

# 1 Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz

## 1.1 Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz

Elektronfälle lassen sich meist auf **technische Mängel**, z.B. fehlende Schutzabdeckungen oder fehlerhafte Isolation, zurückführen. Auch **organisatorische Mängel**, z.B. fehlende oder ungenügende Arbeitsanweisungen, und **persönliche Fehler**, z.B. Fehlhandlungen, führen zu Unfällen. Die **persönliche Schutzausrüstung** am Arbeitsplatz ist von großer Bedeutung als Schutz vor Verletzung und Erkrankung. Persönliche Schutzausrüstung ist alles, was den Körper gegen schädigende Einflüsse schützt, z.B. Schutzkleidung oder Schutzhelm.

**Schutzvorrichtungen und erklärende Hinweisschilder**, z.B. das Hinweisschild zur Sicherheit am Arbeitsplatz (**Bild**), darf man nicht entfernen.

Die **Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) (Übersicht)** beinhaltet Vorschriften für die Bereitstellung und die Verwendung von Arbeitsmitteln.

**Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG)**. Dieses Gesetz dient dazu, Sicherheit und Gesundheitsschutz der Beschäftigten bei der Arbeit durch Maßnahmen des Arbeitsschutzes zu sichern und zu verbessern.

Der Arbeitgeber ist verantwortlich für Sicherheit und Gesundheitsschutz im Betrieb. Mit der Durchführung einer gesetzlich vorgeschriebenen **Gefährdungsbeurteilung (Seite 19)** muss er die konkreten Gefährdungen der Arbeitsmittel und Anlagen sowie der Arbeitsbedingungen für die Beschäftigten und die Umwelt erfassen und beurteilen.

**Unfallverhütungsvorschriften (UVVen)** gelten für Unternehmer und Versicherte. Sie verpflichten die Unternehmer, Maßnahmen zur Verhütung von Arbeitsunfällen, Berufskrankheiten und arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren sowie für eine wirksame Erste Hilfe zu treffen. Die Versicherten haben diese Maßnahmen zu unterstützen. Das Vorschriften- und Regelwerk der **deutschen gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV)** unterstützt die Unternehmer und Versicherte bei der Wahrnehmung ihrer Pflichten im Bereich Sicherheit und Gesundheitsschutz.

## 1.2 Produktsicherheitsgesetz

Das **Produktsicherheitsgesetz (ProdSG)** regelt die Anforderungen an die Sicherheit von Produkten und deren Kontrolle und Kennzeichnung (z.B. CE-Kennzeichnung). Es gilt, wenn im Rahmen einer Geschäftstätigkeit Produkte auf dem Markt bereitgestellt, ausgestellt oder erstmals verwendet werden.

### Übersicht: Gesetze und Vorschriften (Beispiele)

- DIN-VDE-Vorschriften
- Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV)
- Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG)
- Unfallverhütungsvorschriften (UVVen)
- Vorschriften und Regelwerke der deutschen gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV)
  - z.B. – Vorschrift 1: Grundsätze der Prävention
  - Vorschrift 2: Betriebsärzte und Fachkräfte für Arbeitssicherheit
  - Vorschrift 3: Elektrische Anlagen und Betriebsmittel
  - Vorschrift 7: Arbeitsmedizinische Vorsorge
- Technische Regeln für Betriebssicherheit (TRBS), z.B. TRBS 1201 Prüfungen von Arbeitsmitteln und überwachungsbedingten Anlagen
- Produktsicherheitsgesetz (ProdSG)
- Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)

**Sicherheit am Arbeitsplatz**

- Arbeiten Sie sicher und umsichtig.
- Nutzen Sie die passive Sicherheit.
- Tragen Sie persönliche Schutzausrüstung.

Achten Sie auf: Warnzeichen Gebotszeichen Verbotsschilder

  
 Rettungszeichen

  
 Brandschutzzeichen


- Beachten Sie Verbote, z.B. Alkoholverbot, Rauchverbot, Zutrittsverbot.
- Melden bzw. beseitigen Sie Sicherheitsmängel oder Gefahrenzustände sofort.
- Benutzen Sie nicht ohne Befugnis Betriebseinrichtungen, Arbeitsgeräte oder Arbeitsmittel.
- Halten Sie Ordnung am Arbeitsplatz.

**Durch aktive Mitarbeit bewahren Sie sich und Ihre Kollegen vor Unfällen und gesundheitlichen Schäden.**

**Bild:** Hinweisschild zur Sicherheit am Arbeitsplatz

### **i** Arbeiten in der Elektrotechnik (Seite 351)

Arbeiten an elektrotechnischen Anlagen dürfen nur durch Elektrofachkräfte oder unter deren Leitung und Aufsicht ausgeführt werden. Elektrofachkräfte müssen die übertragenen Aufgaben beurteilen, mögliche Gefahren erkennen und erforderliche Sicherheitsmaßnahmen treffen können.

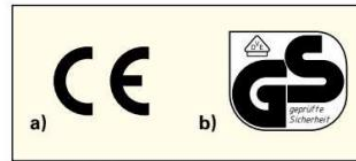
**i** **Produkte** umfassen z.B. Maschinen, Heimwerker- und Haushaltsgeräte, Werkzeuge, Sport- und Freizeitgeräte, sämtliche Textilien, Möbel sowie Spielzeug und persönliche Schutzausrüstungen.

Produkte, die innerhalb der europäischen Union (EU) auf den Markt gelangen, müssen den Sicherheitsanforderungen der EG-Richtlinien genügen. Als Zeichen der Übereinstimmung tragen diese Produkte das **CE<sup>1</sup>-Kennzeichen (Bild a)**. Der Hersteller erklärt damit die Übereinstimmung (Konformität) des Produktes mit den grundlegenden Sicherheitsanforderungen und bringt in eigener Verantwortung die CE-Kennzeichnung am Produkt an.

Mit dem Anbringen der CE-Kennzeichnung bestätigt der Hersteller, dass das Produkt den Anforderungen der EU-Rechtsvorschriften entspricht.

Neben dem CE-Kennzeichen können Produkte das **GS-Zeichen (Bild b)** für **geprüfte Sicherheit** erhalten. Das GS-Zeichen beruht auf dem Produktsicherheitsgesetz. Hersteller können ihre Erzeugnisse freiwillig bei Prüfstellen, die vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) benannt sind, z. B. TÜV<sup>2</sup> und VDE<sup>3</sup>, prüfen lassen.

Produkte mit dem GS-Zeichen garantieren, dass die Sicherheit und Gesundheit des Nutzers nicht gefährdet ist. Die Anbringung dieses Zeichens ist nur nach einer Prüfung durch die GS-Prüfstellen erlaubt.



**Bild: CE-Kennzeichen und GS-Zeichen**

### 1.3 Gefahrstoffverordnung

Die **Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)** gilt für das Inverkehrbringen von Stoffen, Gemischen und Erzeugnissen, weiterhin zum Schutz der Beschäftigten und anderer Personen vor Gefährdungen ihrer Gesundheit und Sicherheit durch Gefahrstoffe und zum Schutz der Umwelt vor stoffbedingten Schädigungen. Insbesondere sind gefährliche Stoffe und Gemische ordnungsgemäß zu verpacken und zu kennzeichnen. Durch das global harmonisierte System (GHS<sup>4</sup>) werden chemische Stoffe weltweit nach identischen Kriterien eingestuft und gekennzeichnet. Das GHS-System wurde mit der CLP<sup>5</sup>-Verordnung, Verordnung über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen in der EU eingeführt. Am auffälligsten ist die Änderung der Kennzeichnungssymbole. Zur Darstellung der Gefahren werden statt der Gefahrensymbole Gefahrenpiktogramme, rot umrandete Raute mit schwarzem Symbol auf weißem Hintergrund (**Tabelle**), verwendet. Zur weiteren Kennzeichnung wurden die Signalwörter „Achtung“ und „Gefahr“ eingeführt.

- **Achtung:** Signalwort für die weniger schwerwiegenden Gefahrenkategorien.
- **Gefahr:** Signalwort für die schwerwiegenden Gefahrenkategorien.

**i Kennzeichnungssystem nach der CLP-(GHS-)Verordnung**

- **Gefahrenpiktogramm**, z. B. 
- **Gesundheitsgefahren** mit Gefahrenkategorien, z. B. Akute Toxizität, Ätz-, Reizwirkung auf der Haut, Gase unter Druck.
- **Signalwörter** „Achtung“ oder „Gefahr“
- **Gefahrenhinweise, H-Sätze** (Hazard Statements) beschreiben die Art und gegebenenfalls den Schweregrad, der von gefährlichen Stoffen oder Gemischen ausgehenden Gefahr (**Bild 1, Seite 17**).
- **Sicherheitshinweise P-Sätze** (Precautionary Statements) beschreiben die empfohlenen Maßnahmen, um schädliche Wirkungen aufgrund der Exposition gegenüber einem gefährlichen Stoff oder Gemisch zu begrenzen oder zu vermeiden (**Bild 1, Seite 17**).

**i** Gefahrstoffe sind Stoffe oder Gemische von Stoffen, die aufgrund ihrer physikalischen, chemischen und toxikologischen Eigenschaften eine Gefährdung für die Gesundheit und Sicherheit der Beschäftigten darstellen können.

Tabelle: Gefahrenkennzeichnung (Alt und Neu im Vergleich)		Physikalisch chemische Gefahren			Gesundheitsgefahren				Umweltgefahren
Alt	 E	 F F+	 O	 C	 T T+	 Xi	 Xn	 N	
Neu	 Explosiv	 Entzündlich  Komprimierte Gase	 Brandfördernd  Korrosiv wirkende Stoffe	 Ätzend, Reizend	 Giftig	 Reizend	 Gesundheitsgefährlich KMR-Stoffe	 Umweltgefährlich	

<sup>1</sup> CE, Abk. für: Communauté Européenne (franz.) = Europäische Gemeinschaft  
<sup>2</sup> TÜV, Abk. für: Technischer Überwachungsverein  
<sup>3</sup> VDE, Abk. für: Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.  
<sup>4</sup> GHS, Abk. für: Globally Harmonised System (engl.) = Global Harmonisiertes System  
<sup>5</sup> CLP, Abk. für: Classification, Labelling and Packaging (engl.) = Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung

Eine Substanz, die als gefährlich eingestuft und verpackt ist, muss ein Kennzeichnungsetikett (Bild 1) mit folgenden Elementen tragen.



Bild 1: Beispiel für die Kennzeichnung eines gefährlichen Stoffes

## 1.4 Sicherheitszeichen

Im technischen Regelwerk der Arbeitsstättenverordnung (ASR) beschreibt die ASR A1.3 die Anforderungen für die Sicherheits- und Gefahrenschutzkennzeichnung in Arbeitsstätten. **Sicherheitszeichen (Hintere Umschlaginnenseite, Tabelle)** dienen zur Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung. Sie warnen vor Gefahren, leiten in gefährlichen Situationen und geben Handlungsanweisungen. Dazu gehört ebenso das Aufzeigen von Verboten. Jede Kennzeichnung soll schnell und unmissverständlich die Aufmerksamkeit auf Gegenstände und Sachverhalte lenken, die Gefahren verursachen können.

Sicherheitszeichen ermöglichen allein durch die Kombination von **Form** und **Sicherheitsfarbe** eine Aussage darüber, ob es sich dabei um Verbot-, Gebots-, Warn-, Rettungs- oder Brandschutzzeichen handelt (**Tabelle**). Zusätzlich haben Sicherheitszeichen noch ein entsprechendes **Bildsymbol**.

- **Verbotszeichen** untersagen ein Verhalten, durch das eine Gefahr entstehen kann, z. B. Schalten verboten (**Bild 2**).
- **Gebotszeichen** schreiben ein bestimmtes Verhalten vor, z. B. Schutzhelm benutzen.
- **Warnzeichen** warnen vor Risiken oder Gefahren, z. B. Warnung vor Laserstrahl.
- **Rettungszeichen** kennzeichnen Rettungswege oder Notausgänge oder den Weg zu einer Erste-Hilfe-Einrichtung.
- **Brandschutzzeichen** kennzeichnen die Standorte von Feuermelde- oder Feuerlöcheinrichtungen.
- **Zusatzzeichen (Bild 2)** dürfen nur in Verbindung mit einem Sicherheitszeichen verwendet werden. Sie liefern zusätzliche Hinweise durch Worte oder Texte.

Tabelle: Form, Farbe und Bedeutung von Sicherheitszeichen			
Geometrische Form	Sicherheitsfarbe	Bedeutung	Anwendungsbeispiel
 Kreis mit Diagonalbalken	<b>ROT</b>	Verbot	 Rauchen verboten
 Kreis	<b>BLAU</b>	Gebot	 Kopfschutz benutzen
 gleichseitiges Dreieck mit gerundeten Ecken	<b>GELB</b>	Warnung	 Warnung vor feuergefährlichen Stoffen
 Quadrat	<b>GRÜN</b>	Gefahrlosigkeit	 Notruftelefon
 Quadrat	<b>ROT</b>	Brandschutz	 Feuerlöscher

	Verbotszeichen	<b>Es wird gearbeitet!</b> Ort: Datum: Entfernen des Schildes nur durch:
	Zusatzzeichen	

Bild 2: Verbotsschilder mit Zusatzzeichen

## 1.5 Erste Hilfe

Unter Erster Hilfe versteht man Hilfeleistungen vor Ort, bevor der Verletzte oder Kranke ärztlich versorgt wird.

Häufig hängt das Leben eines Verletzten davon ab, dass möglichst rasch und noch am Unfallort **Erste Hilfe (Bild 2)** geleistet wird. Der Arbeitgeber (Unternehmer) ist für eine wirksame Erste Hilfe verantwortlich und hat die dafür erforderlichen Maßnahmen zu treffen. Dazu gehören insbesondere auch die Benennung einer ausreichenden Anzahl von **Ersthelfern** (gesetzlich vorgeschrieben in DGUV Vorschrift 1), die Sicherstellung einer entsprechenden Ausbildung und die Zurverfügungstellung einer geeigneten Erste-Hilfe-Ausrüstung.

Bei Unfällen durch elektrischen Strom ist auf Eigenschutz zu achten und der über den Menschen fließende Strom muss unterbrochen werden.

In Niederspannungsanlagen (übliche Spannung im Haushalt und Gewerbe 230/400 V bis maximal 1000 V) erfolgt eine Unterbrechung des Stromkreises z.B. durch Ausschalten, Ziehen des Steckers oder Herausnehmen der Sicherung. Kann der Stromkreis nicht unterbrochen werden, so ist der Verunglückte durch einen nichtleitenden Gegenstand, z.B. eine Isolierstange, von den unter Spannung stehenden Teilen zu trennen.

In **Hochspannungsanlagen** (über 1000 V, durch Warnschild mit Blitzpfeil gekennzeichnete Anlagen, **Bild 1**) ist sofort der Notruf zu veranlassen und Fachpersonal zu verständigen. Die Rettung aus Hochspannungsanlagen erfolgt nur durch Fachpersonal. Der Stromkreis darf deshalb nur von einer Elektrofachkraft mit Schaltberechtigung abgeschaltet werden.

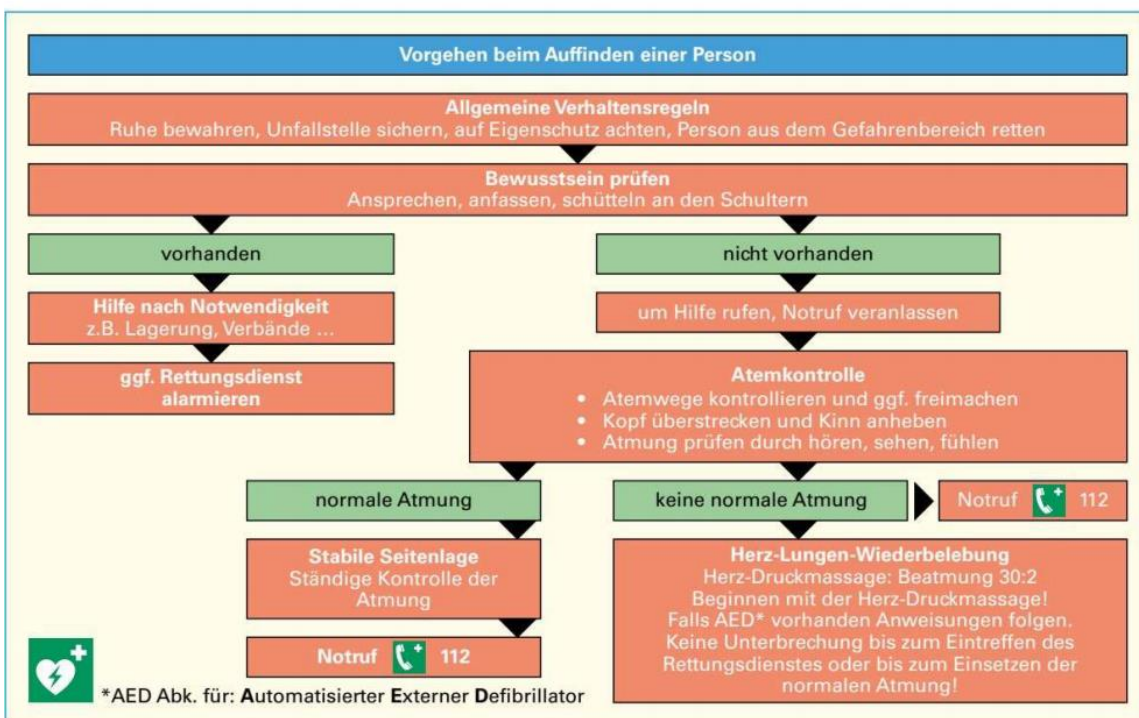
Bei **unbekannter Spannung** ist ebenso wie bei Hochspannung ein Sicherheitsabstand von mindestens 5 m einzuhalten. Es sind die gleichen Maßnahmen zu ergreifen wie bei Hochspannung.

**i Notruf 112**

- **Wo** ist es passiert?
- **Was** ist passiert?
- **Wie** viele Verletzte?
- **Welche** Verletzungen?
- **Warten** auf Rückfragen der Rettungsleitstelle! Niemals das Gespräch selbst beenden.



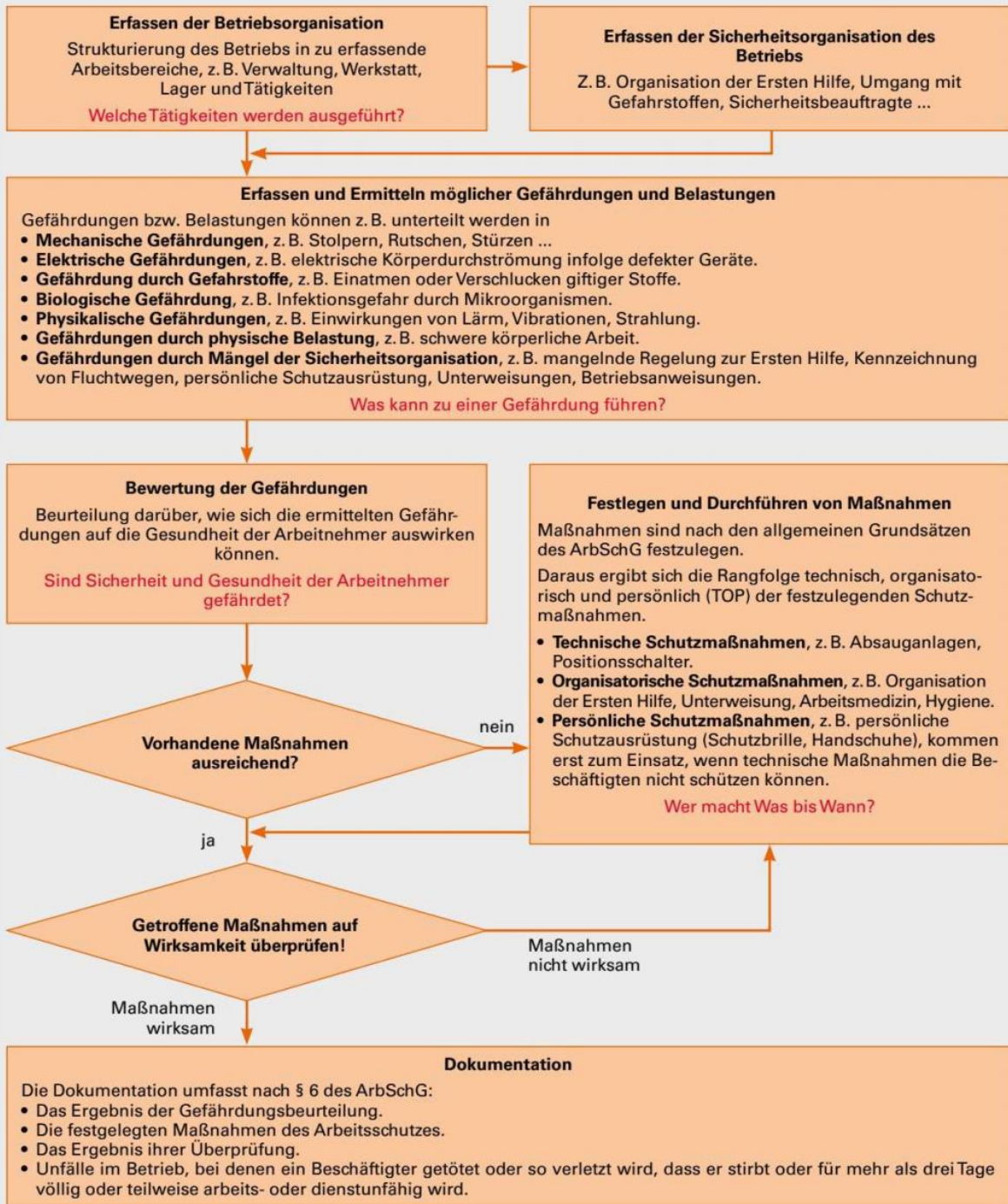
**Bild 1: Warnung vor gefährlicher elektrischer Spannung**



**Bild 2: Maßnahmen zur Ersten Hilfe**

**Handlungsanleitung zur Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung**

Jede Tätigkeit ist mit Unfall- und Gesundheitsrisiken verbunden. Damit die Risiken möglichst gering gehalten werden, sind Unternehmer verpflichtet, nach §5 Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG), §3 Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) und Technische Regeln für Betriebssicherheit (TRBS) 1111, eine Gefährdungsbeurteilung zu erstellen. Ein Unternehmen hat durch die Beurteilung der von seinen eingesetzten Arbeitsmitteln ausgehende Gefährdung auf beteiligte und unbeteiligte Personen, Tiere und Sachen zu ermitteln, welche Maßnahmen des Arbeitsschutzes erforderlich sind.



## 2.2 Arten von Stromkreisen

In der Elektrotechnik muss die elektrische Energie sicher und wirtschaftlich bis zum Verbraucher geliefert werden. Dazu benötigt man verschiedene Stromkreise. Man unterscheidet in der Praxis:

- Elektrische Gleichstromkreise,
- Einphasen-Wechselstromkreise (vereinfacht Wechselstromkreise genannt),
- Dreiphasen-Wechselstromkreise (auch Drehstromkreise genannt).

Elektrischer Gleichstromkreis (Seite 24)		
Betriebsmittelanschluss	Kennzeichnung	Schaltplan
Positiver Pol	+	
Negativer Pol	-	
Leiterbenennung	Kennzeichnung	
Positiver Leiter	L+	
Negativer Leiter	L-	

Überstrom-Schutzeinrichtungen (Sicherungen)

Gleichrichtung: Seite 251

Dreiphasen-Wechselstromkreis (Seite 155)		
Leiterbenennung	Kennzeichnung	Schaltplan
Außenleiter 1	L1	
Außenleiter 2	L2	
Außenleiter 3	L3	
Neutralleiter	N	
Schutzleiter	PE	
Neutralleiter mit Schutzfunktion	PEN	



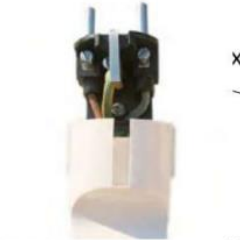
Drehstrommotor

- Motoren: Seite 481
- Schaltzeichen: Seite 654

Einphasen-Wechselstromkreis (Seite 127)		
Leiterbenennung	Kennzeichnung	Schaltplan
Außenleiter	L*	
Neutralleiter	N	
Schutzleiter	PE	



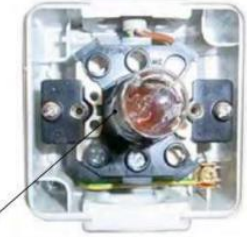
Schutzkontaktsteckdose



Schutzkontaktstecker



Abzweigdose



Leuchte mit Lampe



Ausschalter

- Installationsschaltungen: Seite 103
- Farbkennzeichnung von Leitern: Seite 309
- Leitungsverlegung: Seite 315

\* Die Zahl nach „L“, z. B. L1, L2, L3, wird nur in Stromkreisen mit mehr als einem Außenleiter angegeben.

## Elektrischer Gleichstromkreis

**Versuch 1:** Verbinden Sie durch zwei Kupferdrähte eine Lampe für 1,2 V/0,22 A mit den Anschlüssen einer 1,5-V-Batterie, z. B. einer Mignon-(AA-) Batterie (**Bild 1**).

Die Lampe leuchtet nur, wenn sie mit den Drähten verbunden ist und diese mit den Polen der Batterie Kontakt haben.

Die Batterie liefert die elektrische Energie, welche die Lampe zum Leuchten bringt. Die Batterie ist im Versuch der **Erzeuger** (nach DIN VDE 0100, Teil 200 auch **Stromquelle** genannt). Die Lampe ist das elektrische Verbrauchsmittel oder kurz der Verbraucher. (Für die Begriffe Erzeuger und Verbraucher siehe auch **Seite 42**.)

Die Lampe leuchtet, wenn sie vom **elektrischen Strom** durchflossen wird. Dieser Strom fließt vom Pluspol der Batterie durch den oberen Draht zum Fußkontakt der Lampe, durch den Glühfaden hindurch zum Lampengehäuse und durch den unteren Draht zur Batterie zurück (**Bild 1**). In der Praxis wird diese Schaltung z. B. in einer Taschenlampe verwendet (**Bild 2**).

Der elektrische Strom fließt vom Erzeuger zum Verbraucher und wieder zurück zum Erzeuger. Diesen geschlossenen Weg nennt man elektrischen **Stromkreis**. Fließt der Strom im Stromkreis immer in die selbe Richtung, so spricht man von Gleichstrom.

- Elektrischer Strom fließt nur im geschlossenen Stromkreis.
- Ein Stromkreis besteht mindestens aus Erzeuger, Verbraucher und aus dem Hin- und Rückleiter.
- Im elektrischen Gleichstromkreis hat der Strom immer die gleiche Richtung. Die Stromstärke kann sich verändern.

**Versuch 2:** Fügen Sie in den Stromkreis des letzten Versuchs nacheinander Stäbe aus Kupfer, Aluminium, Stahl, Kohle, Glas, Porzellan und Kunststoff ein (**Bild 3**).

Nur bei den Metallstäben und beim Kohlestab leuchtet die Lampe (allerdings mit unterschiedlicher Helligkeit).

Metalle leiten den elektrischen Strom gut, Kohle weniger gut; Glas, Porzellan und Kunststoffe leiten den Strom gar nicht.

**Versuch 3:** Füllen Sie einen Becher aus Glas mit destilliertem Wasser<sup>1</sup> und tauchen Sie zwei blanke Kupferdrähte hinein. Verbinden Sie die Drähte mit der 1,5-V-Batterie und der Lampe. Schließen Sie den Stromkreis mit einem dritten Kupferdraht von der Lampe zur Batterie (**Bild 4**). Geben Sie dann etwas Kochsalz in das Wasser und lösen Sie es durch Umrühren mit einem Glasstab auf.

Bei destilliertem Wasser bleibt die Lampe dunkel. Nach Auflösen des Salzes leuchtet sie.

Reines Wasser leitet den elektrischen Strom fast nicht. Die Lösung eines Salzes oder einer Säure ist stromleitend.

Die einzelnen Stoffe leiten den elektrischen Strom mehr oder weniger gut. Metalle, z. B. Kupfer oder Aluminium, besitzen eine gute Leitfähigkeit. Man verwendet sie als **Leiter**. Stoffe, die den elektrischen Strom nicht leiten, wie Luft, Gummi, Glas, Porzellan oder Kunststoffe bezeichnet man als **Nichtleiter**. Sie werden als **Isolierstoffe** benutzt.

Stoffe, deren elektrische Leitfähigkeit zwischen der Leitfähigkeit von Leitern und von Nichtleitern (Isolierstoffen) liegt, nennt man **Halbleiter** (**Seite 195**). Sie werden für Bauelemente der Elektronik verwendet.

**Leiter** sind alle Metalle, Kohle, feuchte Erde und manche Flüssigkeiten.

**Nichtleiter** (Isolierstoffe) sind z. B. Luft, Gummi, Glas oder Kunststoffe.

**Halbleiter** sind z. B. Silicium und Germanium.

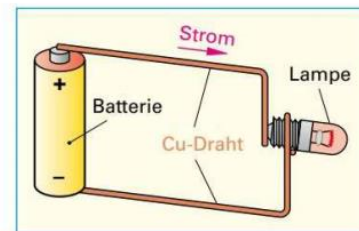


Bild 1: Einfacher Gleichstromkreis

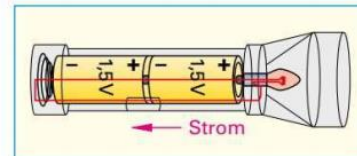


Bild 2: Taschenlampe

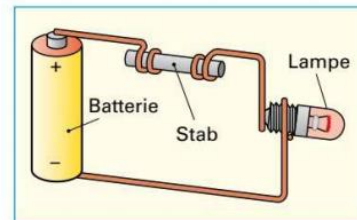


Bild 3: Leiter und Isolierstoffe im Stromkreis

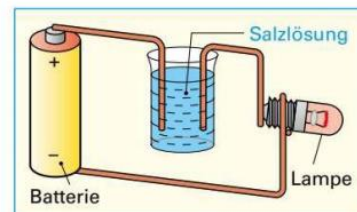


Bild 4: Salzlösung als Leiter

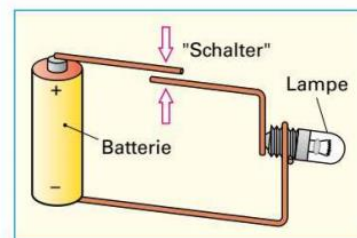


Bild 5: Unterbrechen des Stromkreises

<sup>1</sup> Destilliertes Wasser ist Wasser ohne die im normalen Leitungswasser vorkommenden Ionen, Spurenelemente und Verunreinigungen.

**Versuch 4:** Bauen Sie einen Stromkreis nach **Bild 5, Seite 24**, auf. Drücken Sie die losen Enden der Drähte zusammen und öffnen Sie danach diesen improvisierten Schalter wieder.

*Die Lampe leuchtet nur, wenn der Schalter geschlossen ist und die Drähte elektrischen Kontakt miteinander haben.*

Ein Schalter besteht aus einem beweglichen Metallstück (Schaltstück), das mit festen Leiterwerkstoffen verbunden werden kann. Ein Isolierstoff, meist Luft, trennt in geöffnetem Zustand die Leiterwerkstoffe voneinander. Den Schalter baut man so in die Hinleitung ein, dass er sich leicht bedienen lässt.

Durch Schließen bzw. Öffnen des Schalters kann man den Verbraucher ein- oder ausschalten.





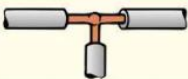






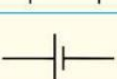



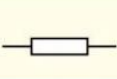


### Schaltzeichen

Schaltzeichen verwendet man zur Darstellung von Betriebsmitteln in Schaltplänen (**Seite 100**), hauptsächlich für Stromlaufpläne (**Seite 101**). Schaltzeichen (**Tabelle**) sind genormte Sinnbilder elektrischer Betriebsmittel wie Erzeuger, Verbraucher, Schalter, Widerstände oder Leiter. Schaltzeichen sollen die elektrischen Eigenschaften der Betriebsmittel zum Ausdruck bringen, über den konstruktiven Aufbau geben sie keine Auskunft. Widerstände haben z. B. immer das gleiche Schaltzeichen, unabhängig von ihrer Größe, ihrer Leistung oder ihrer Ausführungsform.

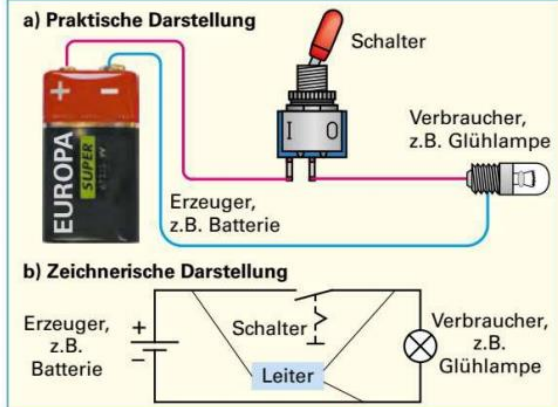
Die Schaltzeichen können in beliebiger Lage dargestellt werden, man bevorzugt jedoch die waagerechte oder senkrechte Lage. Mit den Schaltzeichen lassen sich Stromkreise einfach und übersichtlich darstellen. In einem Schaltplan werden die Schaltzeichen so zusammengestellt, wie die Teile der Stromkreise miteinander verbunden sind (**Bild**). Bei einer Verzweigung der Leiter kann die Verbindung der Leiter durch einen Punkt gekennzeichnet sein. Dieser Punkt darf auch weggelassen werden, wenn dadurch keine Verwechslung möglich ist (**Tabelle**), z. B. bei einer Leiterverzweigung.

Ob die einzelnen Schaltzeichen groß oder klein gezeichnet werden, hängt von der optischen Gesamtwirkung des Schaltbildes ab. Die Funktion der Schaltung muss jedoch gut erkennbar sein.

**Tabelle: Schaltzeichen**

Benennung	Bild	Schaltzeichen
Leiter		
Leiterkreuzung (nichtleitend)		
Leiterverzweigung, einfach		Form 1  Form 2 
Leiterverzweigung, doppelt		Form 1  Form 2 
Batterie (Erzeuger)		
Glühlampe		
Widerstand		
Schalter		

**i** Schaltzeichen (**Seite 654**) sind nach **DIN EN 60617** genormt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird bei Leitungsverzweigungen in diesem Buch die Form 2 verwendet.



**Bild:** Schaltplan eines Stromkreises

### Wiederholungsfragen

- 1 Aus welchen Teilen besteht ein elektrischer Stromkreis?
- 2 Unter welcher Bedingung fließt in einem Stromkreis ein elektrischer Strom?
- 3 In welche Gruppen kann man alle Stoffe nach ihrer elektrischen Leitfähigkeit einteilen?
- 4 Wodurch unterscheiden sich elektrische Leiter von den Isolierstoffen?
- 5 Nennen Sie einige elektrische Leiter.
- 6 Zählen Sie gebräuchliche Isolierstoffe auf.
- 7 Wozu benötigt man Schaltzeichen?
- 8 Worauf ist bei der Darstellung der Betriebsmittel eines Schaltplanes zu achten?
- 9 Worin unterscheidet sich die Form 1 von der Form 2 bei Schaltzeichen zu Leiterverzweigungen?

## 2.4 Elektrische Spannung

### 2.4.1 Spannungserzeugung

In Spannungsquellen werden elektrische Ladungen voneinander getrennt. Dabei entsteht an einem Pol der Spannungsquelle ein Elektronenüberschuss und an dem anderen Pol ein Elektronenmangel. Der Pol mit Elektronenüberschuss ist negativ geladen und wird **Minuspol** genannt, der Pol mit Elektronenmangel ist positiv geladen und wird **Pluspol** genannt. Zwischen Pluspol und Minuspol einer Spannungsquelle kann man eine Spannung messen (**Bild 2, Seite 30**). Bei der Ladungstrennung werden Ladungen verschoben. Da zwischen ungleichartigen Ladungen Anziehungskräfte wirken, muss dazu Arbeit verrichtet werden. Diese Arbeit ist als Energie in den Ladungen gespeichert.

Durch Ladungstrennung wird Spannung erzeugt.  
Getrennte Ladungen haben das Bestreben, sich auszugleichen.

Zur Veranschaulichung dient die mechanische Spannung in einem Gummiband. Zwei Kugeln an beiden Enden eines Gummibandes befestigt, stellen die positive und negative Ladung dar. Sind die beiden Kugeln dicht beieinander, besteht keine Spannung im Gummiband (**Bild 1a**). Zieht man mit einer Kraft  $F$  die Kugeln auseinander, herrscht eine Spannung im Gummiband (**Bild 1b**). Erhöht man die Kraft, zum Auseinanderziehen der Kugeln, steigt die Spannung im Gummiband (**Bild 1c**). Trennt man nun zwei Kugelpaare mit der gleichen Kraft wie zuvor, können sie nur noch halb so weit auseinandergezogen werden, im Gummiband herrscht nur noch die halbe Spannung (**Bild 1d**). Die Spannung ist umso größer, je mehr Arbeit zur Trennung pro Kugel (Ladung) aufgewendet wurde.

Die erzeugte Spannung  $U$  ist die bei der Ladungsverschiebung aufgewendete Arbeit  $W$  pro Ladung  $Q$  (**Formelkasten rechts**).

### 2.4.2 Spannung am Verbraucher

Wird ein Verbraucher an eine Spannungsquelle angeschlossen, gleichen sich die getrennten Ladungen über den Verbraucher aus. Die bei der Ladungstrennung gespeicherte Energie wird in Arbeit umgesetzt, am Verbraucher misst man eine Spannung (**Bild 3, Seite 30**).

Die Spannung am Verbraucher ist die bei der Ladungsverschiebung frei werdende Arbeit  $W$  pro Ladung  $Q$  (**Formelkasten rechts**).

### 2.4.3 Potenziale in elektrischen Schaltungen

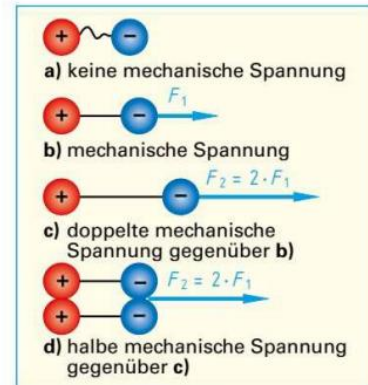
In elektrischen Schaltungen können Messpunkte auf unterschiedlichem Potenzial liegen. Z.B. liegt der Anschluss 4 des Netzteils (**Bild 2**) auf dem Potenzial  $\varphi_4 = 9\text{ V}$ .

Das Potenzial  $\varphi$  bezieht sich immer auf einen Bezugspunkt (Masse).

Zwischen Anschluss 4 des Netzteils (**Bild 2**) mit dem Potenzial  $\varphi_4 = 9\text{ V}$  und Masse mit  $\varphi_1 = 0\text{ V}$  herrscht eine Spannung von  $9\text{ V}$ . Zwischen demselben Anschluss und Anschluss 3, mit dem Potenzial  $\varphi_3 = 6\text{ V}$  liegt jedoch die Spannung  $U_{43} = \varphi_4 - \varphi_3 = 9\text{ V} - 6\text{ V} = 3\text{ V}$ .

Zwischen zwei Punkten mit unterschiedlichen Potenzialen herrscht eine Spannung (**Formelkasten rechts**).

<sup>1</sup> nach Volta, ital. Physiker, 1745 bis 1827; <sup>2</sup>  $\varphi$  griech. Kleinbuchstabe phi.



**Bild 1: Mechanische Spannung**

**Spannung**

$$U = \frac{W}{Q} \quad [U] = \frac{\text{Nm}}{\text{C}} = \frac{\text{VAs}}{\text{As}} = \text{V}$$

$U$ Spannung	$Q$ Ladung
$W$ Arbeit	

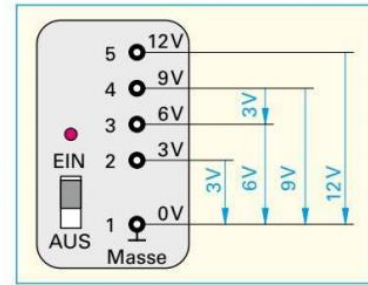
**i Spannung**

- Formelzeichen:  $U$
- Einheitenname: Volt<sup>1</sup>
- Einheitenzeichen: V
- Einheitenvorsätze (Beispiele):
  - 1 mV =  $1 \cdot 10^{-3}\text{ V} = 0,001\text{ V}$
  - 1 kV =  $1 \cdot 10^3\text{ V} = 1000\text{ V}$
  - 1 MV =  $1 \cdot 10^6\text{ V} = 1\,000\,000\text{ V}$

Das Berühren von Spannungen über  $50\text{ V}$  kann tödlich sein (**Seite 346**).

**Tabelle: Spannungsbeispiele**

Thermospannung	40 $\mu\text{V}$
Monozelle	1,5V
Autobatterie	12V
Wechselstromnetz	230V
Drehstromnetz	400V
Höchstspannung	220 kV, 380 kV
Blitz	bis 1000 MV



**Bild 2: Potenziale**

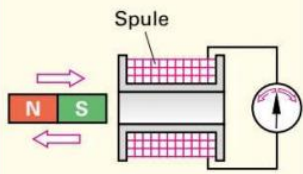
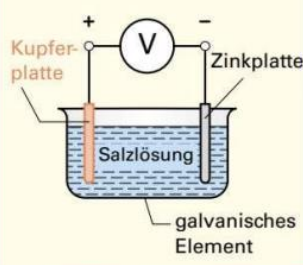
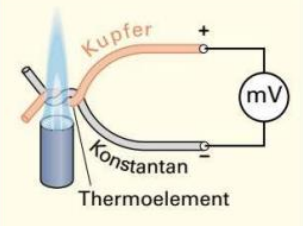
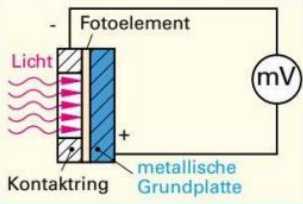
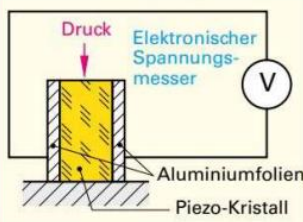
**Spannung als Potenzialdifferenz**

$$U_{21} = \varphi_2 - \varphi_1$$

$U$ Spannung	$\varphi^2$ Potenzial
--------------	-----------------------

## 2.4.4 Arten der Spannungserzeugung

**Tabelle: Arten der Spannungserzeugung**

Spannungserzeugung durch	Versuch und Erkenntnis	Anwendung (Beispiele)
<b>Induktion<sup>1</sup></b>		
	<p><b>Versuch 1:</b> Schließen Sie einen Spannungsmesser mit Millivolt-Messbereich (Nullpunkt in Skalenmitte) an eine Spule mit 600 Windungen an. Führen Sie einen Dauermagneten in die Spule ein und ziehen Sie ihn wieder aus der Spule heraus.</p> <p><i>Bewegt sich der Dauermagnet in der Spule, schlägt der Zeiger des Spannungsmessers aus, beim Herausziehen umgekehrt wie beim Hineinschieben.</i></p> <p>Bei der Induktion (Seite 94) werden durch magnetische Energie elektrische Ladungen getrennt.</p>	<p><b>Generatoren:</b> Fahrraddynamos, Kfz-Lichtmaschinen, Kraftwerksgeneratoren, dynamische Mikrofone</p>
<b>Chemische Reaktion im galvanischen Element<sup>2</sup></b>		
	<p><b>Versuch 2:</b> Schließen Sie einen Spannungsmesser (Messbereich 3 V) an zwei Kupferplatten in einem Becher mit Kochsalzlösung an. Ersetzen Sie dann eine der Platten durch eine Zinkplatte und messen Sie wieder die Spannung an den Platten.</p> <p><i>Der Spannungsmesser zeigt eine Spannung an, wenn sich zwei verschiedene Platten in der Salzlösung befinden. Zwei unterschiedliche Metalle in einer leitenden Flüssigkeit (Elektrolyt) bilden ein galvanisches Element.</i></p> <p>Im galvanischen Element (Seite 64) trennt eine chemische Reaktion elektrische Ladungen.</p>	<p><b>Elektrochemische Spannungserzeuger:</b> Batterien, Monozellen (galvanische Elemente), Akkumulatoren, Brennstoffzelle</p>
<b>Wärme im Thermoelement<sup>3</sup></b>		
	<p><b>Versuch 3:</b> Schließen Sie einen Spannungsmesser mit Millivolt-Messbereich an einen Kupfer- und einen Konstantandraht an und verdrehen Sie die freien Drahtenden. Erwärmen Sie die Verbindungsstelle mit einer Gasflamme.</p> <p><i>Beim Erwärmen der Verbindungsstelle zeigt der Spannungsmesser eine Gleichspannung an (etwa <math>40 \mu\text{V je K}^4</math>).</i></p> <p>Im Thermoelement (Seite 190) trennt die Wärme elektrische Ladungen.</p>	<p><b>Thermo-elemente:</b> Verwendung zur Temperaturmessung und Temperatur-Fern-Messung, z.B. an schwer zugänglichen Stellen</p>
<b>Licht im Fotoelement<sup>5</sup></b>		
	<p><b>Versuch 4:</b> Schließen Sie einen Spannungsmesser mit Millivolt-Messbereich an ein Fotoelement an. Beleuchten Sie das Fotoelement mit einer Glühlampe.</p> <p><i>Bei Beleuchtung zeigt der Spannungsmesser eine Spannung an.</i></p> <p>Im Fotoelement (Seite 222) trennt die Strahlungsenergie des Lichtes elektrische Ladungen.</p>	<p><b>Fotoelemente:</b> Verwendung als Stromquellen, z.B. für Satelliten, Taschenrechner, Uhren, Fotovoltaik</p>
<b>Druck auf Piezokristalle<sup>6</sup></b>		
	<p><b>Versuch 5:</b> Schließen Sie einen elektronischen Spannungsmesser an einen Piezokristall an. Drücken Sie auf den Kristall.</p> <p><i>Solange der Druck auf den Kristall zu- oder abnimmt, schlägt der Zeiger des Spannungsmessers nach rechts oder nach links aus (piezoelektrischer Effekt).</i></p> <p>Bei manchen Kristallen, z.B. Quarz, werden durch Druck elektrische Ladungen getrennt.</p>	<p><b>Piezokristalle:</b> Verwendung in Kristallmikrofonen, Drucksensoren, Gasanzündern</p>

<sup>1</sup> von inducere (lat.) = einführen; <sup>2</sup> nach Luigi Galvani, italienischer Arzt, 1737 bis 1798; <sup>3</sup> von thermos (griech.) = warm;

<sup>4</sup> Temperaturunterschiede werden statt in Grad Celsius in Kelvin (K) angegeben; <sup>5</sup> von phos (griech.) = Licht; <sup>6</sup> von piezein (griech.) = drücken

## 2.5 Elektrischer Strom

**Versuch 1:** Schließen Sie eine 12-V-Glühlampe an den Pluspol und Minuspol einer Gleichspannungsquelle, z. B. an ein Netzgerät mit  $U = 12\text{ V}$ , an (**Bild 1**).

Die 12-V-Glühlampe leuchtet.

Die von der Spannungsquelle getrennten Ladungen gleichen sich aus. Dabei müssen Elektronen vom Minuspol (Elektronenüberschuss) über die Glühwendel der Lampe zum Pluspol (Elektronenmangel) fließen. In der Glühlampe tritt dabei eine Lichtwirkung auf. Diese Bewegung der elektrischen Ladungsträger nennt man elektrischen Strom.

Der elektrische Strom in einem metallischen Leiter ist die gerichtete Bewegung von freien Elektronen.

Das Ausgleichsbestreben der Ladungsträger vom Minus- zum Pluspol ist Ursache für den Stromfluss. Je höher die Spannung der Spannungsquelle, desto stärker ist das Ausgleichsbestreben der Ladungen. Es werden mehr Elektronen durch den Leiter transportiert. Die Anzahl der fließenden freien Elektronen pro Sekunde durch den Leiterquerschnitt ist ein Maß für die elektrische Stromstärke (**Bild 2**).

Die elektrische Stromstärke  $I$  ist die durch einen Leiterquerschnitt bewegte Ladung  $Q$  pro Zeit  $t$ . Die Stromstärke wird in der Einheit Ampere<sup>1</sup> (Einheitenzeichen A) angegeben.

Die bewegte Ladungsmenge  $Q$  im Leiter ist ein Vielfaches der Elementarladung  $e = 1,602 \cdot 10^{-19}\text{ C}$ . Somit besteht die elektrische Ladungsmenge  $Q = 1\text{ C}$  aus der Anzahl  $n = 6,242 \cdot 10^{18}$  Elementarladungen. Die Stromstärke 1 A kann folglich auch über Ladungsmenge und Zeit erklärt werden. Die Stromstärke in einem Leiter beträgt 1 A, wenn sich pro Sekunde eine elektrische Ladungsmenge von 1 C durch den Leiterquerschnitt bewegt.

Die elektrische Stromstärke  $I = 1\text{ A}$  wird über die magnetische Wirkung definiert.

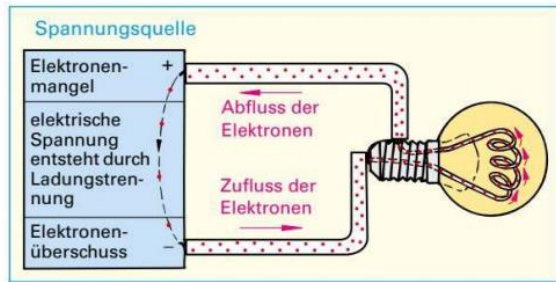
### Definition der Stromstärke

Fließt durch zwei parallele Leiter, die einen Abstand von 1 m haben, eine Stromstärke von  $I = 1\text{ A}$ , so tritt zwischen ihnen je Meter Leitungslänge eine Kraft von  $F = 2 \cdot 10^{-7}\text{ N}$  (Newton) auf.

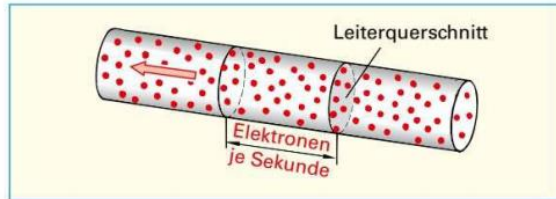
Die Einheit Ampere (A) ist eine Basiseinheit.

**Einheitenvorsätze.** Für sehr große oder kleine Stromstärken kann man wie bei allen physikalischen Größen Einheitenvorsätze verwenden. Damit lassen sich Stromstärken übersichtlicher angeben, z. B.  $1\text{ mA} = 1\text{ Milliampere} = 1 \cdot 10^{-3}\text{ A} = 0,001\text{ A}$ .

In elektrischen Betriebsmitteln bzw. Anlagen treten unterschiedlich hohe Stromstärken auf (**Tabelle**).



**Bild 1: Elektronenbewegung im Stromkreis**



**Bild 2: Elektronenbewegung im Leiter**

### Elektrische Stromstärke

$$I = \frac{Q}{t}$$

$$[I] = \frac{\text{C}}{\text{s}} = \frac{\text{As}}{\text{s}} = \text{A}; \quad 1\text{ C} = 1\text{ As}$$

$I$	Stromstärke
$Q$	elektrische Ladung
$t$	Zeit

**i Stromstärke**

- Formelzeichen:  $I$
- Einheitenname: Ampere
- Einheitenzeichen: A
- Einheitenvorsätze (Beispiele):
  - 1 Mikroampere =  $1\ \mu\text{A} = 1 \cdot 10^{-6}\text{ A} = 0,000\ 001\text{ A}$
  - 1 Milliampere =  $1\ \text{mA} = 1 \cdot 10^{-3}\text{ A} = 0,001\text{ A}$
  - 1 Kiloampere =  $1\ \text{kA} = 1 \cdot 10^3\text{ A} = 1000\text{ A}$

Betriebsmittel/Anlage	Stromstärke
Taschenrechner	100 $\mu\text{A}$
10-W-LED-Lampe E 27	43 mA
Bügeleisen	4,35 A
Straßenbahnmotor	300 A
Elektroschmelzofen	100 kA

### Beispiel:

Bei der Entladung eines Elektronenblitzes fließt während der Zeit  $t = 2\text{ ms}$  die Ladungsmenge  $Q = 0,24\text{ As}$ . Berechnen Sie **a)** die Stromstärke  $I$  bei der Entladung und **b)** die Anzahl  $n$  der Elementarladungen in 2 ms.

### Lösung:

**a)**  $I = \frac{Q}{t} = \frac{0,24\text{ As}}{2\text{ ms}} = \frac{0,24\text{ As}}{0,002\text{ s}} = 120\text{ A}$

**b)**  $n = \frac{Q}{e} = \frac{0,24\text{ As}}{1,602 \cdot 10^{-19}\text{ C}} = 1,5 \cdot 10^{18}$

<sup>1</sup> André Marie Ampère, französischer Physiker, 1775 bis 1836

### Stromrichtung

Man unterscheidet die

- technische Stromrichtung und die
- Richtung der Elektronenbewegung (**Bild 1**)

**Technische Stromrichtung:** Außerhalb des Erzeugers fließt der Strom vom Pluspol (+) zum Minuspol (-).

**Elektronenbewegungsrichtung:** Außerhalb des Erzeugers bewegen sich die freien Elektronen vom Minuspol (Elektronenüberschuss) zum Pluspol (Elektronenmangel).

Den Richtungssinn von Strömen und Spannungen gibt man in der technischen Stromrichtung vom höheren zum niederen Potenzial durch **Bezugs Pfeile** an. In dieser Richtung werden Strom und Spannung als positiv bezeichnet (**Bild 1**).

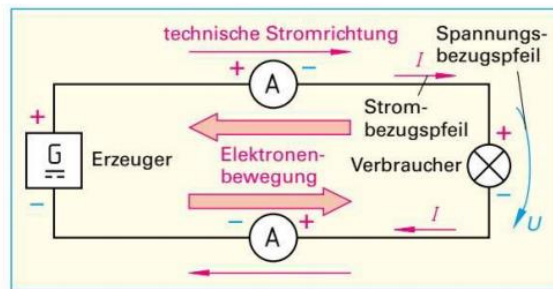
### 2.5.1 Elektrischer Strom in Metallen

In Metallen sind die Atome dicht aneinander gedrängt. Ein Elektron auf der Außenschale eines Atoms kann dabei so nahe an ein benachbartes Atom gelangen, dass es von dessen Atomkern ebenso weit entfernt ist wie vom eigenen. Die Anziehungskräfte der Kerne auf dieses Elektron heben sich in diesem Falle auf, und es kann zum **freien Elektron** werden. Sobald im Metall ein Elektron frei wird, hinterlässt es einen positiv geladenen Atomrumpf, den man auch positives Ion nennt (**Bild 2**).

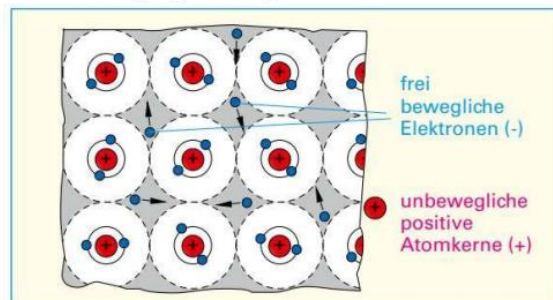
Verbindet man eine Glühlampe mit einer Spannungsquelle, so setzen sich die freien Elektronen im Glühfaden der Lampe fast gleichzeitig zum Pluspol in Bewegung. Die freien Elektronen kommen aber nur mit einer geringen Geschwindigkeit von ca. 0,1 bis 10 mm/s vorwärts, da sie sich im Atomverband nicht ungehindert bewegen können. Diese **Elektronen- bzw. Driftgeschwindigkeit** der Elektronen hängt von ihrer Beweglichkeit, von der Stromstärke, vom Leiterwerkstoff, vom Leiterquerschnitt und von der Temperatur ab. Im **Versuch 1, Seite 31**, leuchtet die Glühlampe sofort. Die freien Elektronen im Leiter stoßen sich wie bei einer Kettenreaktion fast gleichzeitig an. Dies geschieht in ganz kurzer Zeit mit einer Geschwindigkeit, die wesentlich höher ist als die Elektronengeschwindigkeit. Sie erfolgt annähernd mit **Lichtgeschwindigkeit**  $c \approx 300\,000\text{ km/s}$ .

### 2.5.2 Messen elektrischer Stromstärke

Zum Messen der elektrischen Stromstärke verwendet man Strommesser (**Bild 3**). Der Gesamtstrom muss durch das Messinstrument fließen (**Bild 4a**). Die Leitung kann man an beliebiger Stelle trennen, weil die Stromstärke im unverzweigten Stromkreis überall gleich groß ist. Bei Gleichstrom ist auf die Polarität der Anschlüsse zu achten (**Bild 4b**).



**Bild 1: Technische Stromrichtung und Elektronenbewegungsrichtung**



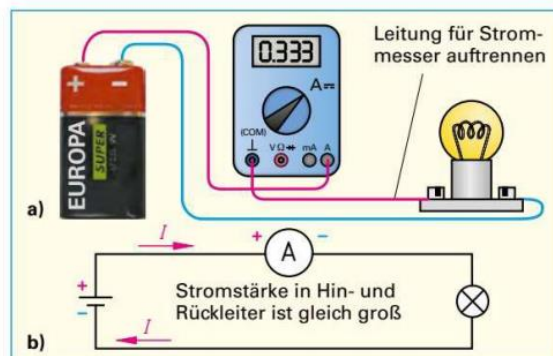
**Bild 2: Freie Elektronen und positive Atomrümpfe eines Leiters**



**Bild 3: Vielfachinstrument, als Strommesser eingestellt**

- i** Zum Messen des elektrischen Stromes wird die Leitung aufgetrennt und der Strommesser in die Trennstelle in Reihe zum Verbraucher geschaltet.

**Strommesszangen: Seite 179**


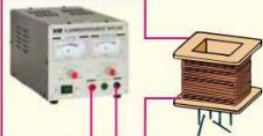

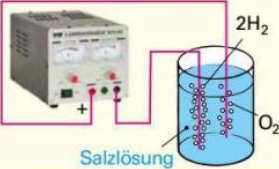



**Bild 4: Messen des Stromes**

### 2.5.3 Wirkungen des elektrischen Stromes

Im **Versuch 1, Seite 31** wurde durch eine Glühlampe nachgewiesen, dass ein elektrischer Strom fließt. Den Strom selbst kann man nicht sehen.

Der elektrische Strom lässt sich nur an seinen Wirkungen erkennen (**Tabelle**).

Tabelle: Stromwirkungen		
Wirkungen	Versuch und Erkenntnis	Anwendung (Beispiele)
<p><b>Wärmewirkung</b></p> <p>Tritt immer auf</p> 	<p><b>Versuch 1:</b> Spannen Sie zwischen zwei Standklemmen einen Stahldraht von etwa 0,3 mm Durchmesser und schließen Sie die Drahtenden an einen Stelltransformator an. Steigern Sie allmählich die Stromstärke.</p> <p><i>Der Draht erwärmt sich, glüht und schmilzt durch.</i></p> <p><b>Der elektrische Strom erwärmt jeden Leiter<sup>1</sup> (Wärmewirkung).</b></p>	<p>Elektroherde, Bügeleisen, Tauchsieder, Warmwasserbereiter, Lötkolben, Schmelzsicherungen</p>
<p><b>Magnetische Wirkung</b></p> <p>Tritt immer auf</p> 	<p><b>Versuch 2:</b> Schließen Sie eine Spule mit 600 Windungen an die Klemmen eines Netzgerätes (6 V oder 12 V) an. Halten Sie die Spule über kleine Eisenteile, z. B. über Nägel oder Büroklammer.</p> <p><i>Die Eisenteile werden angezogen, sobald Strom durch die Spule fließt.</i></p> <p><b>Der elektrische Strom verursacht in seiner Umgebung immer eine magnetische Wirkung.</b></p>	<p>Elektromagnete, Elektromotoren, Schütze, Relais, Messinstrumente, Klingeln, Telefonhörer, Lautsprecher, Türöffner</p>
<p><b>Lichtwirkung</b></p> <p>Auftreten: in Gasen, in Halbleitern</p> <p>Glimmlampe</p> 	<p><b>Versuch 3:</b> Schließen Sie eine Glimmlampe an eine 230-V-Steckdose an.</p> <p><i>Die Glimmlampe leuchtet. Die Lichtwirkung tritt nur in der Umgebung der Wendeln auf. Die gewendelten Drähte selbst leuchten nicht. Beim Leuchten erwärmt sich die Glimmlampe kaum.</i></p> <p><b>Der elektrische Strom bringt Gas zum Leuchten, erwärmt es aber nur wenig (Lichtwirkung).</b></p> <p>Die Glimmlampe enthält Gas mit geringem Druck. In einer Glühlampe erhitzt dagegen der elektrische Strom einen dünnen Draht aus Wolfram so stark, dass er hellweiß glüht und dadurch Licht abstrahlt.</p>	<p>Leuchtstofflampen, Leuchtöhren, Glimmlampen, Leuchtdioden, Glühlampen</p>
<p><b>Chemische Wirkung</b></p> <p>Auftreten: in leitenden Flüssigkeiten</p> 	<p><b>Versuch 4:</b> Schließen Sie zwei Kupferdrähte z. B. an ein Netzgerät von 12 V an. Tauchen Sie die Drahtenden in einen Becher mit Natriumsulfat-Lösung oder verdünnter Schwefelsäure, ohne dass sich die Drähte berühren.</p> <p><i>An den Drahtstücken, die in die Flüssigkeit eintauchen, bilden sich Gasblasen. Das Wasser im Gefäß wird in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt.</i></p> <p><b>Der elektrische Strom zerlegt leitende Flüssigkeiten (chemische Wirkung).</b></p>	<p>Elektrolyse, Galvanisieren, Akkumulatoren</p>
<p><b>Wirkung auf Lebewesen</b></p> <p>Auftreten: bei Menschen, Tieren</p> <p>Leitung unter Spannung</p>  <p>Boden</p>	<p>Der elektrische Strom hat auf Lebewesen eine physiologische<sup>2</sup> Wirkung. Die positive Wirkung des elektrischen Stromes nutzt man in der Elektromedizin.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Beim Berühren blanker elektrischer Leitungen kann durch den menschlichen Körper ein lebensgefährlicher Strom fließen.</li> <li>• Gefahren im Umgang mit dem elektrischen Strom, <b>Seite 345</b>.</li> </ul>	<p>Elektroweidezäune, Viehbetäubung, Elektromedizinische Geräte</p>

<sup>1</sup> Eine Ausnahme bilden die Supraleiter; <sup>2</sup> Physiologie = Lehre von den Vorgängen im Körper von Lebewesen.

# 11 Schutzmaßnahmen

## 11.1 Gefahren im Umgang mit dem elektrischen Strom

**i** Die meisten Unfälle im Umgang mit dem elektrischen Strom geschehen durch Unachtsamkeit. Um eine Gefährdung zu vermeiden oder zu verringern, ist bei der Nutzung elektrischer Energie besondere Sorgfalt erforderlich.

### 11.1.1 Wirkungen des elektrischen Stroms im menschlichen Körper

Der elektrische Strom ist für den Menschen und für Tiere aus mehreren Gründen gefährlich. Alle Flüssigkeiten der menschlichen und tierischen Körper, z.B. Schweiß, Speichel, Blut und Zellflüssigkeit, sind Elektrolyte, d.h., sie leiten den elektrischen Strom.

Menschliche und tierische Körper leiten den elektrischen Strom.

Fast alle menschlichen Organe funktionieren aufgrund elektrischer Impulse, die vom Gehirn ausgehen. So steuern schwache elektrische Impulse von etwa 50 mV z.B. die Bewegung der Muskeln. Die Impulse werden vom Gehirn durch Nerven an die Muskeln herangeführt. Ist ein Nerv unterbrochen, arbeitet der Muskel nicht mehr, er ist gelähmt. Zwischen den Gehirnzentren, z.B. zwischen Sehzentrum, Bewegungszentrum oder Schmerzzentrum, fließen ebenfalls elektrische Ströme. Der Tod (Gehirntod) wird durch Messen dieser Gehirnströme festgestellt.

Viele Ströme (körpereigene Ströme) können über Elektroden erfasst und gemessen werden. So zeigt z.B. das **EKG** (Elektrokardiogramm) die elektrische Aktivität des Herzens, das **EEG** (Elektroenzephalogramm) die elektrische Aktivität des Gehirns.

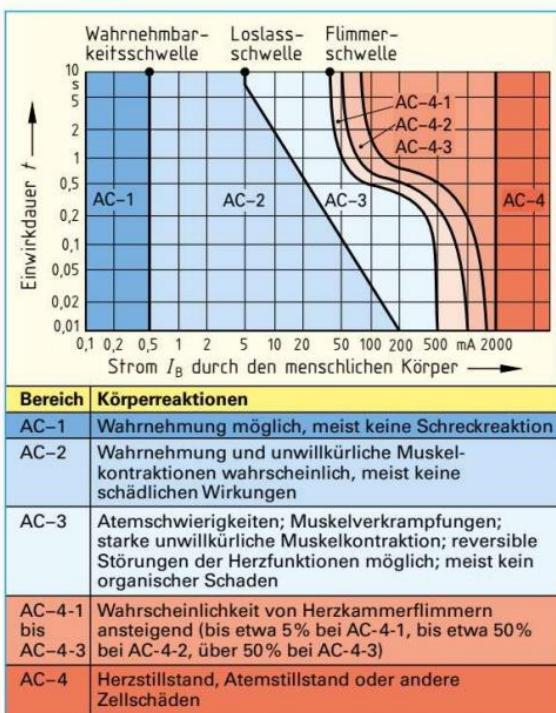
Körpereigene Ströme können gemessen werden.

Auch das Herz funktioniert durch elektrische Ströme, die es selbst erzeugt. Es ist also nicht vom Gehirn abhängig. Das Herz erzeugt je Minute etwa 80 Impulse, die der Herzmuskel mit je einer Kontraktion (Zusammenziehung) beantwortet. Wird die nötige Anzahl an Impulsen je Minute nicht mehr geliefert, schlägt es zu langsam.

Von außen kommende Ströme (Fremdstrome) können die Funktion von Organen beeinflussen.

Fließt ein Strom durch den menschlichen Körper, z.B. beim Berühren eines unter Spannung stehenden Leiters, so verkrampfen sich die Muskeln, wenn der von außen kommende Strom viel größer ist als der körpereigene Strom. Der Verunglückte ist dann unfähig, die Berührungsstelle wieder loszulassen. Die Reaktionen auf den menschlichen Körper sind abhängig von der Einwirkdauer und der Stärke des Berührungstroms  $I_B$  durch den Körper. Aus Untersuchungen hat man vier Wirkungsbereiche festgelegt (Bild).

Fließt Wechselstrom über das menschliche Herz, so versucht es den schnelleren und stärkeren Impulsen von außen zu folgen. Es arbeitet deshalb schneller. Dabei kommt es zu Rhythmusstörungen des Herzens, d.h., das Herz arbeitet unregelmäßig. Fällt der Stromfluss in die sogenannte vulnerable (verletzliche) Phase, kommt es zu dem gefährlichen **Herzkammerflimmern**. Als Folge davon fällt die Herztätigkeit aus mit anschließendem Kreislaufstillstand. Aufgrund des Sauerstoffmangels kommt es bereits nach kurzer Zeit zur Schädigung der Gehirnzellen und führt im weiteren Verlauf zum Tod.



**Bild:** Zeit-Strombereiche bei Wechselstrom 50 Hz und einem Stromweg von der linken Hand zu den Füßen (DIN VDE V 0140-479-1)


Entscheidend für die Folgen eines elektrischen Unfalls ist die Höhe des Stromes, der beim Berühren unter Spannung stehender Teile durch den Körper fließt. Aus Erfahrung weiß man, dass schon eine Stromstärke von 50 mA den Tod herbeiführen kann, wenn der Strom über das Herz fließt.

Der durch den Körper fließende Berührungsstrom  $I_B$  hängt von der Spannung und vom Widerstand des Körpers ab. Dieser **Körperwiderstand**  $R_K$  setzt sich aus dem **Körperinnenwiderstand**  $R_{Ki}$  und den **Übergangswiderständen**  $R_{ü1}$  und  $R_{ü2}$  an der Stromeintritts- und Stromaustrittsstelle zusammen (**Bild**).

Die Übergangswiderstände hängen auch von äußeren Verhältnissen ab. Trockene Haut und trockene Kleidung haben einen großen Widerstand. Bei Feuchtigkeit, z. B. Schweiß oder nassem Fußboden, ist der Übergangswiderstand dagegen gering. Der Übergangswiderstand wird außerdem umso kleiner, je größer die Berührungsfläche ist.

Bei einer Stromstärke von AC 50 mA durch den menschlichen Körper und einem Körperwiderstand  $R_K$ , der aus der Ersatzschaltung mit  $R_{Ki}$  und  $R_{ü}$  zu 1000  $\Omega$  angenommen wird, beginnt die gefährliche Berührungsspannung  $U_B$  daher bei:

$$\begin{aligned} U_B &= R_K \cdot I_B \\ &= 1000 \Omega \cdot 0,05 \text{ A} \\ &= 50 \text{ V} \end{aligned}$$

 Berührungsspannung  $U_B$ : Seite 352



- Wechselspannungen über 50 V sind lebensgefährlich.
- Gleichspannungen über 120 V sind lebensgefährlich.
- Wechselstrom mit einer Frequenz von 50 Hz ist gefährlicher als Gleichstrom, weil es bereits bei dieser Frequenz zum Herzkammerflimmern kommen kann.

### Folgen und Auswirkungen eines Stromschlages

Die Wärmewirkung des elektrischen Stromes führt bei großer Stromstärke an der Ein- und Austrittsstelle zu **Verbrennungen**. Dort entstehen die sogenannten **Strommarken**. Dabei kann es durch Lichtbögen bis zum Verkohlen von Körperteilen kommen (Verbrennungen 4. Grades). Die Folgen starker Verbrennungen führen zur Überlastung der Nieren und damit zum Tode.

Der Strom kann das Blut elektrolytisch zersetzen, vor allem bei längerer Einwirkdauer. Dadurch kommt es zu schweren **Vergiftungserscheinungen**. Solche Folgeerkrankungen können auch erst nach einigen Tagen auftreten. Um sicherzugehen, sollte man daher bei elektrischen Unfällen auch dann einen Arzt aufsuchen, wenn zunächst keine Anzeichen einer Schädigung vorliegen (**Erste Hilfe, Seite 18**).

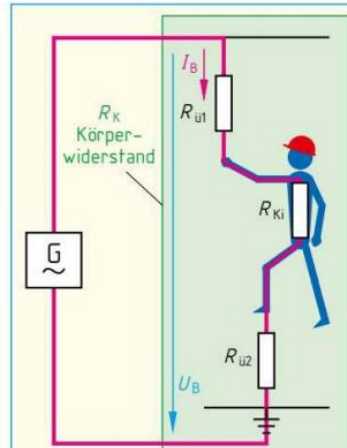


Wegen der Unfallgefahr ist das Arbeiten an unter Spannung stehenden Teilen verboten!

Bei Betriebsspannungen über 50 V Wechselspannung oder 120 V Gleichspannung sind Arbeiten an unter Spannung stehenden Teilen nur dann gestattet, wenn diese Teile aus wichtigen Gründen nicht spannungsfrei geschaltet werden können. Solche Arbeiten dürfen jedoch nur durch Elektrofachkräfte mit Zusatzausbildung ausgeführt werden, nicht aber durch Auszubildende (DIN VDE 0105).

### Achtung!

- Stromstärken ab 50 mA sind lebensgefährlich.
- Die Gefährdung nimmt mit höherer Stromstärke und längerer Einwirkdauer zu.



$R_{ü1}$  Leiter-Körper-Widerstand  
 $R_{Ki}$  Körperinnenwiderstand  
 $R_{ü2}$  Körper-Leiter-Widerstand  
 $U_B$  Berührungsspannung  
 $I_B$  Berührungsstrom

$$\begin{aligned} R_K &= R_{ü1} + R_{Ki} + R_{ü2} \\ U_B &= R_K \cdot I_B \end{aligned}$$

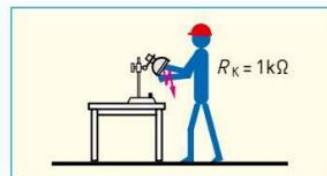
\* statt  $U_B$  auch  $U_T$

**Bild: Körperwiderstand**

### Beispiel:

Bei der Reparatur einer Lampe berührt eine Person die Netzwechselspannung  $U = 230 \text{ V}$ .

- Berechnen Sie die Stromstärke  $I_B$ , die durch den Körper fließt.
- Welche Körperreaktionen sind für den Verunglückten bei einer Einwirkdauer von  $t = 0,1 \text{ s}$  (siehe **Bild, Seite 345**) möglich?



### Lösung:

$$\text{a) } I_B = \frac{U}{R_K} = \frac{230 \text{ V}}{1 \text{ k}\Omega} = 230 \text{ mA}$$

**b)** Atemschwierigkeiten, Muskelverkrampfungen, Muskelkontraktionen, reversible Herzstörungen möglich, meist kein organischer Schaden.

## 11.2 Sicherheitsbestimmungen für Niederspannungsanlagen

Sicherheitsbestimmungen für elektrische Betriebsmittel und für das Errichten elektrischer Anlagen dienen der Verhütung von Unfällen durch elektrischen Strom. Wer elektrische Betriebsmittel, Werkzeuge, Spielzeuge, Haushaltgeräte herstellt oder elektrische Anlagen errichtet, hat beim Errichten, Instandsetzen und Warten von Anlagen Gesetze, Vorschriften und Bestimmungen zu beachten (Gesetzliche Vorschriften, **Übersicht 1, Seite 368**).



Es darf kein Schaden an Lebewesen oder Sachwerten durch elektrischen Schlag entstehen. Rechtsgrundlage dafür ist das VDE-Vorschriftenwerk.

### Wichtige Gesetze und Vorschriften (Auswahl):

- VDE<sup>1</sup>-geprüfte Betriebsmittel und Geräte tragen das VDE-Prüfzeichen (**Tabelle 1**).
- Das **Sicherheitszeichen GS** (GS: Geprüfte Sicherheit, **Seite 16**) haben Geräte, die dem **Produktsicherheitsgesetz (ProdSG)**, den Arbeitsschutzbestimmungen und Unfallverhütungsvorschriften entsprechen. Leitungen mit der Angabe „harmonisiert“ (**Tabelle 2**) sind in allen CENELEC<sup>2</sup>-Ländern zugelassen.

Neben den VDE-Bestimmungen gelten für die Errichtung von Installationen die

- **Technischen Anschlussbedingungen (TAB)** und
- **Vorschriften des Bundesverbandes für Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW)**. Die Anschlussbedingungen regeln den Anschluss an das Niederspannungsnetz des Netzbetreibers und enthalten insbesondere Regelungen über Anmeldeverfahren, Inbetriebsetzung, Hausanschluss und Messeinrichtungen. Weitere Angaben sind Bedingungen für den Betrieb elektrischer Geräte, z. B. Entladungslampen, Motoren, Elektrowärmegeräte, Geräte mit Anschmittsteuerungen und vorgeschriebene Schutzmaßnahmen.

### 11.2.1 Schutzklassen

Elektrische Betriebsmittel müssen im Fehlerfall einen Schutz gegen elektrischen Schlag haben, damit z. B. in Wohnungen, Werkstätten, Büros oder Schulen gefahrlos gearbeitet werden kann.

Zum Schutz gegen elektrischen Schlag werden die Betriebsmittel nach ihrer Konstruktion in die **Schutzklassen I, II und III** eingeteilt (**Tabelle 3**).

<sup>1</sup> VDE, Abk. für: Verband der Elektrotechnik Elektronik Informations-technik e.V.

<sup>2</sup> CENELEC, Abk. für: Europäisches Komitee für Elektrotechn. Normung

<sup>3</sup> CEE, Abk. für: Internationale Kommission für Regeln zur Begutachtung elektrotechnischer Erzeugnisse

<sup>4</sup> CE, Abk.: im Sinn für Europäisches Verwaltungszeichen am Produkt

<sup>5</sup> IEC, Abk. für: Internationale Elektrotechnische Kommission

**Tabelle 1: VDE-Prüfzeichen (nach DIN VDE 0024)**

Bildzeichen	Bezeichnung und Beispiele
	VDE-Zeichen für elektrotechnische Erzeugnisse, z. B. Installationsschalter und Elektrogeräte
	VDE-Elektronik-Prüfzeichen für Bauelemente und Baugruppen der Elektronik, z. B. Netzteile und Stromrichter
	VDE-Kennfaden für isolierte Leitungen und Kabel zur Herstellung nach nationaler Norm
	VDE-Kabelzeichen für Aderleitungen, isolierte Leitungen, Kabel und Installationsrohre
	VDE-Funkschutzzeichen für Elektrogeräte
	VDE-GS-Zeichen nach dem Gerätesicherheitsgesetz für geprüfte Elektrogeräte, z. B. elektrische Werkzeuge

**Tabelle 2: CEE-Prüfzeichen (nach DIN VDE 0024)**

Bildzeichen	Bezeichnung und Anwendungen
	VDE-Harmonisierungskennzeichen für isolierte Leitungen und Kabel
	VDE-Harmonisierungskennfaden für isolierte Leitungen und Kabel
	CEE <sup>3</sup> -Prüfzeichen für Geräte und Installationsmaterial nach CEE-Bestimmungen
	CE <sup>4</sup> -Kennzeichnung für Industrieerzeugnisse, die den einschlägigen Gemeinschaftsvorschriften in Europa entsprechen

**Tabelle 3: Kennzeichnung der Schutzklassen (Bildzeichen nach IEC<sup>5</sup> 60417)**

Schutzklasse	Kennzeichen	Verwendung bei Schutzmaßnahme:
I		Mit Schutzleiter (Betriebsmittel ist mit Schutzleitersystem der Anlage verbunden, z. B. Elektromotor)
II		Doppelte oder verstärkte Isolierung, früher: Schutzisolierung (Betriebsmittel mit Basisisolierung und zusätzlicher oder verstärkter Isolierung, z. B. Leuchten)
III		Kleinspannung (Anschluss nur an SELV- und PELV-Stromkreise, siehe <b>Seite 361</b> , z. B. für Fassleuchten)

### 11.2.2 IP-Schutzarten

Haushaltgeräte, z. B. Haartrockner oder Heizlüfter, haben Öffnungen für Lufteintritt und Luftaustritt. Um Unfallgefahren zu vermeiden, darf es nicht zur Berührung spannungsführender Teile kommen.

Je nach Verwendungszweck und Aufstellungsort der Betriebsmittel ist ein Berührungs- und Fremdkörperschutz und ein Schutz gegen das Eindringen von Wasser erforderlich.



Bild 1: Motor mit Schutzart IP 54

Das Schutzzeichen besteht aus den Buchstaben IP<sup>1</sup> und zwei nachfolgenden Kennziffern, z. B. IP 54. Nach IP und den Ziffern können zusätzliche oder ergänzende Buchstaben stehen, z. B. IP 23 CS (Tabelle). Gehäuse und Klemmenkasten, z. B. von Drehstrom-Normmotoren (Bild 1), entsprechen meist der Schutzart IP 54 (Tabelle). Der Motor ist gegen Staubablagerungen (staubgeschützt) und gegen Spritzwasser aus allen Richtungen geschützt. Schutz gegen Eindringen von Wasser (Bild 2) erreicht man durch entsprechende Bauausführung.

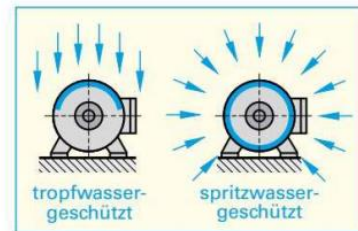


Bild 2: Schutzarten gegen das Eindringen von Wasser


Elektrische Betriebsmittel müssen in feuchten und nassen Räumen sowie in geschützten Anlagen im Freien mindestens tropfwassergeschützt sein (IP X1), ungeschützte Anlagen im Freien müssen mindestens der Schutzart IP X3 entsprechen. Bei der Schutzart IP 68 wird zusätzlich der zulässige Druck bei Tauchbetrieb angegeben, z. B. 3 bar. Neben der Kennzeichnung der Schutzarten durch Buchstaben und Kennziffern wird die Schutzart für Installationsgeräte und elektrische Verbrauchsgeräte durch Bildzeichen (Symbole) gekennzeichnet, z. B. bei Leuchten, Wärmegeräten und Elektrowerkzeugen (Tabelle).

Tabelle: Schutzarten elektrischer Betriebsmittel nach DIN EN 60529 (VDE 0470-1)					
Erste Kennziffer	Schutzgrad: Berührungs- und Fremdkörperschutz	Bildzeichen	Zweite Kennziffer	Schutzgrad: Wasserschutz	Bildzeichen
0	Kein besonderer Schutz.	–	0	Kein besonderer Schutz.	–
1	Schutz gegen Eindringen fester Fremdkörper mit einem Durchmesser ≥ 50 mm.	–	1	Schutz gegen senkrecht tropfendes Wasser.	tropfwassergeschützt IP X1
2	Schutz gegen Eindringen fester Fremdkörper mit einem Durchmesser ≥ 12,5 mm.	–	2	Schutz gegen senkrecht tropfendes Wasser, Betriebsmittel bis 15° geneigt.	–
3	Schutz gegen Eindringen fester Fremdkörper mit einem Durchmesser ≥ 2,5 mm.	–	3	Schutz gegen Sprühwasser (Regen) bis zu einem Winkel von 60° zur Senkrechten.	sprühwassergeschützt (regengeschützt) IP X3
4	Schutz gegen Eindringen fester Fremdkörper mit einem Durchmesser ≥ 1 mm.	–	4	Schutz gegen Spritzwasser aus allen Richtungen.	spritzwassergeschützt IP X4
5	Schutz gegen Staubablagerung (staubgeschützt). Vollständiger Berührungsschutz.	staubgeschützt IP 5X	5	Schutz gegen Strahlwasser (Düse) aus allen Richtungen.	strahlwassergeschützt IP X5
6	Schutz gegen Eindringen von Staub (staubdicht). Vollständiger Berührungsschutz.	staubdicht IP 6X	6	Schutz gegen starken Wasserstrahl oder schwere See aus allen Richtungen.	–
Wird neben den Buchstaben IP nur eine Kennziffer für den Schutzgrad benötigt, so ist anstelle der fehlenden Kennziffer ein X zu setzen, z. B. IP X4 oder IP 3X.			7	Schutz gegen Wasser bei Eintauchen des Betriebsmittels unter Druck-, Zeitbedingungen.	wasserdicht IP X7
<b>3. Stelle, z. B. IP 23C</b> A Schutz gegen Zugang mit dem Handrücken B Schutz gegen Zugang mit dem Finger C Geschützt gegen Zugang mit Werkzeugen D Geschützt gegen Zugang mit Draht			8	Schutz gegen Wasser bei dauerndem Untertauchen des Betriebsmittels.	druckwasserdicht IP X8  ...bar
<b>4. Stelle, z. B. IP 23CS</b> H Betriebsmittel für Hochspannung M Geprüft auf Wassereintritt bei laufender Maschine S Geprüft auf Wassereintritt bei stehender Maschine W Geeignet bei festgelegten Witterungsbedingungen			9	Geschützt gegen Hochdruck und hohe Strahlwassertemperaturen	–


<sup>1</sup> IP, Abk. für: International Protection (engl.) = Internationaler Schutz

### 11.2.3 Maßnahmen bei Arbeiten an elektrischen Anlagen

Der VDE-Ausschuss Sicherheits- und Unfallforschung wertet die vom Statistischen Bundesamt bereitgestellten Zahlen von tödlichen Elektrounfällen in Deutschland aus (Bild 1). Neben Industrie und Gewerbe untersuchte man auch Freizeit und Haushalt. Vor allem Leichtsinn, unsachgemäße und zweckentfremdete Bedienung sowie eine laienhafte Reparatur elektrischer Geräte und Anlagen verursachen viele Unfälle. Der überwiegende Teil der Unfälle ereignete sich im Niederspannungsbereich.

 Grundsätzlich sind Arbeiten an unter Spannung stehenden Anlagen verboten.

Ausnahmen sind in DIN VDE 0105 festgelegt. Sie gelten für Anlagen mit Spannungen ab AC 50 V oder DC 120 V, wenn beim Abschalten eine Gefahr für Personen oder ein unvermeidbar hoher materieller Schaden entstehen würde, z. B. in Glashütten oder in Stahlwerken.

 Arbeiten unter Spannung ist nur Elektrofachkräften oder elektrotechnisch unterwiesenen Personen erlaubt. Dabei sind besondere Sicherheitsvorschriften zu beachten.

Zur Herstellung des spannungsfreien Zustandes bei Arbeiten an elektrischen Anlagen sind die **fünf Sicherheitsregeln** einzuhalten (Tabelle). Vor Beginn der Arbeit ist ein Verbotsschild (Nicht schalten) anzubringen (Bild 3). Eine Arbeitsstelle ist von der Aufsicht führenden Person erst dann freizugeben, wenn die Sicherheitsregeln in der Reihenfolge 1 bis 5 durchgeführt sind. Eine **Elektrofachkraft (EFK)** oder eine **elektrotechnisch unterwiesene Person (EuP)** muss den spannungsfreien Zustand der Anlage feststellen (Bild 4). Nach Beendigung und Überprüfung der Arbeit sind alle beteiligten Personen zu informieren. Die Sicherheitsregeln sind sinngemäß in umgekehrter Reihenfolge aufzuheben. Erst dann meldet der Arbeitsverantwortliche dem Anlagenverantwortlichen die Beendigung der Arbeit und die Einschaltbereitschaft.

Tabelle: Die fünf Sicherheitsregeln für Arbeiten im spannungsfreien Zustand (nach DIN VDE 0105)	
<b>1. Freischalten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Freischalten aller Teile der Anlage (allseitig und allpolig), an denen gearbeitet werden soll (Bild 2),</li> <li>• LS-Schalter abschalten, Schmelzsicherungen entfernen.</li> </ul>
<b>2. Gegen Wiedereinschalten sichern</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betätigungsmechanismus von Schaltgeräten, z. B. LS-Schalter, durch Schloss sichern, Sicherungseinsätze mitnehmen, Verbotsschilder anbringen (Bild 3).</li> </ul>
<b>3. Spannungsfreiheit feststellen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spannungsfreiheit durch Fachkraft feststellen,</li> <li>• Anlage mit zweipoligem Spannungsprüfer prüfen (Bild 4).</li> <li>• Wenn die Arbeit unterbrochen wurde, muss vor Wiederaufnahme die Spannungsfreiheit erneut festgestellt werden. (Gilt nicht, wenn bereits geerdet und kurzgeschlossen ist).</li> </ul>
<b>4. Erden und kurzschließen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zuerst immer erden, dann mit den kurzschließenden aktiven Teilen verbinden (die Erdungs- und Kurzschließvorrichtungen müssen nach Möglichkeit von der Arbeitsstelle aus sichtbar sein). Regel 4 entfällt bei Anlagen unter 1000 V, z. B. in Kabelanlagen, ausgenommen Freileitungen.</li> </ul>
<b>5. Benachbarte unter Spannung stehende Teile abdecken oder abschränken</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei Anlagen unter 1 kV genügen zum Abdecken, z. B. isolierende Tücher, Schläuche, Formstücke. Über 1 kV sind zusätzlich Absperrtafeln, Seile, Warntafeln erforderlich.</li> <li>• Körperschutz, z. B. Schutzhelm mit Gesichtsschutz, eng anliegende Kleidung und Handschuhe tragen.</li> </ul>

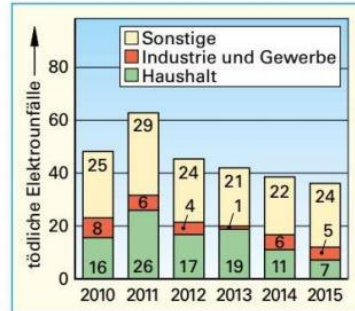


Bild 1: Tödliche Elektrounfälle


 [www.baua.de](http://www.baua.de)  
[www.dguv.de](http://www.dguv.de)



Bild 2: Herausnehmen eines NH-Sicherungseinsatzes



Bild 3: Verbotsschild für Arbeiten an freigeschalteten Anlagen



Bild 4: Feststellen der Spannungsfreiheit an einem Elektroherd

### 11.2.4 Qualifikationen für Arbeiten in der Elektrotechnik

Das Errichten, Warten, Instandhalten oder Prüfen elektrischer Anlagen und Betriebsmittel ist nach **DGUV<sup>1</sup> Vorschrift 3** (früher BGV A3) durch qualifizierte Personen (Elektrofachkräfte) durchzuführen. Je nach Anforderung werden Personen mit unterschiedlichen Qualifikationen (**Bild**) und Fachkenntnissen benötigt.

Der Arbeitgeber hat dafür zu sorgen, dass bei Übertragung von Aufgaben, z. B. Prüfen einer elektrischen Anlage, die Beschäftigten befähigt und geeignet sind, Bestimmungen, Vorschriften und Maßnahmen einzuhalten (**Übersicht und Tabelle**).

**Übersicht: Bestimmungen, rechtliche Vorschriften**

- Unfallverhütungsvorschrift „Elektrische Anlagen und Betriebsmittel“ (DGUV Vorschrift 3)
- Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG)
- Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV)
- Technische Regeln für Betriebssicherheit (TRBS)
- DIN VDE-Bestimmungen (DIN VDE 0105-100)



**Bild: Qualifizierte Personen in der Elektrotechnik**

<sup>1</sup> DGUV, Abk. für Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung

Tabelle: Qualifizierte Personen in der Elektrotechnik		
Personen	Beschreibung, Ausbildung und Qualifikation	Tätigkeiten, Arbeitsbeispiele
Befähigte Personen (bP)	<b>Befähigte Personen</b> müssen für alle elektrotechnischen Arbeiten durch ihre Berufsausbildung, z. B. Elektroniker für Energie- und Gebäudetechnik, geeignet sein. Eine mindestens einjährige Berufserfahrung und zeitnahe berufliche Tätigkeit mit aktualisierten Kenntnissen der Elektrotechnik, z. B. an Schulungen, ist vorausgesetzt.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reparatur-, Service- und Wartungsarbeiten,</li> <li>• Prüfung elektrischer Betriebsmittel,</li> <li>• Instandsetzung und Prüfung von elektrischen Geräten.</li> </ul>
Verantwortliche Elektrofachkraft (VEFK)	Die <b>Verantwortliche Elektrofachkraft</b> ist vom Unternehmer bzw. Arbeitgeber beauftragt, Fach- und Aufsichtsverantwortung zu übernehmen. Die Verantwortung kann für einen ganzen Betrieb, Betriebsteile oder eine Anlage gelten. VEFKe sind oft fachliche Vorgesetzte anderer Elektrofachkräfte, z. B. Handwerks- oder Industriemeister, staatlich geprüfte Techniker oder Ingenieure.	Organisation, fachliche Leitung eines Elektrobereichs, z. B. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Koordinierung der Arbeiten,</li> <li>• Planung und Projektierung von elektrischen Anlagen,</li> <li>• Bereitstellen von Vorschriften/Regeln,</li> <li>• Aus- und Weiterbildung organisieren.</li> </ul>
Elektrofachkraft (EFK)	<b>Elektrofachkraft</b> ist eine Person, die aufgrund ihrer fachlichen Ausbildung, Erfahrungen und Kenntnisse, die ihr übertragenen Arbeiten beurteilen und mögliche Gefahren erkennen kann. Die EFK ist keine Berufsbezeichnung, sondern eine Qualifikation, die nach der Ausbildung im Unternehmen durch Erfahrung erworben werden muss. Voraussetzung ist eine Berufsausbildung, z. B. Geselle, Facharbeiter, Meister, Techniker oder Ingenieur entsprechend den Ausbildungs-, Prüfungs- und Studienordnungen.	Arbeiten an elektrischen Anlagen bis AC 1000 V bzw. DC 1500 V, z. B. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Planen, Projektieren, Konstruieren,</li> <li>• Errichten, Prüfen, Betreiben, Ändern von elektrischen Anlagen,</li> <li>• Einsetzen von Arbeitskräften,</li> <li>• Wartung elektrischer Maschinen</li> </ul> Bei Arbeiten in Anlagen > 1000 V ist eine Schaltberechtigung notwendig.
Elektrofachkraft für festgelegte Tätigkeiten (EFKfT)	<b>Elektrofachkraft für festgelegte Tätigkeiten</b> ist ein Mitarbeiter mit abgeschlossener, technischer Berufsausbildung, der eigenverantwortlich und selbstständig in einem genau festgelegten Bereich tätig ist. Festgelegte Tätigkeiten sind wiederholende elektrotechnische Arbeiten an Betriebsmitteln, die vom Unternehmer in einer Arbeitsanweisung festgelegt sind. Ortsfeste Gebäudeinstallationen, z. B. eine Herdanschlussdose, dürfen nicht verändert oder errichtet werden. Die Ausbildung mit 80 Stunden beinhaltet Theorie und Praxis mit Prüfung.	Es dürfen z. B. nur Betriebsmittel an einen vorhandenen Übergabepunkt angeschlossen, ausgetauscht und geprüft werden, z. B. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektroherd durch Küchenmonteure,</li> <li>• Rollladenmotor durch Rollladenmonteure,</li> <li>• Schaltgeräte und Sensoren an Biegemaschine austauschen und einstellen.</li> </ul>
Elektrotechnisch unterwiesene Person (EuP)	<b>Elektrotechnisch unterwiesene Personen</b> führen einfache elektrotechnische Arbeiten unter Anleitung und Aufsicht einer Elektrofachkraft durch. Sie sind über mögliche Gefahren bei unsachgemäßem Verhalten unterwiesen worden, z. B. Gefahren beim Reinigen einer elektrischen Anlage. Die Ausbildung ist zeitlich begrenzt, z. B. 1 bis 2 Tage, mit Kenntnissen über Unfallverhütungsvorschriften, Normen, Stromgefahren und einfache Schutzmaßnahmen.	Einfache Prüfungen und elektrotechnische Arbeiten unter Anleitung und Aufsicht einer Elektrofachkraft durchführen, z. B. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufstellen einer Parabolantenne,</li> <li>• Ausheben eines Kabelgrabens,</li> <li>• Malerarbeiten in elektrischen Betriebsräumen.</li> </ul>

## 11.4 Schutz gegen elektrischen Schlag

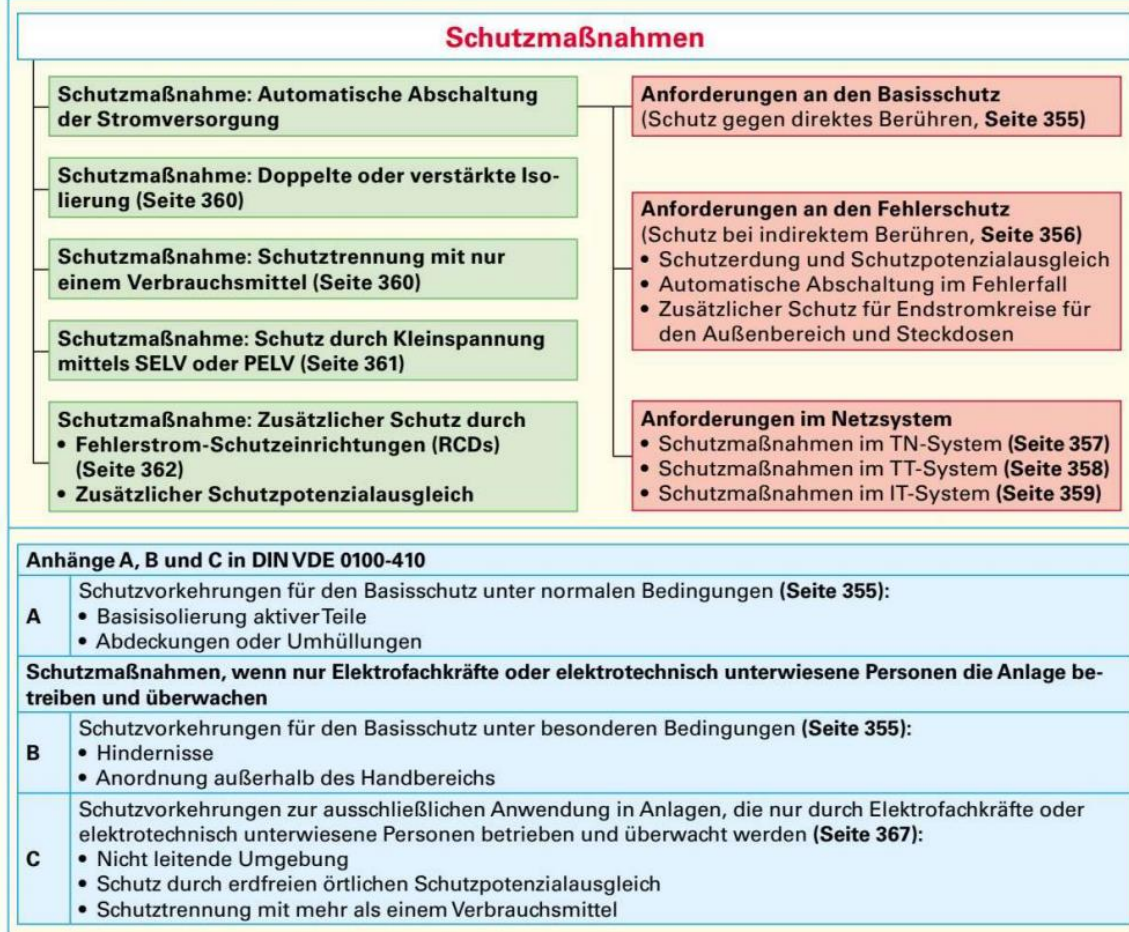
Bei ordnungsgemäßem Betrieb einer elektrischen Anlage dürfen Personen und Nutztiere nicht geschädigt werden. Ebenso muss eine Gefährdung von Sachwerten unterbleiben. Deshalb sind zur Vermeidung und Verhütung von elektrischen Unfällen Schutzmaßnahmen (**Übersicht**) vorzusehen. Treten in Anlagen oder Geräten Fehler auf, muss das Bestehenbleiben einer zu hohen Berührungsspannung (**Seite 352**) verhindert werden, z. B. durch automatisches Abschalten der Anlage. **DIN VDE 0100-410 „Errichten von Niederspannungsanlagen“** legt die Grundregeln des Schutzes gegen elektrischen Schlag fest.

Eine Schutzmaßnahme gegen elektrischen Schlag muss immer bestehen aus:

- Einer Kombination aus zwei unabhängigen Schutzvorkehrungen, dem **Basisschutz** (Schutz gegen direktes Berühren) und dem **Fehlerschutz** (Schutz bei indirektem Berühren) oder
- einem **zusätzlichen Schutz**, der beim Versagen der Schutzvorkehrungen des Basisschutzes oder Fehlerschutzes bzw. beim sorglosen Benutzen elektrischer Anlagen schützt, z.B. durch Anwendung von verstärkter Isolierung oder Einsatz von Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen mit  $I_{\Delta N} = 30 \text{ mA}$ .

Bei der Installation einer elektrischen Anlage ist zu beachten, dass in jedem Teil der Anlage **eine** Schutzmaßnahme oder auch **mehrere** Schutzmaßnahmen angewendet werden können, die sich aber gegenseitig nicht nachteilig beeinflussen dürfen. Die jeweils anzuwendende Schutzmaßnahme ist abhängig von der Auswahl und dem Errichten der Betriebsmittel. Schutz durch automatische Abschaltung der Stromversorgung (**Seite 356**) im Fehlerfall ist die meist angewendete Schutzmaßnahme.

### Übersicht: Schutzmaßnahmen nach DIN VDE 0100-410



# 16 Werkstoffe, Fertigungsverfahren, Umweltschutz und Energieeinsparung

## 16.1 Werkstoffe der Elektrotechnik

Auf der Erde gibt es zahlreiche **Naturstoffe**, z. B. Erze, Kohle und Öl. Sie entstanden ohne menschliches Zutun. Werden Naturstoffe gewonnen und aufbereitet, erhält man **Rohstoffe**. Durch Weiterverarbeitung von Rohstoffen entstehen Werkstoffe, z. B. im Hochofen Eisen aus Eisenerz.

Aus Werkstoffen werden durch Be- und Verarbeitung Fertig- oder Halbfertigerzeugnisse hergestellt.

Die Werkstoffkunde basiert auf Grundlagen der Festkörperphysik, der Chemie und der Elektrochemie. Sie hat bestimmte Themen, Inhalte und Aufgaben (**Übersicht**).

Die Werkstoffe der Elektrotechnik kann man nach ihrer Verwendung einteilen (**Bild 1**).

**Konstruktionswerkstoffe**, z. B. Eisen und Stahl, sind Werkstoffe für Bauelemente und Bauteile, z. B. Baugruppenträger, Antennenmasten und Gehäuse. Sie übertragen vor allem mechanische Kräfte, erfüllen eine Schutzfunktion vor den Gefahren des elektrischen Stromes und halten Umwelteinflüsse fern.

**Hilfsstoffe**, z. B. Lote und Flussmittel, Öle, Brenngase und Klebstoffe, werden zur Herstellung von Fertigprodukten benötigt.

**Leiterwerkstoffe**, z. B. Kupfer und Aluminium, sollen für den Transport des elektrischen Stromes sorgen. Die elektrische Leitfähigkeit ist die wichtigste Eigenschaft dieser Metalle. Das Vermögen, den elektrischen Strom zu leiten, wird durch den spezifischen elektrischen Widerstand angegeben (**Bild 2**). Gute Leiter, z. B. Kupfer, besitzen einen geringen spezifischen Widerstand und somit eine hohe Leitfähigkeit.

**Kontaktwerkstoffe**, z. B. Silber, Wolfram und Gold, werden für elektrische Kontakte verwendet.

**Widerstandswerkstoffe**, z. B. Konstantan, sollen den elektrischen Stromfluss gezielt beeinflussen.

**Isolierstoffe**, z. B. Porzellan und Polyvinylchlorid (PVC), sind nichtleitende Werkstoffe. Sie sollen das Fließen eines elektrischen Stromes verhindern.

**Halbleiterwerkstoffe**, z. B. Silicium, sind Werkstoffe, deren elektrische Leitfähigkeit durch Dotierung und andere Einwirkungen, z. B. Licht, beeinflusst werden kann.

**Magnetwerkstoffe**, z. B. Legierungen aus Eisen, Kobalt und Nickel, sind Werkstoffe, die magnetisiert werden können.

### Übersicht: Die Werkstoffkunde befasst sich mit:

- Werkstoffaufbau
- Werkstoffeigenschaften
- Werkstofftechnologie
- Werkstoffauswahl
- Werkstoffnormung
- Werkstoffprüfung



Kennbuchstaben, Kurzzeichen, Benennung von Werkstoffen sind nach DIN EN, DIN EN ISO und DIN genormt.

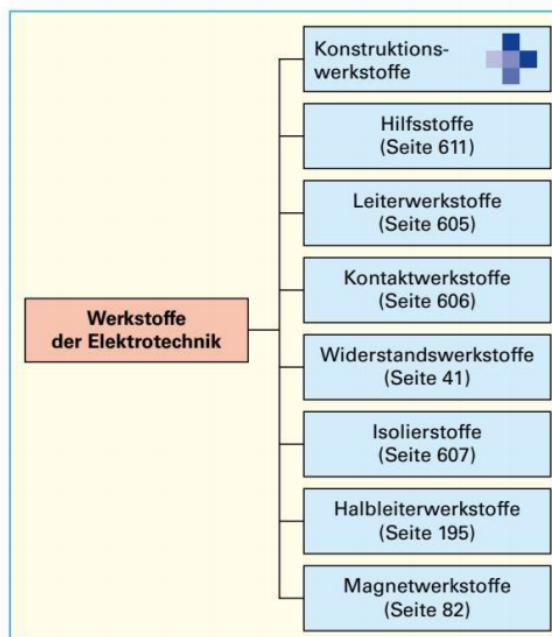


Bild 1: Werkstoffe der Elektrotechnik

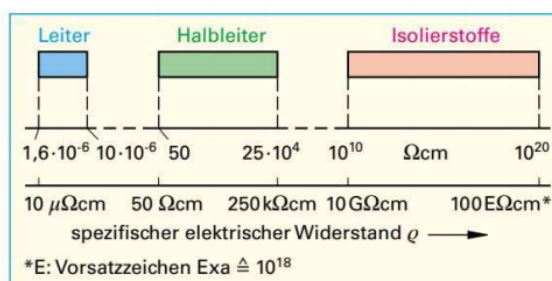


Bild 2: Spezifischer elektrischer Widerstand von Werkstoffen

## 16.1.1 Leiter- und Kontaktwerkstoffe

### 16.1.1.1 Leiterwerkstoffe

Leiterwerkstoffe (**Bild**) dienen dem verlustarmen Transport von elektrischer Energie zwischen Energieerzeugern und -verbrauchern, zur Stromleitung zwischen Bauelementen einer elektronischen Schaltung (**Bild**) und zur Informationsübertragung.

Leiterwerkstoffe müssen als wichtige Eigenschaft eine große **elektrische Leitfähigkeit**  $\gamma^1$  (**Tabelle**) haben. Die elektrische Leitfähigkeit hängt von der Anzahl der freien Elektronen (Leitungselektronen) und ihrer Beweglichkeit ab. Diese werden von der Werkstoffreinheit, vom Herstellungsverfahren und von der Leitertemperatur beeinflusst. Weitere Anforderungen an die Leiterwerkstoffe sind in der **Übersicht** angegeben.

**Kupfer (Cu).** Für die große elektrische Leitfähigkeit von Kupfer ist ein Reinheitsgrad von etwa 99,98% notwendig. Mithilfe elektrolytischer Verfahren wird **Katodenkupfer** hergestellt. Durch nachfolgendes Umschmelzen entsteht dann das in der Elektrotechnik vorrangig eingesetzte **Elektrolytkupfer**.

Elektrolytkupfer wird für Leitungen, Kabel (**Bild a**), Stromschienen, Wickeldrähte und für Leiterbahnen in gedruckten Schaltungen (**Bild b**) verwendet. Im Elektromaschinenbau wird Kupfer für Wicklungen und Stromwender (**Seite 509**) eingesetzt.



www.kupferinstitut.de

**Aluminium (Al).** Bei einem Reinheitsgrad zwischen 99,5% und 99,99% beträgt die elektrische Leitfähigkeit nur etwa 60% der Leitfähigkeit von Kupfer (**Tabelle**).

Wegen des geringen spezifischen Gewichts (**Tabelle**) gegenüber von Kupfer wird Aluminium vorrangig für Freileitungsseile und Kabel verwendet, nicht aber für Installationsleitungen, z. B. Mantelleitungen (NYM).

Auch Stromschienen werden aus Aluminium hergestellt. Da Aluminium unter Druck „fließt“, das bedeutet, es weicht dem Druck aus, können sich Klemmverbindungen lockern, so dass Schweiß- oder spezielle Pressverbindungen notwendig sind. Wegen der elektrochemischen Korrosion ist eine direkte Verbindung von Aluminium und Kupfer zu vermeiden (**Seite 64, Bild 4**).

<sup>1</sup>  $\gamma$  griech. Kleinbuchstabe gamma. Nach DIN 1304 sind anstatt  $\gamma$  auch die Formelzeichen  $K$  (kappa) oder  $\sigma$  (rho) möglich.

**Tabelle: Daten wichtiger Leiterwerkstoffe (Auswahl)**

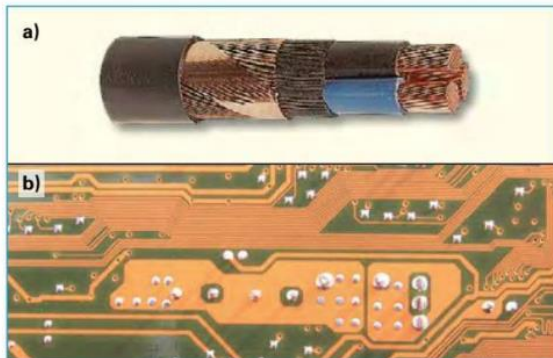
Werkstoff	Leitfähigkeit $\gamma$	Dichte $\rho$
Kupfer	$56 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$	$8,9 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$
Aluminium	$36 \frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$	$2,7 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$



- weitere Leiterwerkstoffe: Tabellenbuch Elektrotechnik
- Leitungen, Kabel, Freileitungen: **Seite 309**

**Übersicht: Wichtige Anforderungen an Leiterwerkstoffe**

<b>elektrisch</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hohe elektrische Leitfähigkeit <math>\gamma</math></li> <li>• kleiner Temperaturkoeffizient <math>\alpha</math></li> </ul>
<b>mechanisch</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hohe Zugfestigkeit</li> <li>• gute Biegebarkeit und Dehnbarkeit</li> <li>• Formbeständigkeit unter Druck</li> </ul>
<b>thermisch</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hohe Temperaturbeständigkeit</li> <li>• gute Löt- und Schweißbarkeit</li> </ul>
<b>chemisch</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Korrosionsfestigkeit</li> <li>• geringe chemische Reaktionsfähigkeit mit Umgebungsstoffen</li> </ul>



**Bild: Anwendungsbeispiele für Elektrolytkupfer**



Kupfer- und Aluminiumpreise schwanken stark und sind in der Kalkulation zu berücksichtigen.

#### Preisbeispiele in € je 100 kg

Datum:	21.06.2013	02.02.2020
Kupfer-DEL*-Preis:	523,06	528,15
Aluminiumpreis:	185,40	196,11

\* DEL, Abk. für: Deutsche Elektrolyt Kupfer



www.del-notiz.org/Metallnotierungen.htm

### 16.1.1.2 Kontaktwerkstoffe

Werkstoffe für Schalt-, Steck-, Gleit- und Schleifkontakte sind unterschiedlichen Beanspruchungen ausgesetzt. Kontakte müssen Ströme von wenigen mA bis etwa 60 kA in sehr kurzer Zeit, z. B. in 10 ms, unterbrechen können. An den geschlossenen Kontakten soll der Kontaktwiderstand gering sein, so dass spezielle Leiterwerkstoffe als Kontaktwerkstoffe zur Anwendung kommen. Die wichtigsten Anforderungen an Kontaktwerkstoffe sind in der **Übersicht** angegeben.

Die speziellen Kontaktwerkstoffe (Legierungen oder Verbundwerkstoffe), z. B. als Kontaktnieten, sind auf den Trägerwerkstoff, z. B. Kupfer, aufgebracht oder mit den Trägerwerkstoffen verschweißt (**Bild 1a**), oft auch aufplattiert. Die Anforderungen an Kontaktwerkstoffe werden nicht nur durch den Einsatz unterschiedlicher Werkstoffe gelöst, sondern auch durch besondere Kontaktformen und -anordnungen (**Bild 1b**). Kontaktabbbrand (**Bild 1a**) bildet sich durch einen **Schaltfunken** oder **Schaltlichtbogen** mit Temperaturen bis 6000 °C.

Werden Strom führende Schaltkontakte geöffnet, kann ein Teil des Kontaktwerkstoffes durch den Lichtbogen schmelzen und verdampfen.

**Kupfer (Cu)** wird selten als reiner Kontaktwerkstoff eingesetzt, weil es leicht oxidiert. Es ist jedoch der häufigste Legierungswerkstoff für Kontaktwerkstoffe.

**Silber (Ag)** und **Gold (Au)** werden überwiegend für Legierungen und für Verbundwerkstoffe verwendet. In der HF-Technik werden Kontakte versilbert oder vergoldet. Kontaktierungen bei Halbleiter-Chip-Anschlüssen und Überzüge auf Relaiskontakten werden oft aus reinem Gold gefertigt.

**Elektrokohle** ist beständig wie Edelmetalle. Man unterscheidet Hart-, Grafit-, Elektrografit- und metallhaltige Kohle.


Für Schleifkontakte (**Bild 2**) wird die **Selbstschmierung** der Kohle, z. B. bei Motoren mit Stromwendern, ausgenutzt. Kohle schmilzt nicht bei höheren Temperaturen, sondern verdampft ab 3847 °C.

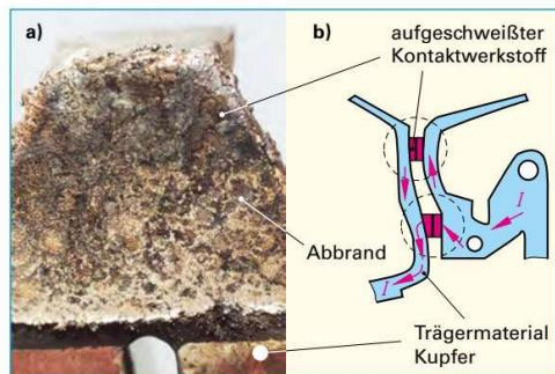
**Verbundwerkstoffe** für Kontakte vereinigen die positiven Eigenschaften mehrerer Einzelstoffe in einem neuen Werkstoff. Insbesondere werden Werkstoffe mit hoher Leitfähigkeit, hoher Härte, geringer Verschweißbarkeit und hoher Abbrandfestigkeit miteinander verbunden. Bevorzugter Grundwerkstoff ist wegen seiner hohen Abbrandfestigkeit Wolfram.

#### Übersicht: Wichtige Anforderungen an Kontaktwerkstoffe

<b>elektrisch</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>hohe elektrische Leitfähigkeit <math>\gamma</math></li> <li>geringe Materialwanderung</li> </ul>
<b>mechanisch</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>genügende Festigkeit und Härte</li> </ul>
<b>thermisch</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>hohe Wärmeleitfähigkeit</li> <li>hoher Schmelzpunkt</li> <li>hoher Siedepunkt</li> <li>geringer Materialverlust durch Lichtbogenabbrand</li> <li>geringe Neigung zum Verschweißen</li> </ul>
<b>chemisch</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>beständig gegen chemische Einflüsse</li> <li>geringe Oxidationsneigung</li> </ul>

- i**
- Legierungen** werden hergestellt, indem man mehrere Metalle oder Metalle und Nichtmetalle in einer Schmelze vereinigt.  
Beispiele: **Kupfer + Zink = Messing**  
**Kupfer + Zinn = Bronze**
  - Verbundwerkstoffe** erhält man durch Zusammenpressen unter hohem Druck und Wärme oder mittels Tränkverfahren, indem man die Poren hochschmelzender poröser Metalle mit niederschmelzenden Metallen ausfüllt.

 Kennwerte von Kontaktwerkstoffen:  
Tabellenbuch Elektrotechnik



**Bild 1:** a) Kontaktfläche mit Abbrandspuren  
b) Prinzip einer Kontaktanordnung



**Bild 2:** Kohlebürsten für Schleifkontakte (Beispiele)

## 16.1.2 Isolierstoffe

Isolierstoffe (**Bild**) sind elektrisch nichtleitende Stoffe. Sie verhindern das unkontrollierte Fließen eines elektrischen Stromes, z. B. durch die Isolierung einer elektrischen Leitung. Isolierstoffe verhindern, dass sich Leiter metallisch berühren oder dass z. B. bei Berührung eines Kabelmantels ein Strom fließen kann.



**Bild:** Einteilung der Isolierstoffe

Die Verwendbarkeit von Isolierstoffen hängt von ihren elektrischen, thermischen und mechanischen Eigenschaften ab. Die Auswahl der Isolierstoffe hängt ferner von der Beständigkeit gegen Umwelteinflüsse, den Möglichkeiten der Formgebung und der Verarbeitung ab.

Isolierstoffe für elektrische Maschinen werden in thermische Klassen eingeteilt (**Seite 485**).

### 16.1.2.1 Elektrische Eigenschaften von Isolierstoffen

Isolierstoffe müssen in der Elektrotechnik bestimmte Eigenschaften haben (**Übersicht**).

Der **spezifische Durchgangswiderstand**  $\varrho_D$  (**Tabelle 1**) ist der Widerstand eines Würfels des betreffenden Isolierstoffes mit der Seitenlänge 1 cm.

Der **Oberflächenwiderstand**  $R_0$  gibt Aufschluss über den elektrischen Widerstand an der Oberfläche eines Isolierstoffes. Er wird in  $\Omega$  angegeben.

Auf **Lichtbogenfestigkeit** prüft man, in welchem Maße der Isolierstoff lichtbogenfest ist oder ob er sich unter dem Einfluss des Lichtbogens verändert.

Unter **Durchschlagfestigkeit**  $E_D$  versteht man die elektrische Feldstärke, bei der ein elektrischer Durchschlag erfolgt. Die Durchschlagfestigkeit hängt vom Werkstoff und von der Dicke ab. Meist gelten die Werte für eine Dicke von 1 mm (**Tabelle 2**).

Unter **Kriechstromfestigkeit** versteht man die Widerstandsfähigkeit des Isolierstoffes gegen das Entstehen von leitenden Kriechspuren durch elektrische Ströme auf der Werkstückoberfläche.

Die **Permittivitätszahl** (früher Dielektrizitätszahl)  $\epsilon_r^1$ , gibt an, um wie viel mal größer die Kapazität eines Kondensators wird, wenn anstelle von Luft ein anderer Isolierstoff als Dielektrikum verwendet wird.

Bei Isolierstoffen ist eine möglichst kleine, bei Kondensatoren eine möglichst große Permittivitätszahl (**Seite 75**) erwünscht.

Der **Verlustfaktor**  $\tan \delta^2$  (**Seite 147**) ist ein Maß für die dielektrischen Verluste. Je größer der Wert von  $\tan \delta$  ist, umso größer ist auch der unerwünschte Energieverlust, wobei die Energie dem elektrischen Wechselfeld entzogen und in Wärme umgewandelt wird.

#### Übersicht: Eigenschaften von Isolierstoffen

**Zu den elektrischen Eigenschaften zählen:**

- der spezifische Durchgangswiderstand  $\varrho_D$ ,
- der Oberflächenwiderstand  $R_0$ ,
- die Lichtbogenfestigkeit,
- die Durchschlagfestigkeit  $E_D$  und
- die Kriechstromfestigkeit.

**Dielektrische Eigenschaften werden angegeben durch:**

- die Permittivitätszahl  $\epsilon_r$  und
- den dielektrischen Verlustfaktor  $\tan \delta$ .

**Tabelle 1: Spezifischer Durchgangswiderstand  $\varrho_D$  in  $\Omega\text{cm}$**

Holz	$10^9$	Polyethylen	$10^{15}$
Porzellan	$10^{11}$	Epoxidharz	$10^{16}$
Polyesterharz	$10^{11}$	PVC	$10^{16}$
Polyamid	$10^{12}$	Polystyrol	$10^{16}$
Phenolharz	$10^{12}$	Glimmer	$10^{17}$
Glas	$10^{14}$	Polytetrafluorethylen	$10^{18}$
Siliconharz	$10^{15}$		

**Tabelle 2: Durchschlagfestigkeit  $E_D$  in kV/mm**

Luft	2,1	Glas	10 ... 40
Phenolharz	20	Schwefelhexafluorid	10 ... 50
Porzellan	35	Polyvinylchlorid	20 ... 50
Polyamid	50 ... 60	Polyethylen	70 ... 100
Epoxidharz	35	Polytetrafluorethylen	20 ... 40
Polyesterharz	10 ... 15		
Siliconharz	20 ... 70		

<sup>1</sup>  $\epsilon$  griech. Kleinbuchstabe epsilon

<sup>2</sup>  $\delta$  griech. Kleinbuchstabe delta

### 16.1.2.2 Anorganische und organische Isolierstoffe

#### Anorganische Isolierstoffe

Bei den anorganischen<sup>1</sup> Isolierstoffen (Tabelle 1) unterscheidet man künstlich hergestellte Isolierstoffe, z. B. Oxidkeramik, und Naturstoffe, z. B. Glimmer oder Asbest. Keramiken behalten durch Brennen ihre Form.



Für Asbest besteht seit 2005 ein europaweites Verwendungs- und Herstellungsverbot.

Übersicht: Einteilung Kunststoffe	Normung	Beispiel
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Thermoplaste (Tabelle 2)</b>, z. B. Polyvinylchlorid (PVC), Polyethylen (PE)</li> <li>• <b>Duroplaste (Seite 609)</b>, z. B. Epoxidharz (EP), Polyurethanharz (PUR)</li> <li>• <b>Elastomere (Seite 609)</b>, z. B. Naturkautschuk (NR), Silikonkautschuk (Q)</li> </ul>	Kurzzeichen von Kunststoffen, z. B. PE, PVC oder PA, sind nach DIN EN ISO 1043 genormt.	 <p>Stecker aus PVC</p>

**Tabelle 1: Wichtige anorganische Isolierstoffe**

Isolierstoff	Eigenschaften	Verwendung
<b>Keramik</b> (Unterscheidung z. B. in Oxid-, Silikat- und Glaskeramik)	Oxidkeramik ist etwa doppelt so hart wie Hartmetall, hat einen hohen Schmelzpunkt (etwa 2000 °C bis 3000 °C), ist chemisch beständig, temperatur- und thermoschockbeständig und ein sehr guter elektrischer Isolator.	Isolatoren, Träger integrierter Schaltungen, Kondensatoren, Glaskeramik für Kochfelder
<b>Glas</b> (Unterscheidung z. B. in Borsilicatglas, Quarzglas)	Durchsichtig, farblos, klar, hart und spröde, die Isolierfähigkeit ist temperaturunabhängig, Quarzglas ist temperaturbeständig bis 1000 °C.	Glüh-, Halogen- und Entladungslampen, optische Gläser, Ceran-Kochfelder, Bildröhren, Lichtwellenleiter
<b>Glimmer</b>	Durchsichtig, dünn (einige µm), spaltbar, elastisch-biegsam, hitzebeständig bis 800 °C, sehr hoher spezifischer Widerstand ( $10^{17} \Omega\text{cm}$ )	In Kondensatoren als Dielektrikum, zur Isolation, z. B. in Stromwendern von Motoren, Transistormontage auf Kühlkörper, Trägermaterial für Heizwendel

#### Organische Isolierstoffe

Bei den organischen<sup>2</sup> Isolierstoffen unterscheidet man Naturstoffe, z. B. Papier, und synthetische Stoffe, z. B. Polyethylen. Synthetische (künstlich hergestellte) Stoffe bezeichnet man allgemein als Kunststoffe (Übersicht).

**Thermoplaste (Tabelle 2)** sind nach Erwärmung wiederholt plastisch verformbar.

**Tabelle 2: Wichtige Thermoplaste**

Werkstoff	Eigenschaften	Verwendung
<b>Polyvinylchlorid (PVC)</b>	Dichte: 1,35 kg/dm <sup>3</sup> , höchste Gebrauchstemperatur 90 °C, farblos, durchsichtig, klebbar, schweißbar.	Leitungs- und Kabelisolation, Isolierbänder, Installationsrohre, Folien, Steckvorrichtungen ( <b>Übersicht</b> ).
<b>Polyethylen (PE)</b>	Dichte: 0,92 kg/dm <sup>3</sup> , höchste Gebrauchstemperatur 110 °C, farblos bis milchig, wachsartig, schweißbar, nicht klebbar.	Isolation für Kabel und Leitungen (vor allem in der HF-Technik), Folien, Formteile, Schrumpfschläuche.
<b>Polyamid (PA)</b>	Dichte: 1,14 kg/dm <sup>3</sup> , höchste Gebrauchstemperatur 150 °C, hornartig, milchig weiß, gleitfähig, schweißbar, abriebfest.	Dübel, Schutzhelme, Steuernocken, Steckvorrichtungen, Gehäuse für Elektrogeräte, Isolierstoffträgerteile.
<b>Polytetrafluorethylen (PTFE)</b>	Dichte: 2,2 kg/dm <sup>3</sup> , höchste Gebrauchstemperatur 250 °C, wachsartig, nicht klebbar, sehr gleitfähig, beständig gegen fast alle Chemikalien.	Beschichtung von Haushaltsgeräten, Dichtungen, Isolierschläuche, Leitungsisolation, Spulenkörper, gedruckte Schaltungen.
<b>Polystyrol (PS)</b>	Dichte: 1,1 kg/dm <sup>3</sup> , höchste Gebrauchstemperatur 90 °C, glasklar, polierfähig, klebbar, hart, spröde, beständig gegen verdünnte Säuren und Laugen.	Drucktasten, Zeichenschablonen, Gehäuse für Elektrogeräte, Schaugläser, geschäumtes Polystyrol, z. B. für Dämmstoffe und Verpackungsmittel.

Weitere Thermoplaste siehe Tabellenbuch Elektrotechnik.

<sup>1</sup> anorganisch = Stoffe, die keinen Kohlenstoff enthalten    <sup>2</sup> organisch = Stoffe, die Kohlenstoff enthalten

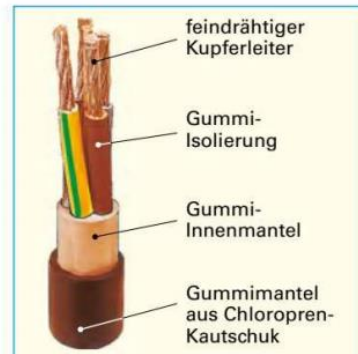
**i** Dauerbetriebstemperaturen wichtiger Isolierstoffe der Elektrotechnik

- |                          |       |                                 |        |
|--------------------------|-------|---------------------------------|--------|
| • Polyvinylchlorid (PVC) | 90 °C | • Silikonkautschuk (SiR)        | 180 °C |
| • Naturkautschuk (NR)    | 60 °C | • Polyethylen (vernetzt) (PE-X) | 90 °C  |

**Duroplaste (Tabelle)** werden warm verarbeitet und erhärten anschließend. Das Endprodukt ist dann hart und spröde. Bei zu starker Erwärmung zersetzen sie sich und verlieren dadurch ihre Isolierfähigkeit. Thermoplaste sind formbeständiger als Duroplaste.

Tabelle: Wichtige Duroplaste (Auswahl)		
Werkstoff	Eigenschaften	Verwendung
<b>Phenol-Formaldehydharz (PF)</b>	Dichte: 1,25 kg/dm <sup>3</sup> , höchste Gebrauchstemperatur 130 °C, hart, spröde, gut kriechstromfest, dunkle Farbtöne.	Als Basismaterial für gedruckte Schaltungen ( <b>Seite 613</b> ), Spulenkörper, Klemmbretter, Schalterteile.
<b>Epoxidharz (EP)</b>	Dichte: 1,2 kg/dm <sup>3</sup> , höchste Gebrauchstemperatur 150 °C, hart, zäh, vergießbar, gut klebfähig, chemisch beständig.	Als Gießharz bei Elektromotoren, Kabelmuffen, Multilayern ( <b>Seite 614</b> ) und gedruckten Schaltungen.
<b>Ungesättigte Polyesterharze (UP)</b>	Dichte: 1,2 kg/dm <sup>3</sup> , höchste Gebrauchstemperatur 150 °C, hart bis weich, zäh, klar, klebbar, gut vergießbar.	Verteiler- und Schaltschränke, als Magnetdatenträger bei Ton- und Videobändern, Disketten, Gießharz.
<b>Polyurethanharz (PUR)</b>	Dichte: 1,25 kg/dm <sup>3</sup> , höchste Gebrauchstemperatur 100 °C, hart bis weich, elastisch, schäumbar, gute Haftfähigkeit.	Rundfunk- und Fernsehgehäuse, zur Klebstoffherstellung, für Lacke, zum Ausschäumen, z. B. von Kühlschränken, Gießharz.
<b>Melamin-Formaldehydharz (MF)</b>	Dichte: 1,5 kg/dm <sup>3</sup> , höchste Gebrauchstemperatur 120 °C, hart, schlagzäh, kriechstromfest, lichtbeständig, zerbrechlich.	Schalter, Steck- und Abzweigdosen, Bügeleisengriffe, für Leime, Lacke und Bindemittel, Teile der Autoelektrik.
<b>Silikonharz (SI)</b>	Dichte: 1,9 kg/dm <sup>3</sup> , höchste Gebrauchstemperatur 300 °C, hart bis weich bzw. elastisch, sehr geringe Wasseraufnahme, ölbeständig.	Imprägnieren von Wicklungen, in Motoren und Transformatoren, Einbetten von Elektronikteilen.

**Elastomere** (umgangssprachlich Gummi genannt) haben elastische Eigenschaften. Styrol-Butadien-, Chloropren-, Silikon- und Butadien-Kautschuk sind synthetisch (künstlich) hergestellte Elastomere zur Isolierung von z. B. Leitungen (**Bild**) und Steckvorrichtungen.



**Bild: Gummischlauchleitung H07RN-F**

### 16.1.2.3 Flüssige und gasförmige Isolierstoffe

**Flüssige und wachsartige Stoffe**, z. B. Vaseline, Paraffine und Bitumen, werden zur Isolierung und zum Tränken z. B. von Papier und Geweben sowie als Vergussmassen benutzt.

**Isolieröle**, z. B. Silikonöl, haben die Aufgabe, die Isolation zu verbessern, schädliche Hohlräume auszufüllen und die Verlustwärme, z. B. bei Transformatoren, abzuführen.

**Silikonöle** sind klare, geruchs- und farblose Flüssigkeiten. Silikonöl bleibt bis etwa – 50 °C flüssig und neigt nicht zum Verharzen. Silikonöl verwendet man als Isolieröl in Transformatoren und Schaltgeräten.

**Isoliergase (Übersicht)** werden vor allem in der Hochspannungstechnik, z. B. für gasisolierte Schaltanlagen (**Seite 292**), verwendet. Stickstoff wird als Druckgas in Hochspannungskabeln, Kondensatoren und Transformatoren eingesetzt.

#### Übersicht: Gasförmige Isolierstoffe

- **Natürliche Gase**, z. B. Luft, Stickstoff, Wasserstoff
- **Synthetische Gase**, z. B.
  - Schwefelhexafluorid SF<sub>6</sub>,
  - Tetrafluormethan,
  - Trichlorfluormethan