlichkeit von Herzkammerflimmern ansteigend mit Stromstärke und Durchströmungsdauer
	c ₁ – c ₂	Wahrscheinlichkeit von herzkammerflimmern ansteigend bis etwa 5 %
	c ₂ – c ₃	Wahrscheinlichkeit von herzkammerflimmern ansteigend bis etwa 50 %
	über der Grenzlinie c ₃	Wahrscheinlichkeit von herzkammerflimmern ansteigend über 50 %

Abbildung 1 [4]: Zeit-Strom-Gefährdungsbereich nach DIN IEC/TS 60479-1 VDE V 0140-479-1:2007-05¹.
Wirkungen eines Stromes AC 50 bis 60 Hz in Abhängigkeit von Einwirkdauer und Strom

Maßnahmen bei elektrischen Unfällen:

Bei einem Stromunfall ist ein sofortiges Abschalten des elektrischen Stromes im Unfallbereich notwendig („Freischalten“ und ggf. „Erden“). Wenn das Abschalten nicht möglich ist, kann der Verunglückte nur unter Verwendung isolierender Hilfsmittel (Kunststoffstangen u.a.) möglichst schnell vom Stromkreis getrennt werden. - Eine ungenügende Isolierung gefährdet den Retter selbst. - Bei Annäherung an Hochspannungsanlagen (mit mehr als 1000 V) können auch ohne Berührung Überschläge erfolgen. Lebensgefahr besteht im "Spannungstrichter" am Erdboden bis über 20 m von der Erdberührungsstelle eines Leiters entfernt (Schrittspannung).

Nach der Bergung Verunglückter aus dem Stromkreis und des Absetzen eines Notrufs ist sofort mit erster Hilfe zu beginnen, z.B. bei Atemstillstand mit Beatmung und bei nicht feststellbarem Puls mit Herzdruckmassage, ggf. unter Zuhilfenahme eines Defi. Elektrisch Verunglückte sind oft scheinbar tot - Herzkammerflimmern -. Deshalb darf die Wiederbelebung niemals vor dem Eintreffen des Arztes/Rettungsdienstes aufgegeben werden.

¹ DIN IEC/TS 60479-1 VDE V 0140-479-1:2007-05 (Wirkungen des elektrischen Stromes auf Menschen und Nutztiere - Teil 1: Allgemeine Aspekte)

1.3 Begriffe und Kurzzeichen (vgl. auch DIN EN 61140 VDE 0140-1:2016-11²)

In den einschlägigen Bestimmungen tauchen verschiedene Begriffe auf, deren Bedeutung im allgemeinen nicht geläufig ist oder im umgangssprachlichen Gebrauch missverständlich gedeutet werden könnte:

Ableitstrom

Ein Strom, der in einem fehlerfreien Stromkreis ungewollt zur Erde oder zu einem fremden leitfähigen Teil fließt. Dieser Strom kann ein Kriechstrom sein, (selten eine induktive) oder auch eine kapazitive Komponente haben. Die kapazitive Komponente kommt in geringem Maße durch parasitäre Kapazitäten zustande, aber auch durch Störschutzkondensatoren. Die ohmsche Komponente ist durch endliche Isolationswiderstände begründet.

Aktives Teil

Jeder Leiter oder jedes leitfähige Teil, das dazu bestimmt ist, bei ungestörtem Betrieb unter Spannung zu stehen, einschließlich des Neutralleiters, aber vereinbarungsgemäß nicht der PEN-Leiter.

Außenleiter, Bezeichnung L1, L2, L3

Leiter, die Stromquellen mit Verbrauchsmitteln verbinden, aber nicht vom Mittel- oder Sternpunkt ausgehen. Farbkennzeichnung: schwarz, braun.

Berührungsspannung U_B und Fehlerspannung U_F

Berührungsspannung ist der Teil der Fehlerspannung U_F , der vom Menschen überbrückt werden kann. Gemeint ist der Spannungsabfall zwischen einem durch Fehlereinfluss spannungsführenden und einem geerdeten Teil. Die Fehlerspannung ist nicht gleich der Berührungsspannung, sondern ergibt sich aus der Summe aus Berührungsspannung und Spannungsabfall über dem Erdungswiderstand R_E . Durch die Impedanz der berührenden Person wird auch der Strom durch den Erdungswiderstand beeinflusst, wodurch auch die Berührungsspannung variiert.

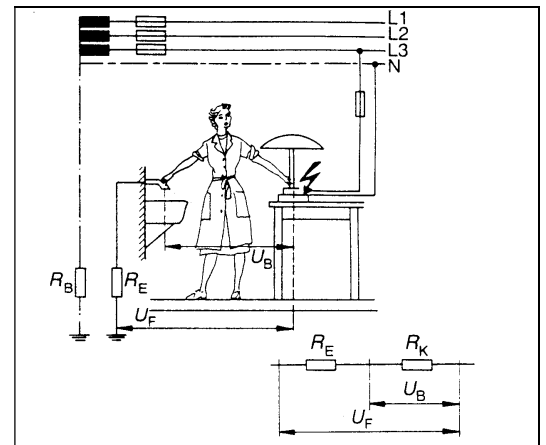


Abbildung 2: Fehlerspannung und Berührungsspannung

Betriebsstrom (I_b)

Der Strom, den der Stromkreis in ungestörtem Betrieb üblicherweise führen soll.

Bewegliche Leitung

ist eine an beiden Enden beliebig angeschlossene Leitung, die zwischen ihren Anschlussstellen bewegt werden kann.

Bezugserde

Nutzung der oberen Erdschicht als Bezugspotential.

Differenzstrom (auch: Fehlerstrom) (I_F)

Die Summe der Momentanwerte von Strömen, die an einer Stelle der elektrischen Anlage durch alle aktiven Leiter eines Stromkreises fließen. Bei Fehlerstromschutzeinrichtungen wird dieser Strom als Fehlerstrom bezeichnet.

Direktes Berühren

Berühren aktiver Teile durch Personen oder Nutztiere (Haustiere).

² DIN EN 61140 VDE 0140-1:2016-11 (Schutz gegen elektrischen Schlag - Gemeinsame Anforderungen für Anlagen und Betriebsmittel)

Erde

Das leitfähige Erdreich, dessen elektrisches Potential an jedem Punkt vereinbarungsgemäß gleich Null gesetzt wird.

Erder

Ein oder mehrere leitfähige Teile, die in gutem Kontakt mit Erde sind und mit dieser eine elektrische Verbindung bilden.

Fehlerspannung U_f

ist die Spannung, die im Fehlerfall zwischen einem spannungsführenden Teil und Bezugserde auftritt (siehe auch → Berührungsspannung).

Fester Anschluss

einer Leitung ist ihre unmittelbare Verbindung mit einem elektrischen Betriebsmittel, z.B. durch Schrauben, Löten, Schweißen, Nieten, Pressen.

Freischalten

in Starkstromanlagen ist das allseitige Abschalten oder Abtrennen einer Anlage, eines Teils einer Anlage oder eines Betriebsmittels von allen nicht geerdeten Leitern.

Gefährlicher Körperstrom (I_M)

Ein Strom, der den Körper eines Menschen oder eines Tieres durchfließt, und der Merkmale hat, die einen schädigenden Effekt auslösen. Die Körperströme sind je nach Stromstärke und Einwirkungsdauer verschieden gefährlich. Unterstellt man beim Menschen einen Körperwiderstand von 1300Ω , so ist bei Spannungen bis AC 50 V oder DC 120 V meist keine Gefährdung durch Körperströme gegeben

Gesamterdungswiderstand

Der Widerstand zwischen der Haupterdungsklemme (Potentialausgleichsschiene) und Erde.

Indirektes Berühren

Berühren von Körpern elektrischer Betriebsmittel, die infolge eines Fehlers unter Spannung stehen, durch Personen oder Nutztiere (Haustiere).

Körper (eines elektrischen Betriebsmittels)

Ein berührbares, leitfähiges Teil eines elektrischen Betriebsmittels, das normalerweise nicht unter Spannung steht, das jedoch im Fehlerfall unter Spannung stehen kann.

Kurzschlussstrom (I_K)

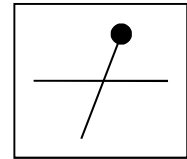
Ein überhöhter Strom, verursacht durch einen Fehler geringer Impedanz zwischen aktiven Leitern, die im ungestörten Betrieb unterschiedliches Potential haben.

Nennspannung (U_n)

Spannung, durch die eine Anlage oder ein Teil einer Anlage gekennzeichnet ist. (darf innerhalb der zulässigen Toleranzen abweichen). Nennspannung eines Netzes ist die Spannung, nach der das Netz benannt ist und auf die sich bestimmte Betriebsgrößen dieses Netzes beziehen.

Neutralleiter (Symbol N)

Ein zu einem Mittelpunkt bzw. Sternpunkt eines Netzes verbundener Leiter, der geeignet ist, zur Übertragung elektrischer Energie beizutragen. Im Einphasennetz ist der Neutralleiter der Stromrückleiter. Im Dreiphasennetz ist der Neutralleiter der Mittelpunktleiter. Farbkennzeichnung: blau.

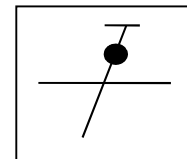


Ortsfeste Leitung

ist eine Leitung, die auf einer festen Unterlage so angebracht ist, dass sich ihre Lage nicht ändert.

PEN-Leiter

Ein geerdeter Leiter, der zugleich die Funktionen des Schutzleiters und Neutralleiters erfüllt.



Potenzialausgleich

Elektrische Verbindung, die die Körper elektrischer Betriebsmittel (über den Schutzleiter) und fremde leitfähige Teile auf gleiches oder annähernd gleiches Potential bringt.

Aufgabe des Potenzialausgleiches ist es, durch eine niederohmige leitende Verbindung leitfähige Rohrsysteme und Konstruktionsteile (Gebäudeteile) untereinander und mit Erde zu verbinden.

Die Zielsetzung ist das Verhindern der Ausbreitung von Fehlerspannungen.

Schleifenimpedanz

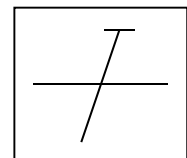
(Impedanz einer Fehlerschleife) ist die Summe der Impedanzen (Scheinwiderstände) in einer Stromschleife, bestehend aus der Impedanz der Stromquelle, der Impedanz des Außenleiters von einem Pol der Stromquelle bis zur Messstelle und der Impedanz der Rückleitung (z.B. Schutzleiter, Erder und Erde) von der Messstelle bis zum anderen Pol der Stromquelle.

Schutzleiter (Symbol PE)

Ein Leiter, der für einige Schutzmaßnahmen gegen gefährliche Körperströme erforderlich ist, um die elektrische Verbindung zu einem der nachfolgenden Teile herzustellen:

- Körper der elektrischen Betriebsmittel
- fremde leitfähige Teile
- Haupterdungsklemme
- Erder
- geerdeter Punkt der Stromquelle oder künstlicher Sternpunkt.

Farbkennzeichnung: grün-gelb



Umhüllung (umgangssprachlich: Gehäuse)

Ein Teil, das ein Betriebsmittel gegen bestimmte äußere Einflüsse schützt und durch das Schutz gegen direktes Berühren in allen Richtungen gewährt wird.

Vereinbarte Grenze der Berührspannung (U_L)

Höchstwert der Berührspannung, der zeitlich unbegrenzt bestehen bleiben darf. Der zulässige Wert hängt von den Bedingungen der äußeren Einflüsse ab.

Zulässige (Dauer-) Strombelastbarkeit (I_z)

Der höchste Strom, der von einem Leiter unter festgelegten Bedingungen dauernd geführt werden kann, ohne dass seine Dauertemperatur einen festgelegten Wert überschreitet.

1.4 System (früher: Netz) und Erdung

In Haushalten und Betrieben liegt üblicherweise entweder ein Einphasensystem mit 230 V und 50 Hz oder ein Dreiphasensystem mit 230/400 V und 50 Hz vor.

Die Kurzzeichenschreibweise für das Einphasensystem lautet:

1/N/PE AC 50Hz 230V, was bedeutet, dass ein Außenleiter, ein Neutralleiter und ein Schutzleiter vorhanden sind und dass es sich um Wechselspannung mit $U_{\text{eff}} = 230 \text{ V}$ und 50 Hz handelt.

Die Kurzzeichenschreibweise für das Dreiphasensystem lautet:

3/N/PE AC 50Hz 400V, was bedeutet, dass drei Außenleiter, ein Neutralleiter und ein Schutzleiter vorhanden sind und dass es sich um eine verkettete Spannung von $U_{\text{eff}} = 400 \text{ V}$, eine Phasen-spannung von $U_{\text{eff}} = 230 \text{ V}$ und Drehstrom mit 50 Hz handelt.

Bezüglich der Art der Erdung wird zwischen verschiedenen Systemen unterschieden. Die gebräuchlichsten Systeme sind das TN-C-System (Abbildung 3) und das TT-System (Abbildung 4).

In DIN VDE 0100-100:2009-06³ sind die Netz-Systeme (Punkt 312.2), in DIN VDE 0100-410:2018-10⁴ sind die vorgesehenen und erforderlichen Schutzmaßnahmen der einzelnen Systeme beschrieben.

Abkürzungen für Netz-Systeme:

Erster Buchstabe: Beziehung des Stromversorgungssystems zur Erde

- T direkte Verbindung eines Punkts zur Erde;
- I entweder alle aktiven Teile von Erde getrennt oder ein Punkt über eine hohe Impedanz mit Erde verbunden.

Zweiter Buchstabe: Beziehung der Körper (von elektrischen Betriebsmitteln) der elektrischen Anlage zur Erde:

- T direkte elektrische Verbindung der Körper (von elektrischen Betriebsmitteln) zur Erde, unabhängig von der etwa bestehenden Erdung eines Punkts des Versorgungssystems;
- N direkte elektrische Verbindung der Körper (von elektrischen Betriebsmitteln) mit dem geerdeten Punkt des Stromversorgungssystems.

Weitere Buchstaben (falls vorhanden): Anordnung des Neutralleiters und des Schutzleiters

- S Schutzfunktion, die durch einen vom Neutralleiter oder von dem geerdeten Außenleiter getrennten Leiter vorgesehen wird (Separated Neutral- (N) und Schutzleiter (PE: Protection-Earth));
- C Neutralleiter- und Schutzleiterfunktion, kombiniert in einem einzigen Leiter (Combined Neutral- und Schutzleiter (PEN: Protection-Earth-Neutral))

Auf dem mehr oder weniger langen Weg vom Erzeuger (Kraftwerk eines Energieversorgungsunternehmens (EVU) bzw. Versorgungsnetzbetreibers (VNB)) zum Endverbraucher (über Haupt-, Unter- und Verbraucherverteiler bis zur Steckdose, Glühlampe, etc. in meiner Wohnung) ist die vorletzte Station der elektrischen Energie die Netzstation im örtlichen Versorgungsgebiet. Hier wird die Energie von Mittelspannung (1 bis 10 kV) auf Niederspannung (400 V) transformiert.

Bei diesem Trafo in der Trafo- oder Netzstation geht es darum, ob bzw. wie die niederspannungsseitige Wicklung mit dem Erdreich verbunden ist. Diese unmittelbare Erd-Verbindung bestimmt maßgeblich, ob, wie bzw. welche Schutzmaßnahme gegen den elektrischen Schlag angewendet werden muss.

Wegen des zulässigen Spannungsfalls (früher: Spannungsabfall) von 0,5 % der Nennspannung am Zählereingang wird sich dieser Trafo immer mehr oder weniger in der näheren Umgebung (bis 5 km) befinden.

³ DIN VDE 0100-100:2009-06 (Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 1: Allgemeine Grundsätze, Bestimmungen allgemeiner Merkmale, Begriffe)

⁴ DIN VDE 0100-410:2018-10 (Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 4-41: Schutzmaßnahmen - Schutz gegen elektrischen Schlag)

Versuch 4: Elektrische Sicherheit

Stand: 3. August 2023

Blatt 7/22

1.4.1 TN-System (Netz)

In Deutschland ist das nullungsfähige TN-System (Abbildung 3) am weitesten verbreitet.

Alle Betriebsmittel der Schutzklasse I (leitende Gehäuse) innerhalb einer elektrischen Anlage sind untereinander über den Schutzleiter und über den Hauptpotentialausgleich mit einem geerdeten Netzpunkt/Sternpunkt leitend verbunden.

Kennzeichnend für dieses Netz ist, dass die Überstrom-Schutzeinrichtungen i.d.R. nicht nur den Überlast- und Kurzschlusschutz (Sachschutz), sondern auch noch den Schutz gegen elektrischen Schlag im Falle eines Körperschlusses (Personenschutz) übernehmen.

Besonders wegen des Personenschutzes müssen die Sicherungen oder Leitungsschutzschalter den Fehlerstromkreis so bald als möglich unterbrechen. Deshalb muss dafür gesorgt werden, dass beim Auftreten eines Körperschlusses sofort ein Vielfaches des Nennstromes der Sicherung oder des Leitungsschutzschalters zum Fließen kommt. Nur so wird garantiert, dass der fehlerhafte Stromkreis bereits nach wenigen ms (max. 200 ms in z.B. Endstromkreisen mit Steckdosen) unterbrochen/abgeschaltet wird.

Beim TN-C-System ist die Neutraleiter- und die Schutzleiterfunktion in einem Leiter, dem PEN-Leiter kombiniert. Ein Fundamenterder mit Potentialausgleich ist entbehrlich.

In TN-C-Systemen darf keine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) verwendet werden (vgl. DIN VDE 0100-410:2018-10⁵).

Beim TN-C-S-System ist die Neutraleiter- und die Schutzleiterfunktion in einem Leiter, dem PEN-Leiter in einem Teil des Verteilungsnetzes kombiniert und in einem anderen Teil des Netzes in den Neutraleiter N und den Schutzleiter PE getrennt. Ein Fundamenterder mit Potentialausgleich ist entbehrlich.

Beim TN-S-System ist der Neutraleiter- der Schutzleiterfunktion bereits von Seiten des EVU in den Neutraleiter N und den Schutzleiter PE getrennt. Ein Fundamenterder mit Potentialausgleich ist entbehrlich.

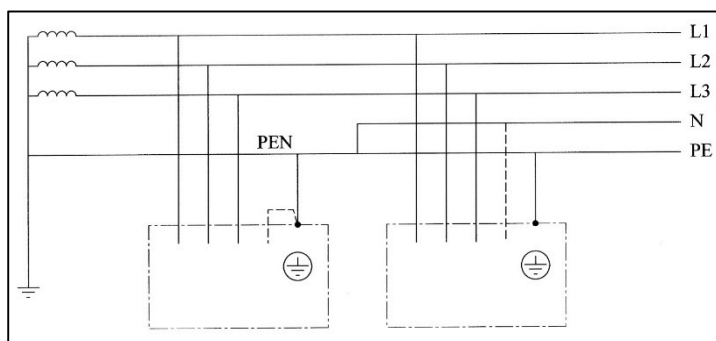


Abbildung 3 [2]:
TN-C-S-System

als Kombination aus
TN-C-System (links)
und
TN-S-System (rechts).

1.4.2 TT-System (Netz)

Beim TT-System (Abbildung 4) kommen zur Energieversorgung z.B. eines Wohnhauses vier Leiter (drei Außenleiter und ein Neutraleiter) von der nächstgelegenen Trafostation heran. Im Hausanschlusskasten sind die Außenleiter über Panzersicherungen abgesichert. Danach sind zu den Verbrauchern hin noch weitere Sicherungen vorzufinden. Der Fundamenterder des Wohnhauses ist mit einer Potentialausgleichsschiene verbunden, wobei von dort aus der PE-Leiter (Schutzleiter) zum Sicherungskasten und von dort zu den einzelnen Verbrauchern geführt wird.

In TT-Systemen ist der Schutzleiter in der Anlage nicht - wie in TN-Systemen - mit dem geerdeten Netzpunkt/Sternpunkt verbunden, sondern über eine Hauptpotentialausgleichsschiene geerdet. Dabei sind bestimmte Erdungsbedingungen einzuhalten.

⁵ DIN VDE 0100-410:2018-10 (Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 4-41: Schutzmaßnahmen - Schutz gegen elektrischen Schlag)

Versuch 4: Elektrische Sicherheit

Stand: 3. August 2023

Blatt 8/22

In diesem nicht nullungsfähigen System erfolgt die automatische Abschaltung der Stromversorgung im Fehlerfall durch den Einsatz von RCDs (FI-Schutzschalter). (früher: Schutzmaßnahme - Schutzerdung, FI oder FU)

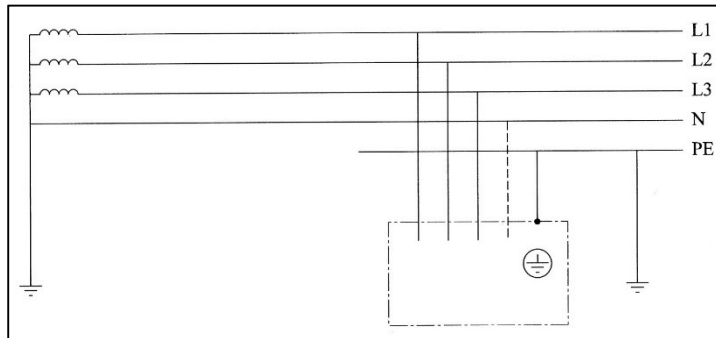


Abbildung 4 [2]:
TT-System

1.4.3 IT-System (Netz)

Im IT-System (Abbildung 5) ist der Sternpunkt/Netzpunkt nicht geerdet. IT-Systeme sind räumlich begrenzte Netze mit Isolationsüberwachung.

Die Wirkungsweise beruht in erster Linie auf einem völligen Potenzialausgleich, in dem auch alle leitfähigen Konstruktionsteile des Gebäudes einbezogen werden müssen. Dieser Potenzialausgleich sorgt dafür, dass bei einem einzelnen Körperschluss der dann fließende Körperschlussstrom keinerlei gefährliche Berührungsspannungen erzeugen kann.

IT-Systeme gibt es in Krankenhäusern, in Bergwerken, auf Schiffen, für Prüfplätze, in der chem. Industrie, etc. (früher: Schutzmaßnahme - Schutzleitungssystem)

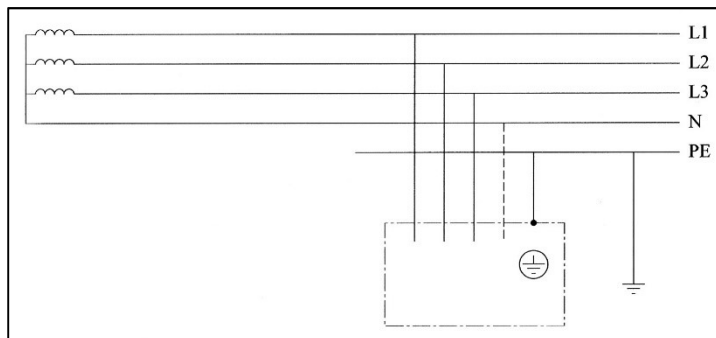


Abbildung 5 [2]:
IT-System

1.5 Schutzmaßnahmen für den Schutz gegen elektrischen Schlag

Details sind in DIN VDE 0100-410:2018-10⁶ sowie in DIN EN 61140 VDE 0140-1:2016-11⁷ nachzulesen.

1.5.1 Schutzmaßnahmen und Schutzvorkehrungen

In den vorstehenden Normen sind zwei Arten von Schutzmaßnahmen zum Schutz gegen elektrischen Schlag festgelegt (Abbildung 6):

- die Schutzmaßnahme muss aus einer geeigneten Kombination von zwei unabhängigen Schutzvorkehrungen bestehen, d.h. aus einer Basisschutzvorkehrung und einer Fehlerschutzvorkehrung.
- oder
- die Schutzmaßnahme besteht aus einer verstärkten Schutzvorkehrung die den Basisschutz und den Fehlerschutz bewirkt.

Dem übergeordneten Begriff "Schutzmaßnahme" sind somit verschiedene "Schutzvorkehrungen" zugeordnet, mit deren Einsatz die jeweiligen Anforderungen der Schutzmaßnahme erfüllt werden.

Folgende Schutzmaßnahmen sind, auch in Kombination, allgemein erlaubt:

- Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung;
- Schutz durch doppelte oder verstärkte Isolierung;
- Schutz durch Schutztrennung für die Versorgung eines Verbrauchsmittels;
- Schutz durch Kleinspannung mittels SELV oder PELV.

1.5.2 Basisschutzvorkehrung (Basisschutz)

Beim Basisschutz geht es darum, Personen und Nutztiere vor Gefahren zu schützen, die bei Berührung mit aktiven, d.h. unter Spannung stehenden Teilen einer Anlage entstehen könnten.

Vorkehrungen für den Basisschutz sind im Allgemeinen eine Basisisolierung aktiver Teile sowie der Einsatz von Abdeckungen oder Umhüllungen.

1.5.3 Fehlerschutzvorkehrung (Fehlerschutz)

Beim Fehlerschutz geht es darum, Personen und Nutztiere vor Gefahren zu schützen, die beim Berühren von Körpern elektrischer Betriebsmittel im Falle eines Fehlers, d.h. bei Versagen des Basisschutzes entstehen.

In Abhängigkeit von der Schutzmaßnahme können folgende Fehlerschutzvorkehrungen zum Einsatz kommen:

- Schutzerdung und Schutzpotentialausgleich;
- automatische Abschaltung im Fehlerfall (Abbildung 7);
- verstärkte Isolierung zwischen aktiven Teilen und berührbaren Teilen;
- einfache Trennung des Stromkreises mit Schutztrennung von anderen Stromkreisen und von Erde;
- Einsatz von Kleinspannung mittels SELV oder PELV

1.5.4 Zusätzlicher Schutz

Als zusätzlicher Schutz in Ergänzung zum Basisschutz und Fehlerschutz können Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs) oder ein zusätzlicher Schutzpotentialausgleich eingesetzt werden.

⁶ DIN VDE 0100-410:2018-10 (Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 4-41: Schutzmaßnahmen - Schutz gegen elektrischen Schlag)

⁷ DIN EN 61140 VDE 0140-1:2016-11 (Schutz gegen elektrischen Schlag - Gemeinsame Anforderungen für Anlagen und Betriebsmittel)

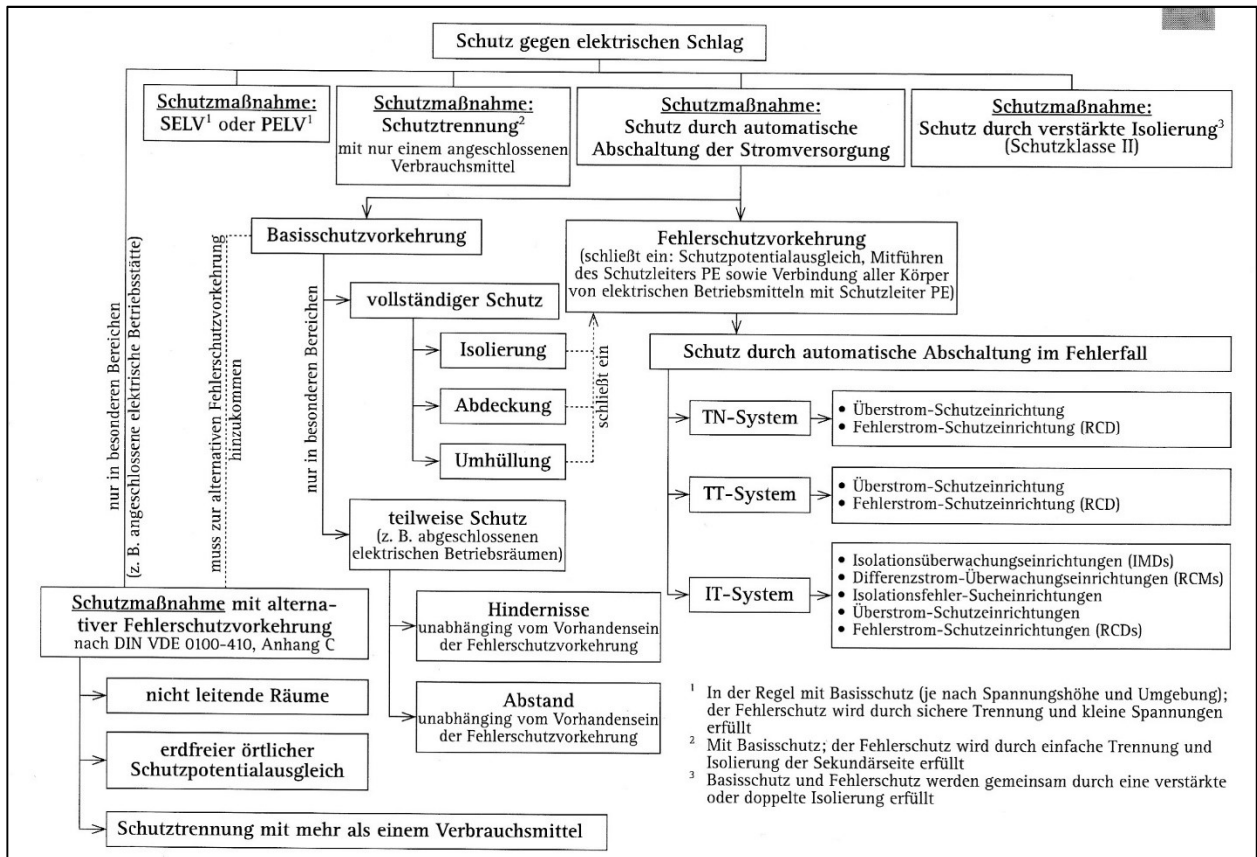


Abbildung 6 [1]: Übersicht Schutzmaßnahmen

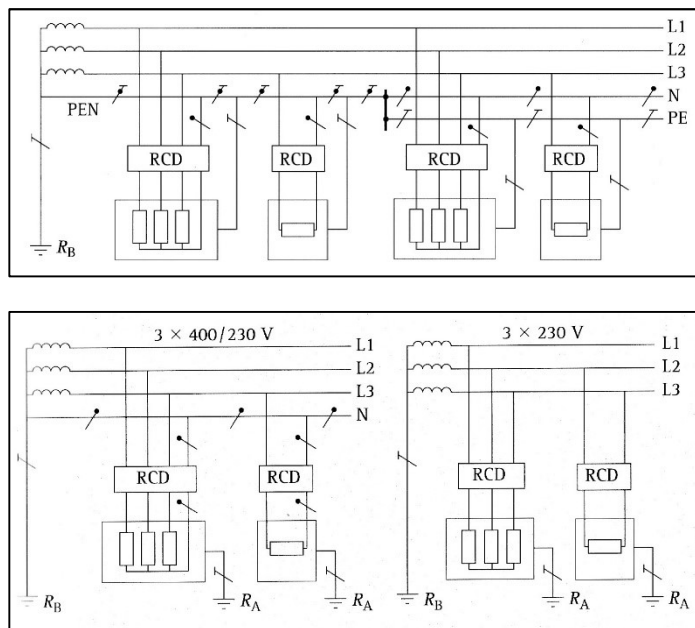


Abbildung 7 [1]: Prinzip der Fehlerschutzvorkehrung „automatische Abschaltung im Fehlerfall“

- oben in einem TN-C-S-System mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen RCD
- unten in einem TT-System mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen RCD

1.6 Fehlermöglichkeiten

- **Isolationsfehler**
ist ein fehlerhafter Zustand in der Isolierung. Die Folge eines Isolationsfehlers ist ein Fehlerstrom.
- **Körperschluss**
ist eine durch einen Fehler entstandene leitende Verbindung zwischen dem Körper und den aktiven Teilen eines elektrischen Betriebsmittels.
- **Kurzschluss**
ist eine durch einen Fehler entstandene leitende Verbindung zwischen zwei oder mehreren Leitern (aktiven Teilen), wenn im Fehlerstromkreis kein Nutzwiderstand liegt.
- **Erdschluss**
ist ein durch einen Fehler entstandene leitende Verbindung eines Leiters (Außen- oder betriebsmäßig isolierter Mittelleiter) mit Erde oder geerdeten Teilen.

1.7 Schutzeinrichtungen

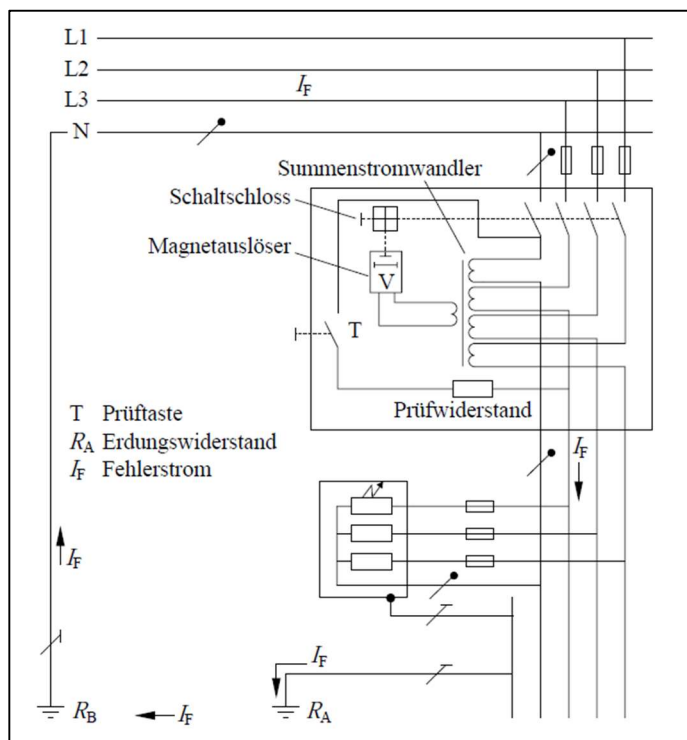


Abbildung 8 [4]:
Prinzip der Schutzmaßnahme
„Schutz gegen elektrischen
Schlag“ in einem TT-System

mit
Überstrom-Schutzeinrichtungen
 („Sicherungen“) und
Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen
 (RCD)

Versuch 4: Elektrische Sicherheit

Stand: 3. August 2023

Blatt 12/22

1.7.1 Überstrom-Schutzeinrichtungen (vgl. Abbildung 8)

Durch Überstrom-Schutzeinrichtungen sollen Leitungen, Verteilungen und Geräte vor schädigenden thermischen Überlastungen, die durch einen Überstrom oder gar einen Kurzschluss verursacht werden, durch Unterbrechen des defekten Stromkreises geschützt werden.

1.7.1.1 Schmelzsicherungen

Bei einer Schmelzsicherung muss der Überstrom eine bestimmte Zeitdauer durchfließen, um den Schmelzleiter durchzuschmelzen. Grundsätzlich kann zwischen Messersicherungen (z.B. Panzer- bzw. NH-Sicherungen), Schraubsicherungen (z.B. D oder DO-Sicherungen) und Geräteschutzsicherungen (G-Sicherungen = Feinsicherungen) unterschieden werden. Der Schmelzleiter ist mitunter in Quarzsand eingebettet.

Für die Gerätekonstruktion in der Feinwerktechnik sind die Gerätesicherungen von besonderer Bedeutung. Bei den Glasrohr-Feinsicherungen sind auf ein Glasröhrchen zwei Metallkappen aufgesetzt, zwischen denen der Schmelzleiter gespannt ist. Neben einer Vielzahl von Nenn-Stromwerten (max. 10 A) gibt es bei den Gerätesicherungen, je nach Anwendungsfall, die Auslösecharakteristiken T = träge, M = mittelträge, F = flink und FF = extra flink. Für die Leiterplattenmontage gibt es auch Kleinstsicherungen mit einem Kunststoffgehäuse.

1.7.1.2 Leitungsschutzschalter (Sicherungsautomat)

Der Leitungsschutzschalter (LS-Schalter) ist ein elektromechanisches Schaltgerät, durch das ein Stromkreis entweder durch Handbetätigung oder selbsttätig durch Überstrom oder Kurzschlussstrom vom Netz getrennt wird. Er enthält einen thermischen Überstromauslöser mit einem Bimetallstreifen, der bei genügender Durchbiegung die Auslösung des durch Federkraft vorgespannten Schaltwerkes bewirkt. Zusätzlich ist ein Kurzschlussauslöser vorhanden, der aus einer vom Betriebsstrom durchflossenen Spule und einem Anker besteht. Wird der Anker durch einen Über- oder Kurzschlussstrom angezogen, so wird auch hierdurch das vorgespannte Schaltwerk ausgelöst.

LS-Schutzschalter müssen eine Freiauslösung haben, d.h. der Mechanismus muss so gebaut sein, dass im Kurzschlussfall die Auslösung wirksam bleibt, auch wenn das Handbetätigungsorgan in "Ein"-Stellung festgehalten wird.

Die Auslösecharakteristik (z.B. Charakteristik B oder C) kennzeichnet die Strom-Zeit-Kennlinie, die beschreibt, wie viel Zeit bei einer bestimmten Stromstärke vergeht, bis der LS-Schalter auslöst.

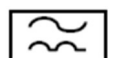
1.7.2 Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (vgl. Abbildung 8)

1.7.2.1 RCD (Residual Current Device), (früher: Fehlerstromschutzschalter bzw. FI-Schutzschalter)

Fehlerstrom-Schutzschalter werden einheitlich unter dem übergeordneten Begriff RCD geführt. Eine Differenzierung zwischen FI, DI oder speziellen Bauformen wird üblicherweise nicht mehr vorgenommen.

Für Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs) sind mehrere Typen definiert. Der jeweilige Typ ist an Hand der auf der Gehäusefront angebrachten Symbole zu erkennen.

Üblich ist die „Pulsstromsensitive Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD)“ des Typs A. Dieser Typ funktioniert bis zu einem Gleichfehlerstrom von 6 mA.



Bei nachgeschalteten elektronischen Steuerungen, wie sie nunmehr auch vermehrt in Haushaltsgeräten eingesetzt werden, können Gleichfehlerströme oder unsymmetrischen Fehlerströme auftreten. Da der klassische RCD des Typs A mit seinem Summenstromwandler nach dem transformatorischen Prinzip arbeitet, ist wegen der einseitigen Magnetisierung des Eisenkerns nur noch eine eingeschränkte Tauglichkeit gegeben.

Versuch 4: Elektrische Sicherheit

Eine allstromsensitive Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) des Typs B funktioniert noch einwandfrei bei Fehlerströmen bis zu einer Frequenz von bis 1 kHz. Ein Typ B besteht eigentlich aus zwei Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen in einem Gehäuse. Die Eine ist ein spannungsunabhängiger Typ A. Die zweite Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) ist eine elektronisch arbeitende, die darauf spezialisiert ist, Gleichfehlerströme zu detektieren (Abbildung 9).



Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen (RCDs) vom Typ AC dürfen in Deutschland seit 1985 nicht mehr verwendet werden, da sie nur wechselstromsensitiv sind und bei Gleichfehlerstromanteilen ihre Schutzwirkung verlieren.

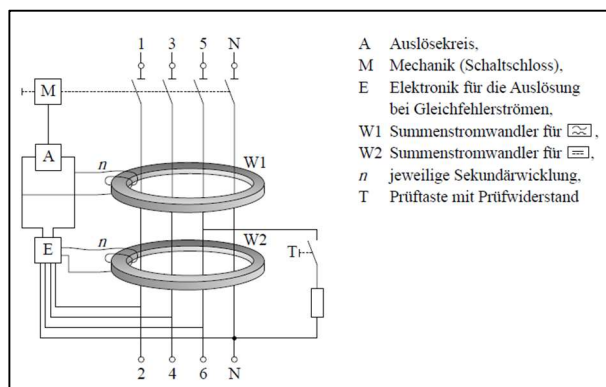


Abbildung 9 [4]:
 Prinzipieller Aufbau einer Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) Typ B

Die Summe aller Ströme in Außenleiter(n) und Mittelpunktsleiter muss im Einphasen- wie im Dreiphasennetz immer gleich Null sein. Bei einem Isolationsfehler z.B. ist dieses Stromgleichgewicht gestört, weil dann ein Teilstrom nach Erde abfließt. In diesem Fehlerfall soll der FI-Schutzschalter einen Stromkreis unterbrechen, aber erst dann, wenn der Fehlerstrom einem bestimmten Wert erreicht hat (Abbildung 10).

Das wichtigste Bestandteil in einem RCD ist der Summenstromwandler, der für bestimmte Nennfehlerströme ausgelegt ist. Aus Sicherheitsgründen haben die RCD mit Nennfehlerströmen von 10 mA und 30 mA die größte Bedeutung (Abbildung 11).

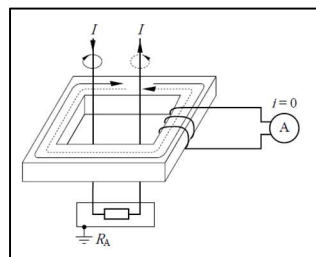


Abbildung 10 [4]: Aufhebung der magnetischen Flüsse

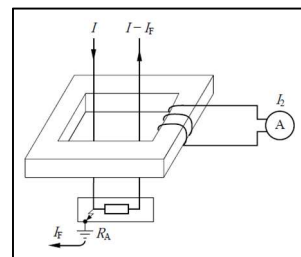


Abbildung 11 [4]: Fehlerstrom als Differenzstrom

1.7.2.2 RCCB (Residual Current operated Circuit-Breaker without overcurrent protection, früher: FI- bzw. DI-Schutzschalter)

Der RCCB, die Bezeichnung RCD ist gleichwertig, eignet sich auch zur Identifizierung unsymmetrischer Fehlerstromverläufe, worauf ein auf RCCB angebrachtes Symbol hinweist. Er darf elektronische Bauteile, die netzabhängig arbeiten, enthalten.

Versuch 4: Elektrische Sicherheit

Stand: 3. August 2023

Blatt 14/22

1.7.2.3 RCBO (Residual Current operated circuit-Breaker with integral Over current protection, früher: FI/LS- oder LS/DI-Schalter)

Der RCBO hat drei verschiedene auf ein gemeinsames Schaltwerk wirkende Auslöser:

1. den verzögert arbeitenden thermischen Auslöser für den Überlastschutz,
2. den elektromagnetischen Schnellauslöser für den Kurzschlusschutz und
3. den elektronischen Differenzstromauslöser für den direkten Personenschutz.

Der Nennendifferenzstrom beträgt bei dem RCBO in der Regel 10 mA. es werden Wechselfehlerströme und pulsierende Gleichströme erfasst und es wird abgeschaltet, bevor diese eine schädigende Wirkung auf den Menschen erzielen können. die Anwendung empfiehlt sich besonders dort, wo durch Fehlverhalten eine Gefährdung zu erwarten ist, z.B. in Aufenthaltsräumen für Kinder oder Behinderte, in Arbeitsräumen, sanitären Räumen oder im Freien (Rasenmäher, Heckenschere, Schredder).

RCBO gibt es für die feste Installation sowie für mobile elektrische Betriebsmittel als SRCD (Socket outlet Residual Current Device) oder PRCD (Portable Residual Current operated Device).

1.8 Konstruktive Gesichtspunkte zur elektrischen Sicherheit bei elektrischen Geräten

Geräte müssen so gebaut sein, dass sie im sachgemäßen Gebrauch sicher arbeiten, so dass sie keine Gefahr für den Benutzer oder die Umgebung verursachen, auch nicht in Fällen sorgloser Benutzung, wie sie bei sachgemäßer Bedienung vorkommen kann.

Die betriebsmäßig stromführenden Teile müssen entweder in ihrem ganzen Verlauf isoliert oder durch ihre Bauart, Lage oder durch besondere Vorrichtungen gegen direktes Berühren geschützt sein.

Die Schutzmaßnahmen betreffen das "direkte" sowie das "indirekte" Berühren, bei dem nur im Fehlerfall eine Gefährdung eintritt. Es wird eine Klassifizierung der Geräte in Schutzklassen und Schutzarten vorgenommen.

Der Schutz von Personen und Nutztieren ist sicher zu stellen durch Maßnahmen zum Schutz gegen elektrischen Schlag unter „normalen Bedingungen“ und unter „Fehlerbedingungen“. Die Schutzmaßnahmen müssen verhindern, dass eine unzulässig hohe Berührspannung bestehen bleibt.

Die **dauernd** zulässige Berührspannung U_L ist in den letzten Jahren mit internationaler Abstimmung neu festgelegt worden. Sie beträgt für Wechselspannung im Niederfrequenzbereich zwischen 10 Hz und 1.000 Hz:

- für normale Betriebsbedingungen $U_L \leq 50 \text{ V AC}$
- für besondere Betriebsbedingungen $U_L \leq 25 \text{ V AC}$
(medizinisch genutzte Räume, Stallungen, Spielzeug)
- für Badewannen, Duschen und Schwimmbecken $U_L \leq 12 \text{ V AC}$
(DIN VDE 0100-701:2008-10⁸)
- für med. Geräte, die in den Körper eines Patienten eingeführt werden $U_L \leq 6 \text{ V AC}$
- für Gleichspannung in normalen Betriebsräumen $U_L \leq 120 \text{ V DC}$

Zulässige Berührströme nach DIN EN 61140 VDE 0140-1:2016-11⁹ sind in DIN IEC/TS 60479-1 VDE V 0140-479-1:2007-05¹⁰ beschrieben.

⁸ DIN VDE 0100-701:2008-10 (Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 7-701: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art - Orte mit Badewanne oder Dusche)

⁹ DIN EN 61140 VDE 0140-1:2016-11 (Schutz gegen elektrischen Schlag - Gemeinsame Anforderungen für Anlagen und Betriebsmittel)

¹⁰ DIN IEC/TS 60479-1 VDE V 0140-479-1:2007-05 (Wirkungen des elektrischen Stromes auf Menschen und Nutztiere - Teil 1: Allgemeine Aspekte)

Versuch 4: Elektrische Sicherheit

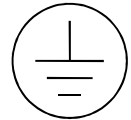
Stand: 3. August 2023

Blatt 15/22

1.8.1 Schutzklassen nach DIN EN 61140 VDE 0140-1:2016-11¹¹

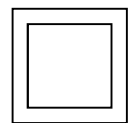
Geräte der Schutzklasse I : Schutzerdung = Geräte mit Schutzleiter

Bei diesen Geräten hängt der Schutz gegen elektrischen Schlag nicht nur von der Basisisolierung ab, sondern es gibt eine zusätzliche Schutzmaßnahme durch die Verbindung berührbarer leitender Teile mit dem Schutzleiter (z.B. Toaster, PC, Küchenherd, Kühlschrank).



Geräte der Schutzklasse II : Schutzisolierung = Geräte ohne Schutzleiter

Der Schutz gegen elektrischen Schlag erfolgt durch die Basisisolierung und eine zusätzliche Isolierung als Vorkehrung für den Fehlerschutz oder der Schutz wird durch eine verstärkte Isolierung realisiert. Es ist kein Schutzleiter vorgesehen (z.B. Rasierapparat, Schlagbohrmaschine, Uhrenradio). Geräte der Schutzklasse II dürfen Teile enthalten, die mit Sicherheits-Kleinspannung arbeiten.



Schutzisolierte Betriebsmittel sind mit Anschlussleitungen ohne Schutzleiter sowie mit Flach- oder Rundsteckern ohne Schutzkontakt versehen. (z.B. elektrischer Rasierapparat, Audio- und Videogeräte)

Geräte der Schutzklasse III : Schutztrennung = Sicherheitskleinspannung

Bei diesen Geräten ist der Schutz gegen elektrischen Schlag durch den Anschluss an eine Sicherheitskleinspannung (ELV) gegeben. Bei einem Netzanschluss ist ein Sicherheitstransformator mit getrennten Wicklungen zu verwenden (z.B. elektr. Modelbahn, Akkuschauber).



Beim **Schutz durch Kleinspannung** ($AC \leq 50\text{ V}$, $DC \leq 120\text{ V}$) sind folgende international festgelegte Kurzbezeichnungen gebräuchlich (vgl. DIN VDE 0100-410:2018-10¹²):

- SELV (safety extra-low voltage) Schutz durch Schutzkleinspannung
- PELV (protection extra-low voltage) Schutz durch Funktionskleinspannung mit sicherer Trennung
- FELV (function extra-low voltage) Schutz durch Funktionskleinspannung ohne sichere Trennung

¹¹ DIN EN 61140 VDE 0140-1:2016-11 (Schutz gegen elektrischen Schlag - Gemeinsame Anforderungen für Anlagen und Betriebsmittel)

¹² DIN VDE 0100-410:2018-10 (Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 4-41: Schutzmaßnahmen - Schutz gegen elektrischen Schlag)

Versuch 4: Elektrische Sicherheit

Stand: 3. August 2023

Blatt 16/22

1.8.2 Schutzarten

Die Schutzartenkennzeichnung nach DIN EN 60529 VDE 0470-1:2014-09¹³ erfolgt durch die beiden Buchstaben "IP" (IP = International Protection) mit zwei Kennziffern und ggf. ein oder zwei Buchstaben.

Wo eine Kennziffer nicht angegeben werden muss, ist sie durch den Buchstaben „X“ zu ersetzen („XX“, falls beide Ziffern weggelassen sind). Beispiele: IPX5, IP2X, IPXXC etc.

Die Buchstaben IP stehen für Schutzart und die XXXX werden wie folgt ergänzt:

Erste Kennziffer

- Betriebsmittel: Schutz gegen Eindringen von festen Fremdkörpern
- Personen: Schutz gegen Zugang zu gefährlichen Teilen mit...

Zweite Kennziffer

- Betriebsmittel: Schutz gegen Eindringen von Wasser mit schädlichen Wirkungen
- Personen: (keine)

Ergänzender Buchstabe (Personenschutz)

Ergänzender Buchstabe (Betriebsmittelschutz)

Wo eine Kennziffer (1. oder 2. Stelle) nicht angegeben werden muss, ist sie durch den Buchstaben „X“ zu ersetzen („XX“, falls beide Ziffern weggelassen sind).

Wenn mehr als ein ergänzender Buchstabe verwendet wird, ist die alphabetische Reihenfolge einzuhalten.

Beispiele: IP44, IPX5, IP2X, IP20C, IPXXC, IPX1C, IP21CM etc..

Z.B. werden Sie auf einer Feuchtraum-Verteilerdose die Angabe IP54 vorfinden.

Kennziffern für Fremdkörper- und Berührungsschutz:

- IP 0X - Kein Fremdkörperschutz,
- kein Berührungsschutz
- IP 1X - Schutz gegen feste Fremdkörper mit Durchmesser ≥ 50 mm,
- Handrückenschutz (Sonde: 50 mm Durchmesser).
- IP 2X - Schutz gegen feste Fremdkörper mit Durchmesser $\geq 12,5$ mm
- Schutz gegen Zugang für Finger (Prüffinger 12 mm Durchmesser, 80 mm Länge)
- IP 3X - Schutz gegen feste Fremdkörper mit Durchmesser $\geq 2,5$ mm
- Schutz gegen Zugang mit Werkzeug (Sonde: 2,5 mm Durchmesser)
- IP 4X - Schutz gegen feste Fremdkörper mit Durchmesser $\geq 1,0$ mm
- Schutz gegen Zugang mit Draht (Sonde: 1 mm Durchmesser)
- IP 5X - Staubgeschützt
- Schutz gegen Zugang mit Draht (Sonde: 1 mm Durchmesser)
- IP 6X - Staubdicht
- Schutz gegen Zugang mit Draht (Sonde: 1 mm Durchmesser)

¹³ DIN EN 60529 VDE 0470-1:2014-09 (Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code)) mit Berichtigungen 1:2017-02 und 2:2019:06

Kennziffern für Wasserschutz

- IP X0 Nicht gegen eindringendes Wasser geschützt
- IP X1 Gegen Tropfwasser geschützt
- IP X2 Gegen Tropfwasser geschützt, Gehäuse bis zu 15° geneigt
- IP X3 Gegen Sprühwasser geschützt (bis 60° gegenüber der Senkrechten)
- IP X4 Gegen Spritzwasser geschützt
- IP X5 Gegen Strahlwasser geschützt (aus allen Richtungen)
- IP X6 Gegen starkes Strahlwasser
- IP X7 Gegen die Wirkungen beim zeitweiligen Untertauchen geschützt
- IP X8 Gegen die Wirkungen beim dauernden Untertauchen geschützt
- IP X9 Gegen Hochdruck und hohe Strahlwassertemperatur geschützt

Kennbuchstaben für die 3. und 4. Stelle

- A = Geschützt gegen Zugang mit dem Handrücken (Sonde: 50 mm Durchmesser)
- B = Geschützt gegen Zugang für Finger (Prüffinger 12 mm Durchmesser, 80 mm Länge)
- C = Geschützt gegen Zugang mit Werkzeug (Sonde: 2,5 mm Durchmesser, 100 mm Länge)
- D = Geschützt gegen Zugang mit Draht (Sonde: 1 mm Durchmesser, 100 mm Länge)

- H = Hochspannungs-Betriebsmittel
- M = Geprüft auf schädliche Wirkungen durch Eindringen von Wasser, wenn bewegliche Teile in Betrieb sind
- S = Geprüft auf schädliche Wirkungen durch Eindringen von Wasser, wenn bewegliche Teile im Stillstand sind
- W = Geeignet zur Verwendung unter festgelegten Wetterbedingungen und ausgestattet mit zusätzlichen schützenden Maßnahmen und Verfahren

2 Literatur – Quellen/Bildquellen zum Text:

Nachstehend eine kleine Auswahl aus dem umfangreichen Angebot an Literatur.

- [1] Gerhard Kiefer, Herbert Schmolke, VDE 0100 und die Praxis (2017), VDE Verlag, Berlin, ISBN: 9783800743452
 - [2] Siegfried Rudnik, Reinhard Pelta, Der Lotse durch die DIN VDE 0100 (2018), VDE Verlag, Berlin, ISBN: 9783800743742
 - [3] Herbert Schmolke, DIN VDE 0100 (2018), VDE Verlag, Berlin, ISBN: 9783800744985
 - [4] Siegfried Rudnik, Erstprüfung von elektrischen Anlagen (2018), VDE Verlag, Berlin, ISBN: 9783800747436
- Sowie die im Text verwiesenen Normen und VDE-Richtlinien

3 Versuchsaufgaben

Sie sollten sich mit den nachfolgenden Aufgaben bereits in der Vorbereitung befassen. Da ein Teil der Messungen bei 230 V AC ausgeführt wird, sollten Sie sehr sorgfältig und umsichtig vorgehen und im Zweifelsfall Ihren Betreuer befragen.

3.1 Versuchsvorbereitung (schriftlich)

- 3.1.1 Welche Schutzart hat Ihre Mobiltelefon und das zugehörige Netzteil?
Was bedeutet die erste Ziffer, was die zweite?
- 3.1.2 Wo befindet sich in Ihrer Wohnung der „Sicherungskasten“?
Können Sie die Leitungsschutzschalter und den RCD identifizieren?
Falls ein RCD zu finden ist, welches Netz liegt vor?
- 3.1.3 In einem Altbau erfolgt die Energieversorgung über ein TN-C-Netz. Zu jeder Schutzkontaktsteckdose führen ein Außenleiter L1 und ein PEN-Leiter. Neutralleiter- und Schutzleiteranschluss sind in der Steckdose mit einem Drahtstück überbrückt. An der Steckdose ist eine ortsveränderliche Kochplatte (Schutzklasse I) angeschlossen (siehe Abbildung 12). Bei welchem Fehler tritt eine extreme Gefährdung des Benutzers auf?

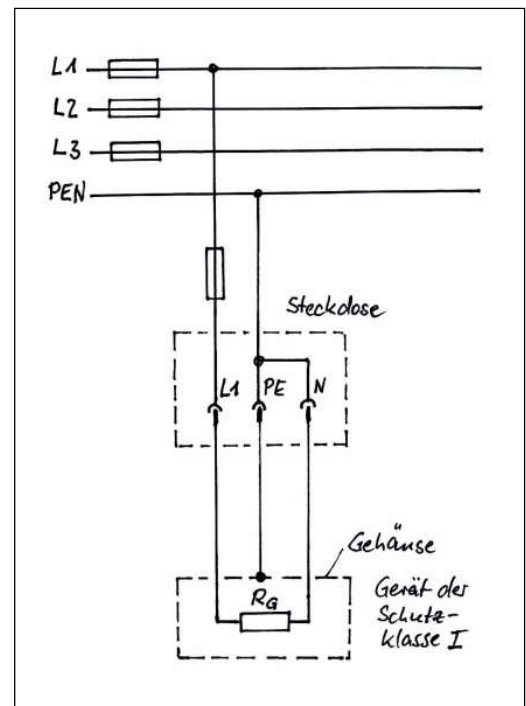


Abbildung 12: Verbraucher (Schutzklasse I) im TN-C-Netz

3.2 Widerstand des menschlichen Körpers

- 3.2.1 Nehmen Sie ein Digitalmultimeter und schalten Sie es auf Widerstandsmessung. Messen Sie Ihren Körperwiderstand zwischen der rechten und der linken Hand, indem Sie die Spitzen der Messleitungen mit den Fingern anfassen.
- 3.2.2 Falls Sie trockene Hände haben, werden Sie voraussichtlich einen Wert von etwa 10^6 Ohm feststellen. Bei einer Spannung von 230 V würde damit ein Strom von 0,23 mA fließen, was völlig ungefährlich zu sein scheint. Ist diese Schlussfolgerung richtig?

In der einschlägigen Literatur wird der Widerstand des Menschen mit 2,4 kOhm, an anderer Stelle mit 1 kOhm angegeben.
- 3.2.3 Wieso tritt eine erhebliche Gefährdung auf, wenn Sie mit einer Spannung von 230 V AC in Berührung kommen?

3.3 Isolationswiderstand

3.3.1 Nach DIN EN 60335-1 VDE 0700-1:2012-10¹⁴, Abschnitt 13.2, darf bei einem ortsveränderlichen Gerät der Schutzklasse I der Ableitstrom einen Wert von 0,75 mA nicht überschreiten. Messen Sie bei einem Ihnen zur Verfügung gestellten Versuchsobjekt (ggf. bei verschiedenen Betriebszuständen) den Isolationswiderstand R_{ISO} mit dem Messgerät "GOSSEN GO-MAT 0100" oder "Gossen-Metrawatt PROFITEST 2" unter Zuhilfenahme des bereit liegenden Messadapters.

Beachten Sie, dass bei den o.g. Prüfgeräten nach Betätigung der Starttaste kurzzeitig eine Gleichspannung von 500 V bei einem Nennstrom von 1 mA zur Isolationsmessung erzeugt wird! Wenn Sie hinlangen, kann Ihnen zwar nichts passieren, aber Sie werden einen gehörigen Schrecken nehmen.

3.3.1.1 Messung mit "Gossen GO-MAT 0100"

Schließen Sie die drei Stecker der Adapterleitung an die farblich entsprechenden Buchsen für L, N und PE des Messadapters an. Messen Sie R_{ISO} für L-PE, N-PE und L-N und dokumentieren Sie R_{ISO} .

Führen Sie die vorstehenden Messungen jeweils für den Betriebszustand „ausgeschaltet“ sowie „eingeschaltet“ des Prüflings durch.

Dokumentieren und Interpretieren Sie die Ergebnisse (z.B. schließen Sie aus dem angezeigten Messergebnis auf den daraus resultierenden, anzugebenden Zahlenwert bzw. prüfen Sie den angezeigten Messwert auf Plausibilität hinsichtlich eines möglichen Gerätedefektes).

3.3.1.2 Messung mit "Gossen-Metrawatt PROFITEST 2":

Stellen Sie zur Messung den seitlichen Wahlschalter auf R_{ISO} . Schließen Sie den schwarzen und gelben Stecker (blau ist ohne Funktion) der Adapterleitung an die farblichen entsprechenden Buchsen für L und PE des Messadapters an. Drücken Sie nun die Taste "START" so lange, bis der Messwert stabil ist (jedoch max. 3 s - 5 s, da die Batterien bei dieser Messung sehr stark belastet werden!). Dokumentieren Sie R_{ISO} und U.

Nun schließen Sie den schwarzen und gelben Stecker (blau ist ohne Funktion) der Adapterleitung an die farblichen entsprechenden Buchsen für N und PE des Messadapters an. Wiederholen und dokumentieren Sie die Messung.

Führen Sie die vorstehenden Messungen jeweils für den Betriebszustand „ausgeschaltet“ sowie „eingeschaltet“ des Prüflings durch. Dokumentieren und Interpretieren Sie die Ergebnisse.

3.3.1.3 Berechnen Sie (möglichst „im Kopf“) aus dem Ergebnis der Messung des Isolationswiderstands aus den Punkten 3.3.1.1 und 3.3.1.2 den zu erwartenden Ableitstrom des Geräts bei einer Betriebsspannung von 230 V.

¹⁴ DIN EN 60335-1 VDE 0700-1:2012-10 (Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke - Teil 1: Allgemeine Anforderungen)

3.4 Messung des Ableitstromes

Die Ableitstrommessung im PE gibt Aufschluss über die Isolationsbeschaffenheit eines Gerätes der Schutzklasse I (Schutzerdung = Geräte mit Schutzleiter) und wird deshalb auch bei der Endkontrolle, z.B. bei der Fertigung von Waschgeräten, angewandt. Theoretisch wäre eine direkte Strommessung im PE denkbar, jedoch wendet man bevorzugt einen Ableitstrommessadapter nach Abbildung 13 an, den es fertig zu kaufen gibt.

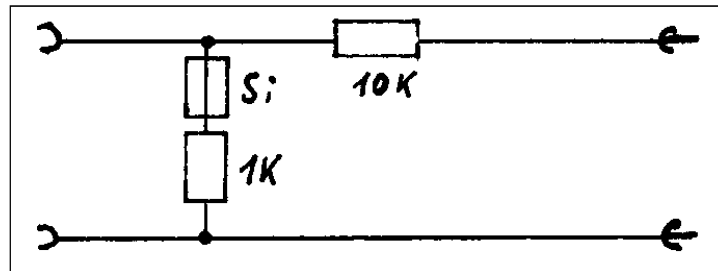


Abbildung 13: Innenschaltung des Ableitstrommessadapters (Z3450 bzw. Z237A)

Der Ableitstrommessadapter hat einen Eingangswiderstand von 1 k Ω . Der 1-k Ω -Widerstand dient hier als Mess-Shunt, wobei der Spannungsabfall über diesem Widerstand Aufschluss über den durch den Widerstand fließenden Strom gibt. Der 10 k-Widerstand ist lediglich ein Schutzwiderstand, der in Reihe mit einem im Spannungsmessbereich arbeitenden Multimeter, das ohnehin sehr hochohmig ist, geschaltet wird.

Die Messung selbst wird nur über dem Netzstecker des zu untersuchenden Gerätes (das Sie zur Verfügung gestellt bekommen) vorgenommen, wobei der Ableitstrom als Strom im Schutzleiter gemessen werden soll.

An einem speziell zu diesem Messzweck vorbereiteten Adapter mit Steckdose ist die Schutzleiterzuleitung über den Ableitstrommessadapter am Messgerät zu führen. Aus Sicherheitsgründen ist die für diesen Messzweck vorbereitete Adapter mit Steckdose nur über die Sicherheitssteckdosenleiste anzuschließen (und unter Spannung zu setzen).

Es sind für diesen Messaufbau ausschließlich die verfügbaren berührungsgeschützten Sicherheitslaborkabel und Sicherheitslaborstecker zu verwenden.

Bevor Sie den von Ihnen beschalteten Adapter in die Sicherheitssteckdosenleiste stecken, ist dieser von einem Praktikumsbetreuer abzunehmen.

Der Ableitstrommessadapter muss sich im AC-Spannungsmesskreis eines empfindlichen Digitalmultimeters mit Effektivwertmessung (TRMS) befinden. Es besteht dann ein linearer Zusammenhang zwischen der Anzeige in Volt und dem Ableitstrom, wobei 1 V Ausgangsspannung des Messadapters 1 mA Ableitstrom entspricht. Wie bereits unter Punkt 3.3.1 erläutert, darf bei einem ortsveränderlichen Gerät der Schutzklasse I der Ableitstrom 0,75 mA nicht überschreiten.

3.4.1 Skizzieren Sie eine Schaltung mit dem zu untersuchenden Gerät und den Ableitstrommesseinrichtungen.

3.4.2 **Bevor Sie den von Ihnen beschalteten Adapter in die Sicherheitssteckdosenleiste stecken, ist dieser von einem Praktikumsbetreuer abzunehmen.**

- Messen Sie den Ableitstrom des zu untersuchenden Gerätes bei verschiedenen Betriebszuständen (z.B. aus-/eingeschaltet).
- Messen Sie den Ableitstrom auch bei verdrehtem Geräteanschlussstecker.
- Sollten sie zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen, so ist der größere der relevante Wert.

Versuch 4: Elektrische Sicherheit

Stand: 3. August 2023

Blatt 21/22

3.5 LS-Schalter

- 3.5.1 Es stehen Ansichtsmuster mit durchsichtigem Gehäuse zur Verfügung (gehen Sie bitte sehr sorgsam damit um). Es ist der Aufbau zu skizzieren, der Strompfad und der Wirkungsmechanismus zu beschreiben. Vergleichen Sie dabei auch die LS-Schalter für unterschiedliche Messströme miteinander.
- 3.5.2 Beschreiben Sie die Wirkungsweise der Lichtbogenlöschkammer.

3.6 RCD (von engl. Residual Current Device, vormals Fehlerstromschutzschalter)

- 3.6.1 In einem Schalttafelmodell sei ein Gerät der Schutzklasse 1 an ein TT-Netz mit einem RCD (30 mA bzw. 10 mA Auslösestrom) angeschlossen. Ein Nachlassen des Isolationswiderstandes des angeschlossenen Gerätes und das Auftreten eines Fehlerstroms soll simuliert werden. Auf diese Weise soll Ihr Verständnis für die Wirkungsweise und den Nutzen eines RCD gesteigert werden.

Bauen Sie die bei abgeschalteter Betriebsspannung eine Schaltung mit folgenden Bausteinen und Masken auf.

Es sind für diesen Messaufbau ausschließlich die verfügbaren berührungsgeschützten Sicherheitslaborkabel und Sicherheitslaborstecker zu verwenden.

- Baustein "Netzversorgung mit Vorsatzmaske TT-Netz"
- Baustein "FI-Schutzschalter 30 mA"
- Baustein "Verbraucher (Lampe) mit Vorsatzmaske Verbraucher 4"
- Baustein "FI-Schutzschalter Auslösung".

Benutzen Sie folgende Widerstände:

Betriebserdungswiderstand	$R_B = 4,7 \Omega$
Ausbreitungswiderstand	$R_A = 1 \text{ K}\Omega$
Kurzschlusswiderstand	$R_K = \text{offen}$

Führen Sie die Messungen mit dem Baustein "FI-Schutzschalter 30 mA" und dem Baustein "LS/DI-Schutzschalter 10 mA" durch. Stellen Sie auf dem Baustein "RCD Auslösung" den Kipp-schalter entsprechend auf 30mA bzw. 10mA.

- 3.6.1.1 Auf dem Baustein "FI-Schutzschalter Auslösung" befindet sich ein Potentiometer, mit dem sich ein Fehlerstrom zwischen dem Außenleiter L1 und dem Schutzleiter PE beeinflussen lässt. Verwenden Sie zur Messung ein Amperemeter mit Effektivwertmessung (TRMS) und Maximal-wertspeicherung, das sie an passender Stelle auf dem Baustein "FI-Schutzschalter Auslösung" anschließen.
- Starten Sie mit dem größtmöglichen Widerstandswert des Potentiometers.
 - Dokumentieren Sie den bereits zu Beginn der Messung fließenden Fehlerstrom.
 - Stellen Sie nun durch (langsames) Ändern des Widerstandswerts fest, bei welchem Fehlerstrom der Fehlerstromschutzschalter tatsächlich auslöst
(Beachten Sie bei der Messung die Trägheit des Messgeräts bzw. dessen Anzeige und passen Sie die Drehgeschwindigkeit am Potentiometer entsprechend an.).
- 3.6.1.2 Heute enthalten viele Geräte elektronische Steuerschaltungen, so dass es leicht vorkommen kann, dass Fehlerströme nur durch die Halbwellen einer Polaritätsrichtung herbeigeführt werden. Die Symbolik auf dem verwendeten RCD deutet darauf hin, dass dieser auch solche einweg-gleichgerichteten Fehlerströme zu verarbeiten vermag.
- Simulieren Sie auch einen solchen einweg-gleichgerichteten Fehlerstrom am Experimentier-aufbau und messen Sie analog zu 3.6.1.1 den Effektivwert des Auslöse-Fehlerstroms mit einem Amperemeter mit Maximalwertspeicherung.
(Beachten Sie bei der Messung die Trägheit des Messgeräts bzw. dessen Anzeige und passen Sie die Drehgeschwindigkeit am Potentiometer entsprechend an.)

Versuch 4: Elektrische Sicherheit

Stand: 3. August 2023

Blatt 22/22

- 3.6.1.3 Vergleichen Sie die Ergebnisse der Messungen aus den Punkten 3.6.1.1 und 3.6.1.2.
- 3.6.2 Für die folgenden Messungen verwenden Sie den Aufbau aus Punkt 3.6.1. Trennen Sie auf dem Baustein "FI-Schutzschalter Auslösung" jede Verbindung zum Potentiometer auf und schließen Sie das jeweilige Messgerät mit der dazu gehörigen Adapterleitung an L1, N und PE an.
- 3.6.2.1 Messung mit "Gossen GO-MAT 0100":
- Stellen Sie den Wahlschalter zur RCD-Prüfung auf den dem RCD entsprechenden Nennauslösestrom ein.
 - Notieren Sie zunächst die Spannung zwischen L1 und PE und drücken Sie dann die Starttaste. Es wird Ihnen jetzt die Berührungsspannung angezeigt.
 - Durch Drücken der Taste "Display" bekommen Sie die Messwerte für den Schleifenwiderstand R_s und die Auslösezeit t_A angezeigt. Dokumentieren Sie alle Werte.
- 3.6.2.2 Messung mit "Gossen-Metrawatt PROFITEST 2":
- Stellen Sie den seitlichen Wahlschalter zur RCD-Prüfung auf den dem eingesetzten RCD entsprechenden Nennauslösestrom $I_{\Delta N}$ ein.
 - Dokumentieren Sie (nach Drücken der Taste "START") die Werte der anliegenden Netzspannung U_N , der Netzfrequenz f_N sowie der (eingestellten) dauernd zulässigen Berührungsspannung U_L .
 - Messen und dokumentieren Sie nun die bei Nennfehlerstrom $I_{\Delta N}$ auftretende Berührungsspannung $U_{I\Delta N}$ sowie den berechneten Erdungswiderstand R_E durch erneutes Drücken der Taste "START" ohne den RCD auszulösen.
 - Anschließend lösen Sie den RCD durch Drücken der Taste " $I_{\Delta N}$ " aus. Dokumentieren Sie Auslösezeit t_A und den gemessenen Erdungswiderstand R_E .
- 3.6.3 Weitere Messungen:
- Tauschen Sie den Baustein
 - "FI-Schutzschalter 30 mA"gegen den Baustein
 - "LS/DI-Schutzschalter 10 mA"aus
 - führen Sie mit diesem Baustein die Messungen analog zu den Punkten 3.6.1 und 3.6.2 durch. Dokumentieren Sie die Ergebnisse.
- 3.6.4 Ein verfügbarer RCD ist ggf. zu zerlegen. Es ist der Aufbau zu skizzieren und außerdem ist der Wirkungsmechanismus zu beschreiben.
- 3.6.5 Beschreiben Sie den Nutzen der zum Versuchsaufbau gehörenden Sicherheits-Steckdosenleiste (SRCD (Socket outlet Residual Current Device), Fabrikat: Kopp).

4 Fragen zur Ausarbeitung

- 4.1 Kommentieren Sie alle Messergebnisse
- 4.2 Was sind parasitäre Kapazitäten und wann haben diese Bedeutung?
- 4.3 Was sind Ableitströme und was sind Fehlerströme? Beschreiben Sie auch deren Bedeutung.