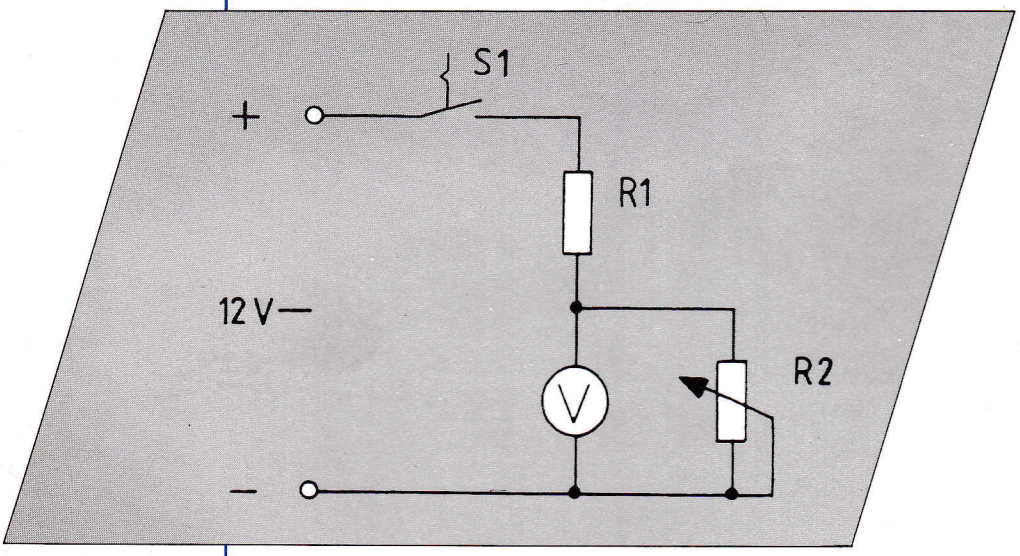
Alfa Romeo FIAT LANCIA

Grundkenntnisse der Automobilelektrik



FIAT

Fiat Automobil AG
Ausbildungscenter
Juni 2000 – 760603

Inhaltsverzeichnis

Thema:

Grundbegriffe der Elektrizität

	Seite
Einleitung	2
Atome und Elektronen	2
Was sind Elektronen	2 + 3
Elektrische Ladung – Ladungsträger	4
Neutrale Atome – Atomaufbau	5
Ionen	5
Elektrischer Strom	6
Elektrische Leiter, Nichtleiter, Halbleiter	6
Elektronenleiter	6
Ionenleiter	7
Nichtleiter	7
Halbleiter	7
Stromkreis	8
Stromrichtung	9
Stromstärke	9
Elektrizitätsmenge	10
Stromdichte in Leitern	11
Strombelastung von Kfz-Leitungen (Kupfer)	11
Höchstzulässiger Spannungsverlust für Kfz-Leitungen	11
Kurzschluß	12
Stromarten	13 + 14
Wirkungen des elektrischen Stromes	14 + 15
Elektrische Spannung	16 + 17
Elektrischer Widerstand	18
Spezifischer Widerstand	18 + 19
Leitwert und Leitfähigkeit	19 + 20

Stromkreisgesetze

Ohmsches Gesetz	21 + 22
Reihenschaltung von Widerständen	23
Parallelschaltung von Widerständen	24
Erste Kirchhoffsche Regel (Knotenregel)	25
Elektrische Arbeit – Energie	26
Elektrische Leistung	27

Meßtechnik

Sinnbilder für Skalenbeschriftung	28
Messungen am Kraftfahrzeug	29
Meßregeln	29
Analog – Digital	30
Der Spannungsmesser	31
Der Strommesser	32
Das Ohmmeter	32
Relais	33
Schaltzeichen	34
Farbschlüssel für Widerstände	35
Widerstandsreihen und Belastung	36
Farbschlüssel für Widerstände mit Fünffachberingung	37

Grundbegriffe der Elektrizität

Einleitung

Jeder von uns bedient sich heute in irgendeiner Form der Elektrotechnik oder der Elektronik. Der Griff zum Lichtschalter, der Druck auf die Einschalttaste des Fernsehgerätes oder auf den Wellenbereichsknopf des Kofferradios gehört ebenso dazu wie die Bedienung von Staubsauger oder Mixer, Cassettenrecorder oder Stereoanlage, Blitzgerät oder Diaprojektor. Eines jedoch wird immer vorausgesetzt; Elektrizität muß vorhanden sein!

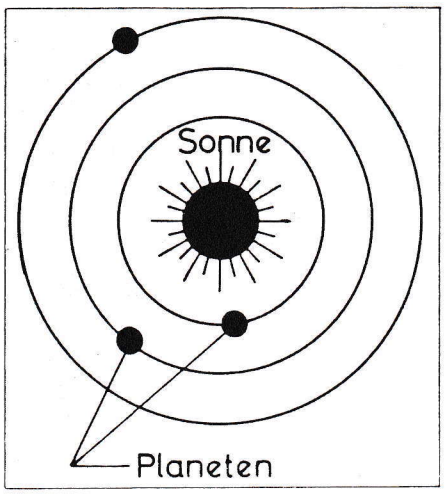
Wir beziehen sie entweder aus der Steckdose des Lichtnetzes oder aus Batterien und Generatoren im Auto, die es in vielerlei Arten gibt. Was aber ist »Elektrizität« eigentlich?

Man kann die Frage durch einen Blick in das Lexikon z.B. so beantworten: »Elektrizität ist ruhende oder bewegte Ladung oder die mit Ladung oder Strömen verbundene elektrische Energie.« Damit ist man aber zunächst kaum klüger als vorher. Wir wollen daher versuchen, diese und weitere Fragen mit vielen Abbildungen und allgemeinverständlichen Erläuterungen zu beantworten. Natürlich ist dabei manches bewußt vereinfacht dargestellt worden, um das Begreifen der elektronischen Grundlagen und das Einarbeiten in diese Technik zu erleichtern.

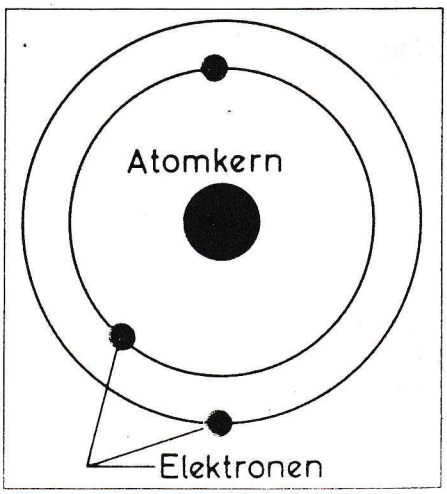
Atome und Elektronen

Zerlegt man einen Körper, z.B. aus Kupfer, in immer kleinere Teile, so erhält man am Ende das Atom. Das Wort Atom kommt aus dem Griechischen und heißt „das Unteilbare".

Erst in neuerer Zeit konnte durch Versuche der Nachweis erbracht werden, daß auch das Atom zusammengesetzt ist. Aus vielen Versuchsergebnissen haben Physiker den Schluß gezogen, daß ein Atom ähnlich aufgebaut sein muß wie unser Sonnensystem.



Modell des Sonnensystems



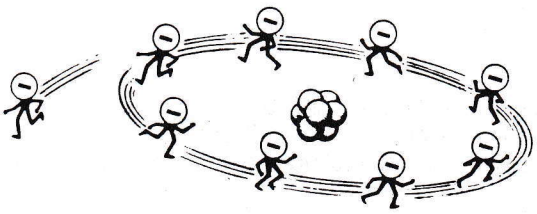
Atommodell

Die Elektronen der äußersten Schale heißen Valenzelektronen; sie sind vom Kern am weitesten entfernt und daher am besten von außen zu beeinflussen. Sie bestimmen das chemische und elektrische Verhalten des Atoms.

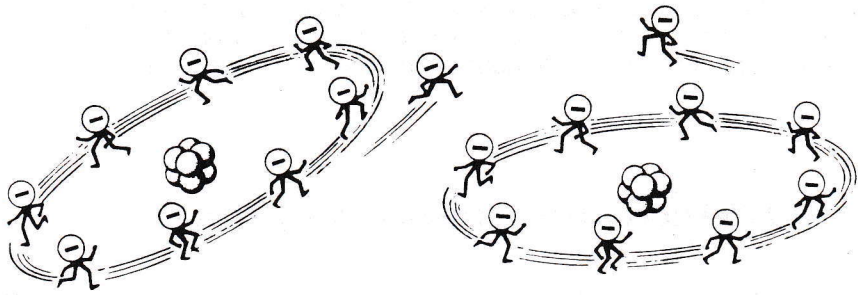
Was sind Elektronen?

Die Antwort hierauf ist gleichzeitig schon eine Teilantwort auf die Frage nach der Elektrizität. Wir beginnen mit einer noch sehr »menschlich bezogenen« Darstellung der Elektronen. Diese Art soll die erste Bekanntschaft mit der Elektrizität etwas leichter machen.

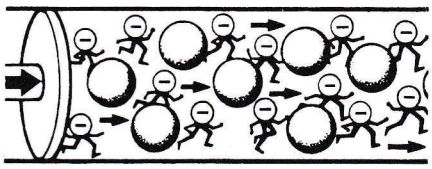
Wie das Elektron in seiner Vorrede so treffend mitteilte, bestehen alle Dinge aus Atomen. Zu ihnen gehören u. a. auch Elektronen, die im Bild als kleine Männchen gekennzeichnet sind. Sie bewegen sich in einem ewigen Kreislauf um den Atomkern herum, der auf sie eine »magische« Anziehungskraft ausübt. Nur wenigen von ihnen gelingt es daher, sich aus dem Kreislauf zu entfernen und auf Wanderschaft zu gehen.



Unermüdlich laufen die Elektronen-Männchen auf Bahnen um den Atomkern herum. Einige jedoch sind ungebunden und vagabundieren als »freie« Elektronen-Männchen durch die Atomlandschaft.



Diese nicht mehr an einen Atomkern gebundenen Elektronen nennt man »freie Elektronen«. Sie bewegen sich normalerweise in beliebigen Richtungen durch die Zwischenräume des atomaren Gefüges. Sie können dies um so leichter, je mehr »Platz« zwischen den Atomen ist. Wird auf sie jedoch ein einseitiger Druck ausgeübt, dann marschieren sie auch willig in eine Richtung. Man bezeichnet diesen Bewegungsablauf sinngemäß als Elektronenstrom.



Wenn eine bestimmte Kraft von außen auf die Elektronen-Männchen einwirkt, schlagen sie alle gemeinsam eine Richtung ein.

Es kommt aber zu heftigem Drängeln der Elektronen und zu schwierigem Vorwärtskommen, wenn der »Platz« zwischen den einzelnen Atomen zusammenschrumpft. Bei Kupfer sind die »Zwischenräume« groß genug, bei Eisen sind sie schon etwas enger, während sie bei Porzellan so gut wie nicht vorhanden sind (Bild 1). Im ersten Fall kann ein großer Elektronenstrom entstehen, im dritten Fall kommt er überhaupt nicht zustande.

Ein weiterer Faktor ist hierbei noch zu berücksichtigen: Das Vorhandensein von freien Elektronen ist von der Art des Materials abhängig. Metalle haben verhältnismäßig viele freie Elektronen, während beispielsweise bei Porzellan alle Elektronen an ihre Atomkerne gebunden sind. Sie können also nicht im Material vagabundieren. Auch das Hineindrücken von Elektronen aus einer angeschlossenen Elektronenquelle nützt in diesem Fall nichts. Sie finden keinen Weg durch das undurchdringliche Materialgefüge (Bild 2).

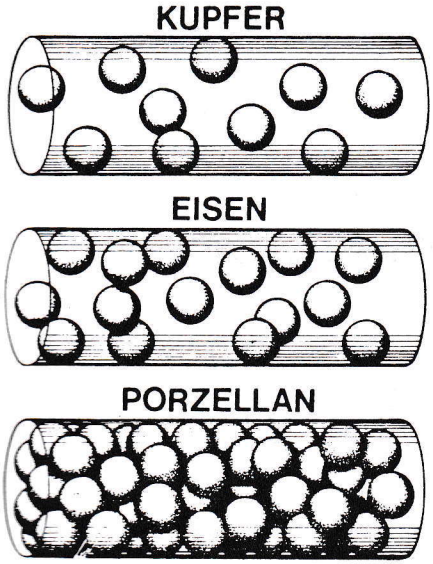


Bild 1: Die Atomlandschaft der Materie ist von unterschiedlicher Dichte und Beschaffenheit. Bildlich dargestellt hat Kupfer z.B. viel, Eisen schon weniger und Porzellan überhaupt keine »freien Raum« zwischen seinen atomaren Bausteinen.

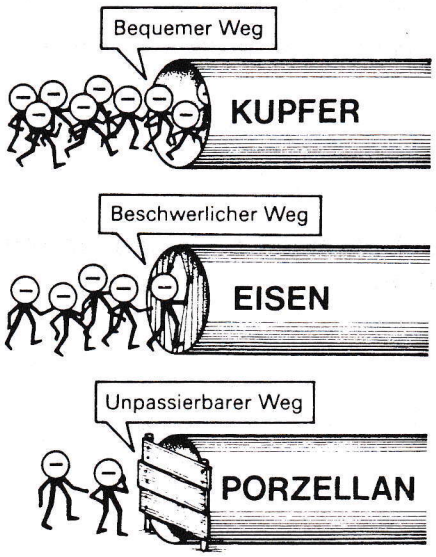


Bild 2: Elektronen-Männchen finden bei Kupfer einen bequemen Weg durch das Material, bei Eisen ist es für sie schon schwieriger und bei Porzellan ganz unmöglich geworden, hindurchzukommen.

Elektrische Ladung – Ladungsträger

Die Elektronen umkreisen den Atomkern mit einer sehr großen Geschwindigkeit (ca. 2200 km/s). Trotz des geringen Elektronengewichtes muß daher bei der Kreisbewegung eine relativ große Fliehkraft auftreten, die nach außen wirkt und versucht, die Elektronen aus der Kreisbahn zu befreien. welche Kraft hält nun das Elektron auf seiner Kreisbahn um den Kern fest?

Die Kraft, die die Erde auf ihrer Kreisbahn festhält, ist die Massenanziehung. Die Massenanziehung zwischen Elektronen und Atomkern reicht aber, wie sich rechnerisch nachweisen läßt, bei weitem nicht aus, um die Elektronen auf ihrer Kreisbahn zu halten. Es muß sich also hier um andere Kräfte handeln, nämlich elektrische Kräfte.

Zwischen Atomkern und Elektronen bestehen elektrische Kräfte.

Solche elektrischen Kräfte lassen sich einfach nachweisen. Reibt man Bernstein oder Kunststoff auf einem Wollappen, so üben diesen Stoffe auf Papier eine Anziehungskraft aus, die wesentlich größer ist als die Massenanziehungskraft.

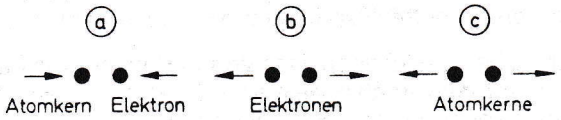
Die Ursache für elektrische Kräfte nennt man elektrische Ladung.

Das Elektron hat die Eigenschaft, auf dem Atomkern eine elektrische Kraft auszuüben. Das Elektron besitzt also elektrische Ladung. Man spricht vom Elektron als einem *Ladungsträger.*

Da der Atomkern ebenfalls die Eigenschaft hat, elektrische Kraft auszuüben, besitzt er ebenfalls elektrische Ladung.

Es läßt sich nachweisen, daß sich Elektronen nicht anziehen, sondern abstoßen. Ebenso verhalten sich Atomkerne.

Kraftwirkung zwischen
a) Atomkern und Elektron
b) Elektronen
c) Atomkernen



Da Elektronen sich gegenseitig abstoßen, Atomkern und Elektronen sich aber anziehen, muß der Atomkern anders geladen sein, d. h. eine andere Ladungsart tragen als das Elektron.

Die Ladung des Atomkerns wird *positive Ladung* und die Ladung des Elektrons *negative Ladung* genannt.

Damit gilt für elektrische Ladungen:

Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab, ungleichnamige Ladungen ziehen sich an.

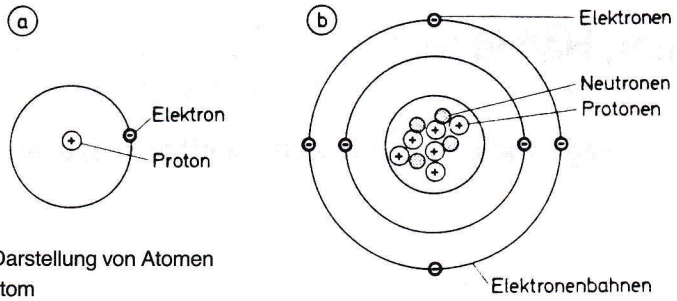
Kraftwirkung von elektrischen Ladungen

Neutrale Atome – Atomaufbau

Den einfachsten Aufbau zeigt das Wasserstoffatom. Es setzt sich zusammen aus einem *Elektron* und einem *Proton,* das den Atomkern darstellt.

Das Elektron trägt die kleinste vorkommende elektrische Ladung, die sogenannte *Elementarladung.*

Elektronen sind Träger der negativen Elementarladungen – Protonen die Träger der positiven Elementarladungen.



Schematische Darstellung von Atomen
a) Wasserstoffatom
b) Kohlenstoffatom

Die negativen Elementarladung des Elektrons ist genausogroß wie die positive Elementarladung des Protons. Die Ladungen des Atoms heben sich daher in ihren Wirkungen genau auf. Das Atom ist nach außen *elektrisch neutral.*

Ionen

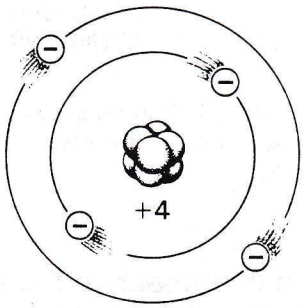
Verliert ein Atom Elektronen, so besitzt das Atom mehr positive Ladungen als negative. Das Atom, dan nun insgesamt positiv geladen ist, übt daher nach außen eine elektrische Wirkung aus, es zieht negative Ladungen an.

Lagert man einem Atom Elektronen an, so ist es insgesamt negativ geladen und zieht positive Ladungen an.

Solche geladenen Atome können umgekehrt auch von entgegengesetzten Ladungen angezogen, d. h. bewegt werden. Aus diesem Grund heißen solche Atome *Ionen* (Ion = der Wandernde, griech.).

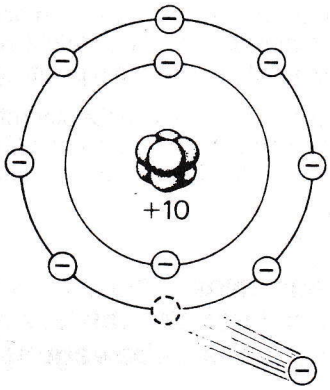
Positiv oder negativ geladene Atome oder Atomverbände heißen Ionen.

Ladungsbild: neutral
Elektronen −4
Atomkern +4



Bei einem Atom mit 2 Schalen und 4 Elektronen beträgt die negative Ladung der Elektronen −4, die positive Ladung des Kerns +4, so daß nach außen hin ein Gleichgewicht der Ladungen vorherrscht: das Atom ist elektrisch neutral.

Ladungsbild: +1
Elektronen −9
Atomkern + 10



Ionenbildung
Wird aus einem neutralen Atom ein Elektron abgespalten, verändert sich das Ladungsbild: der positive Kern überwiegt.

Zusammenfassend läßt sich noch sagen:

Elektronenüberschuß ergibt negative Ladung, Elektronenmangel ergibt positive Ladung.

Elektrischer Strom

Unter elektrischem Strom versteht man grundsätzlich die gerichtete Bewegung von Ladungen.

Die Ladungsträger können sowohl Elektronen als auch Ionen sein.

Ein elektrischer Strom kann also nur in solchen Stoffen fließen, in denen Ladungsträger in genügender Zahl vorhanden und frei beweglich sind.

Elektrische Leiter, Nichtleiter, Halbleiter

Leiter – Leitungsmechanismus

Stoffe, die viele und frei bewegliche Ladungsträger besitzen, heißen Leiter.

Man unterscheidet:

Elektronenleiter

Zu ihnen gehören die *Metalle,* wir z.B. Kupfer, Aluminium, Silber, Gold, Eisen und auch Kohle.

Metallatome gehen eine sogenannte *Metallbindung* ein. Dabei geben die einzelnen Metallatome alle Valenzelektronen (Elektronen der äußersten Schale) ab und werden hierdurch zu positiven Atomionen.

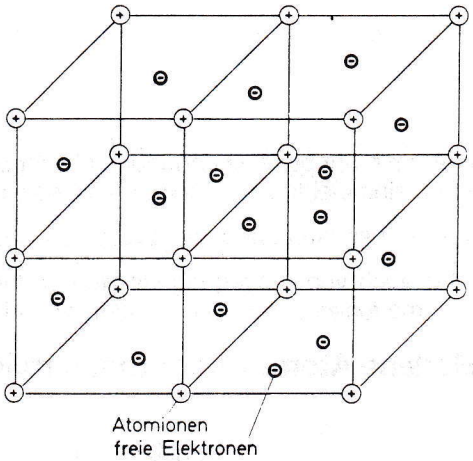


Bild 1
Raumgitter von Metallen mit Elektronenwolke

Die Ionen nehmen einen bestimmten gleichmäßigen Abstand zueinander ein und bilden ein sogenanntes *Raumgitter* (Bild 1).

Die Elektronen bewegen sich zwischen den fest verankerten Ionen wie eine Wolke oder ein Gas und sind deshalb innerhalb des Raumgitters relativ leicht beweglich. Sie werden *freie Elektronen* genannt. Die negativ geladene Elektronenwolke hält praktisch die positiv geladenen Atomionen zusammen.

Durch elektrischen Druck in einer bestimmten Richtung, den man in der Elektrotechnik Spannung nennt, werden die freien Elektronen des Leiters durch das Gitter getrieben (Bild 2). Die Leitungselektronen transportieren damit ihre negative Ladung in eine bestimmte Richtung. Man erhält einen *Elektronenstrom.*

Es steht damit fest:

Der elektrische Strom *(Elektronenstrom)* in einem metallischen Leiter besteht in der gerichteten Bewegung der freien Elektronen des Leiterwerkstoffes. Durch die Ladungsbewegung tritt keine stoffliche Veränderung ein.

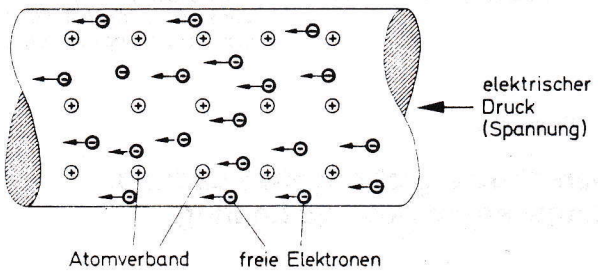


Bild 2
Leitungsmechanismus bei Metallen

Elektrische Leiter, Nichtleiter, Halbleiter

Ionenleiter

Dazu gehören *Elektrolyte* (leitende Flüssigkeiten), *ionisierte Gase.* Die Träger der Ladungen sind hierbei positive und negative Ionen. Man erhält einen *Ionenstrom.*

Der elektrische Strom *(Ionenstrom)* in einem Elektrolyt, einer Schmelze oder einem ionisierten Gas besteht in der gerichteten Bewegung der Ionen des leitenden Stoffes. Es tritt hierbei ein Stofftransport ein.

Nichtleiter

Stoffe, die nur wenige und an die einzelnen Moleküle gebundene Ladungsträger besitzen, heißen Nichtleiter.

Zu ihnen zählen *feste Stoffe,* wie Kunststoffe, Gummi, Glas, Porzellan, Glimmer, Lacke, Hartpapier, Papier, Seide, Asbest und *Flüssigkeiten,* wie reines Wasser, Öle, Fette und auch *Vakuum* sowie *Gase* (auch Luft) unter bestimmten Bedingungen.

Diese Stoffe werden teilweise auch *Isolierstoffe* genannt, da man hiermit stromführende Leiter gegeneinander elektrisch isolieren kann.

Halbleiter

Halbleiter sind Stoffe, bei denen erst durch äußere Einflüsse Valenzelektronen freiwerden und dadurch Leitfähigkeit eintritt.

Zu ihnen gehören Silizium, Selen, Germanium und Kupferoxidul.

Bei tiefen Temperaturen sind die Valenzelektronen dieser Stoffe so gebunden, daß keine freien Elektronen im Gitter vorhanden sind. Es liegt somit ein Nichtleiter vor. Durch Erwärmen (Energiezufuhr) werden teilweise Elektronen aus dem Verband gelöst, und es entstehen frei bewegliche Elektronen. Damit liegt ein Leiter vor. Auch durch andere Einflüsse, wie z. B. Licht und magnetische Felder, ändern sich die elektrischen Eigenschaften der Halbleiter.

Stromkreis

Elektrische Geräte, allgemein als Verbraucher bezeichnet, werden mit dem Spannungserzeuger durch zwei Leitungen verbunden, von denen die eine als Hinleitung und die andere als Rückleitung benutzt wird. Die durch den Spannungserzeuger verursachte Strömung der freien Elektronen legt einen in sich geschlossenen Weg zurück, den man als Stromkreis bezeichnet.

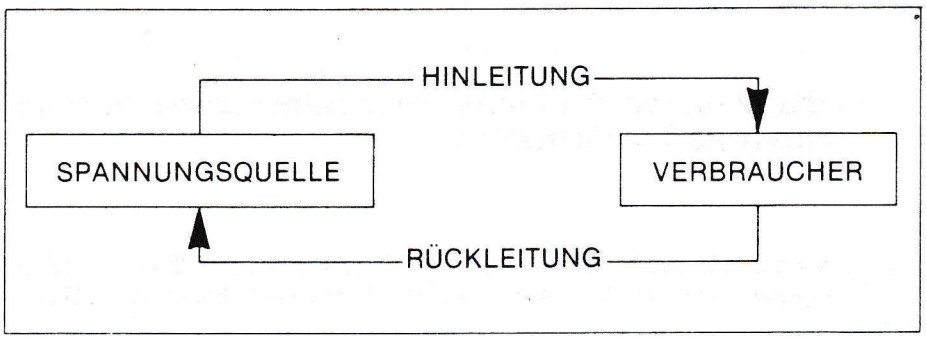
Ein einfacher elektrischer Stromkreis besteht aus dem Spannungserzeuger, dem Verbraucher sowie den Verbindungsleitungen (Hin- und Rückleitung).

Zu beachten ist dabei:

Ein elektrischer Strom kann nur in einem geschlossenen Leiterkreis fließen.

Durch Einbau eines Schalters in den Stromkreis kann der Strom beliebig eingeschaltet oder unterbrochen werden.

Da obige gegenständliche Darstellung eines Stromkreises zu kompliziert ist, wählt man in der Praxis Schaltpläne mit einfachen genormten Symbolen, die man Schaltzeichen nennt. Der Schaltplan veranschaulicht dabei das Zusammenwirken zwischen den Bauteilen einer Schaltung.



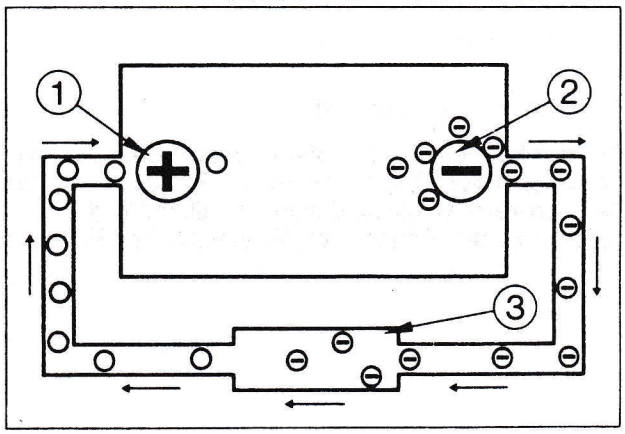
Einfacher Stromkreis

Stromrichtung

Richtung des Elektronenstromes

Bildet man einen geschlossenen elektrischen Stromkreis, so ergibt sich folgender Vorgang:

Am negativen Pol des Spannungserzeugers (Elektronenüberschuß) werden die angrenzenden freien Leitungselektronen zum Verbraucher gestoßen. Am positiven Pol (Elektronenmangel) werden die angrenzenden freien Leitungselektronen angezogen. Dadurch entsteht insgesamt ein Elektronenstrom in einer bestimmten Richtung.



1 = Positiver Batteriepol

2 = Negativer Batteriepol

3 = Stromkreis geschlossen

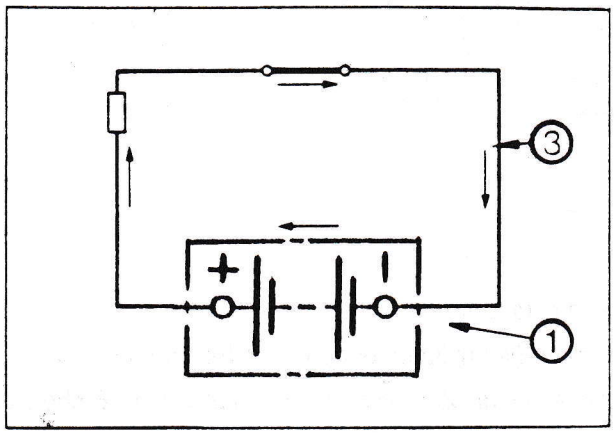
Stromrichtung

Technische Stromrichtung

Vor Kenntnis der Elektronentheorie hatte man angenommen, daß in Metallen positive Ladungsträger für den Leitungsmechanismus verantwortlich sind und demzufolge der Strom vom positiven Pol über den Verbraucher zum negativen Pol, also dem tatsächlichen Elektronenstrom gerade entgegengesetzt, fließt. Obwohl heute diese ursprüngliche Annahme widerlegt ist, hat man in der Elektrotechnik die ursprünglich angenommene Stromrichtung aus praktischen Erwägungen beibehalten. Man spricht dabei zur Unterscheidung gegenüber der *Elektronenstromrichtung* von der *technischen Stromrichtung* oder auch allgemein von der Stromrichtung.

Der elektrische Strom fließt vom positiven Pol des Spannungserzeugers über den Verbraucher zum negativen Pol.

Die Stromrichtung wird in Schaltungen durch einen Strompfeil angezeigt.



1 = Stromquelle – Batterie

2 = Pfeilrichtung zeigt »Technische Stromrichtung«

Stromstärke

Je mehr Elektronen in einer Sekunde durch einen Leiter fließen, um so größer ist die Stärke des elektrischen Stromes, die *Stromstärke.*

Durchströmen 6,24 Trillionen Elektronen ($6{,}24 \cdot 10^{18}$) je Sekunde den Leiterquerschnitt, so nennt man diese Stromstärke 1 *Ampere.*

Damit läßt sich sagen:

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{Elektrizitätsmenge}}{\text{Zeit}}$$

Das Ampere ist die gesetzliche Basiseinheit für die Elektrische Stromstärke.

In der Technik ist es nun üblich, zur Vereinfachung Wortbezeichnungen für technische Größen, wie z. B. Stromstärke, durch *Formelzeichen* zu ersetzen und für die Einheitennamen Kurzzeichen *(Einheitenzeichen)* zu führen.

Formelzeichen für Stromstärke ist *I*
Einheitenzeichen für Ampere ist A

Vielfache und Teile der Einheit:

1 kA = 1 Kiloampere	= 1000 A	$= 10^3$ A
1 mA = 1 Milliampere	$= \frac{1}{1000}$ A	$= 10^{-3}$ A
1 μA = 1 Mikroampere	$= \frac{1}{1\,000\,000}$ A	$= 10^{-6}$ A

Elektrizitätsmenge

Die Summe der Elementarladungen (an elektrischen Vorgängen sind meist viele Milliarden Elektronen und damit Elementarladungen beteiligt) ergibt eine bestimmte *Elektrizitätsmenge* (Formelzeichen Q).

Für die Elektrizitätsmenge hat man die Einheit 1 *Coulomb* (Kurzzeichen: C) festgelegt. Es gilt:

$$1\ \text{C} = 6{,}24 \cdot 10^{18}\ \text{Elementarladungen.}$$

Zuvor wurde schon festgehalten, daß

$$\text{Stromstärke } I = \frac{\text{Elektrizitätsmenge } Q}{\text{Zeit } t}$$

ist

Stromstärke $\boxed{I = \frac{Q}{t}}$

Stellt man diese Gleichung nach Q um, $Q = I \cdot t$,

so erhält man die Möglichkeit, eine Elektrizitätsmenge Q aus Strom I und der Zeit t zu bestimmen.

Setzt man hierbei den Strom I in A und die Zeit t in s ein, so ergibt sich als Einheit für die Elektrizitätsmenge 1 As, die gleichbedeutend ist mit 1 C.

1 Coulomb = 1 Amperesekunde.

$$\boxed{1\ \text{C} = 1\ \text{As}}$$

Beispiel:
Ein Autoakkumulator wird mit 2,5 A geladen.

Welche Elektrizitätsmenge hat der Akkumulator nach 10 Stunden Ladezeit aufgenommen?

Lösung:

$$Q = I \cdot t$$
$$Q = 2{,}5\ \text{A} \cdot 10\ \text{h} = 25\ \text{Ah} = 25\ \text{A} \cdot 3600\ \text{s} = 90\ 000\ \text{As} = 90\ 000\ \text{C}$$

Stromdichte in Leitern

Versuch:
Ein Konstantandraht mit 0,2 mm Durchmesser und ein zweiter Konstantandraht mit 0,4 mm Durchmesser werden an einem Ende miteinander verbunden, die beiden anderen Enden an einem Stelltransformator angeschlossen.

Der Strom wird soweit erhöht, bis ein Draht anfängt zu glühen.

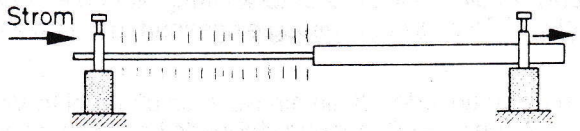


Bild
Strom in Leitern mit verschiedenem Querschnitt

Der Draht mit dem kleineren Querschnitt glüht, während der Draht mit dem größeren Querschnitt noch keine Wärmewirkung zeigt.

Obwohl in beiden Drähten der gleiche Strom fließt, erwärmt sich der Leiter mit dem kleineren Querschnitt stärker. Für die Erwärmung der Leiter ist also nicht nur der Strom, sondern auch der Leiterquerschnitt maßgebend. Je dichter der Strom im Leiter zusammengedrängt ist, um so mehr und heftigere Zusammenstöße von Elektronen mit Atomionen finden statt und um so stärker ist die Erwärmung. Die Erwärmung der Leiter hängt praktisch von der Dichte des Stromes ab. Man verwendet daher den Begriff *Stromdichte* (Kurzzeichen S).

$$\text{Stromdichte } S = \frac{\text{Stromstärke } I}{\text{Leiterquerschnitt } A}$$

Stromdichte $\boxed{S = \frac{I}{A}}$

I Strom in A
A Querschnitt in mm²
S Stromdichte in $\frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$

Die Einheit der Stromdichte ist demzufolge $\frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$

Bei der Bemessung von metallischen Leitern, Spulen und anderen Bauelementen hinsichtlich der zulässigen Erwärmung ist die Stromdichte eine wichtige Konstruktionsgröße.

Strombelastung genormter Kfz-Leitungen (Kupfer)

Nennquerschnitt mm²	0,5	0,75	1	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120
Stromdichte A/mm² (Cu)	10							6				4			
Dauerstrom A (Cu)	5		10	20	25	35	50	65	85	120	160	200	250	300	350

Anlasserleiter können kurzzeitig mit 20 A/mm² belastet werden

Höchstzulässiger Spannungsverlust für Kfz-Leitungen

Nenn-spannung U_n	Lichtleitungen; Ladeleitungen * bei Generator-Maximalstrom	Starterleitung bei Kurzschlußstrom	Sonstige Leitungen
6 V	0,15 V	0,25 V	0,4 V
12 V	0,3 V (* 0,5 V)	0,5 V (0,8 V)	0,8 V
24 V	0,6 V	1,0 V	1,6 V
	2,5 % von U_N	4,16 %	6⅔ %

Kurzschluß

Da im Kraftfahrzeug die Nennspannung 6 V, 12 V oder 24 V beträgt, ist im allgemeinen die elektrische Anlage eine *Einleiteranlage.*

Zu den elektrischen Betriebsmitteln führt nur eine Leitung, als Rückleitung dienen Fahrgestell und Karosserie (Fahrzeugmasse) mit ihrem großen Querschnitt. So wird eine Leitung eingespart, die ganze Anlage wird auch übersichtlicher.

Nachteilig bei der Einleiteranlage ist es, daß an jeder Stelle ein Kurzschluß (direkte Verbindung der Klemmen der Spannungsquelle) entstehen kann, wenn eine unter Spannung stehende Leitung mit der Masse Verbindung erhält.

Der Kurzschlußstrom wird nur durch den inneren Widerstand des Spannungserzeugers begrenzt. Die gesamte Quellenspannung fällt am inneren Widerstand ab.

Kurzschlußstrom $\boxed{J_K = \frac{Uq}{Ri}}$ J_K = Kurzschlußstrom in A

Da der innere Widerstand bei vielen Spannungserzeugern sehr klein ist, können sich starke Kurzschlußströme entwickeln, die die Spannungsquelle in kürzester Zeit zerstören.

Stromarten

Man unterscheidet prinzipiell Gleichstrom und Wechselstrom.

Gleichstrom

Wirkt die Spannung in einem geschlossenen Stromkreis immer in der gleichen Richtung, so fließt ein Strom, der ebenfalls stets die gleiche Richtung hat. Man spricht von einem *Gleichstrom* (genormtes Schaltzeichen: –).

Gleichstrom ist ein elektrischer Strom, der stets in gleicher Richtung fließt.

Die freien Elektronen bewegen sich dabei in eine Richtung.

Strom-Zeit-Schaubild (Linienschaubild)

Die Stromstärken, die zu verschiedenen Zeiten vorliegen, lassen sich in einem Schaubild (Strom-Zeit-Schaubild) darstellen. Zu diesem Zweck trägt man auf einer waagerechten Achse die Zeit (z. B. 1 Sekunde, 2 Sekunden, 3 Sekunden usw.) und auf der senkrechten Achse den Strom (z. B. 1 Ampere, 2 Ampere usw.) an.

Die Stromstärke, die nun nach 1, 2 oder 3 Sekunden festzustellen ist, wird zu der jeweiligen Zeit senkrecht nach oben oder unten angetragen.

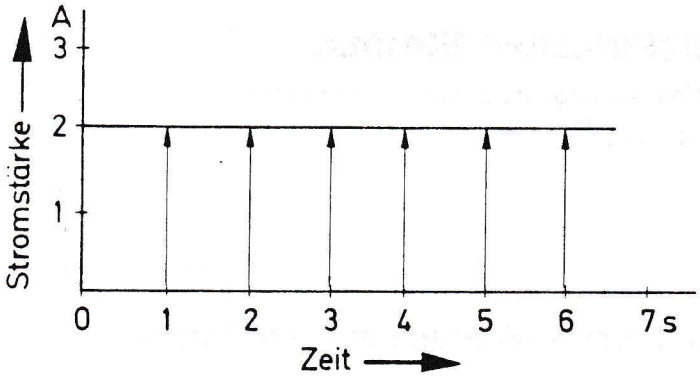


Schaubild eines Gleichstroms

Verbindet man die dadurch gewonnenen Punkte durch eine Linie, so erhält man ein *Linien-Schaubild.* Solche Schaubilder können mit einem Oszilloskop sichtbar gemacht werden.

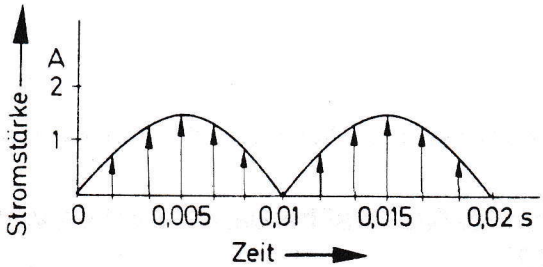


Schaubild eines pulsierenden Gleichstroms

Gleichstrom kann gleichbleibende Werte haben, oder aber auch veränderlich sein. Bei Änderung in einem bestimmten Takt spricht man von *pulsierendem Gleichstrom.*

Stromarten

Wechselstrom

Wechselt in einem Stromkreis die Spannung in einem bestimmten Takt ihre Richtung, so wechselt auch der Strom fortwährend seine Richtung und seine Stärke. Man spricht von einem *Wechselstrom* (genormtes Schaltzeichen: ~).

Wechselstrom ist ein Strom, der ständig seine Richtung und Stärke ändert.

Die freien Elektroden bewegen sich dabei hin und her.

Da beim Wechselstrom, wie er in der Praxis verwendet wird, die Richtung sehr häufig wechselt (z. b. 50mal in der Sekunde), schwingen die Elektroden nur wenig hin und her.

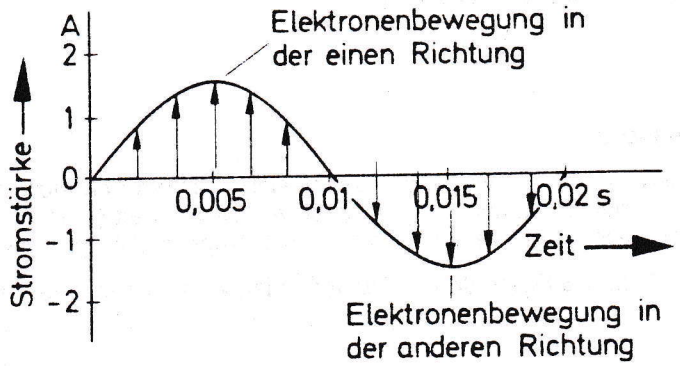


Schaubild eines Wechselstroms

Wirkungen des elektrischen Stromes

Strom läßt sich nur durch seine Wirkungen feststellen und bestimmen.

Man kennt verschiedene Wirkungen.

Wärmewirkung

Elektrischer Strom erwärmt immer seinen Leiter.

Im Metalldraht z. B. stoßen die Elektroden mit den Atomionen zusammen, geben dabei einen Teil ihrer Bewegungsenergie an die Atomionen ab und verstärken die Wärmebewegungen der Atomionen, was mit einer Temperaturerhöhung verbunden ist.

Angewandt wird die Wärmewirkung z. B. bei heizbaren Heckscheiben, Schmelzsicherungen, Lötkolben und elektrischen Heizungen aller Art.

Lichtwirkung

Bei Glühlampen führt die Wärmewirkung zum Glühen des Drahtes und damit zum Leuchten, d. h. als Nebenwirkung zu Licht.

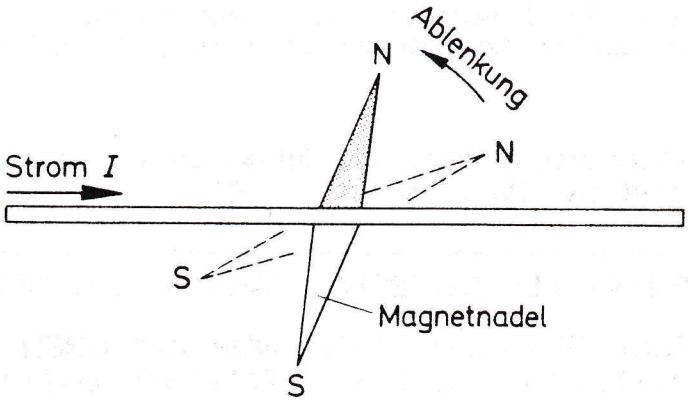
Gase wie Neon, Argon oder Quecksilberdampf werden von elektrischem Strom zum Leuchten angeregt.

Diese direkte Lichtwirkung findet bei Leuchtröhren, Quecksilberdampflampen, Leuchtstofflampen und Glimmlampen Anwendung.

Wirkungen des elektrischen Stromes

Magnetische Wirkung

Versuch:
Eine Magnetnadel wird in die Nähe eines Stromdurchflossenen Leiters gebracht.



Magnetische
Wirkung des Stromes

Beachte: Die Magnetnadel wird abgelenkt!

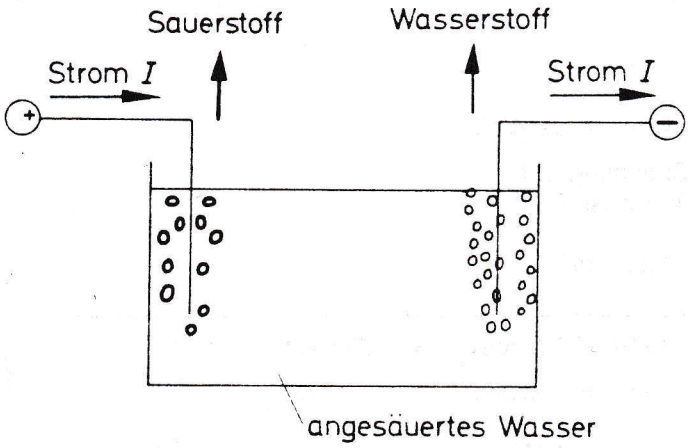
Der elektrische Strom erzeugt immer ein Magnetfeld.

Magnetfelder üben auf Eisen eine Anziehungskraft aus. Magnetfelder beeinflussen sich gegenseitig und stoßen sich ab oder ziehen sich an.

Angewandt werden solche magnetischen Wirkungen z. B. bei elektrischen Motoren, Meßgeräten, Hubmagneten, Klingeln, Lautsprechern und Schützen.

Chemische Wirkung

Versuch:
Zwei Drähte werden an eine Gleichspannungsquelle (z. B. Akkumulator) angeschlossen und mit den blanken Enden in ein Gefäß mit Wasser geführt, das etwas angesäuert ist (z. B. Zugabe von Schwefelsäure).



Chemische
Wirkung des Stromes

An beiden Drähten steigen Gase hoch. Es handelt sich um Wasserstoff und Sauerstoff. Wasserstoff und Sauerstoff sind aber die chemischen Bestandteile des Wassers. Das Wasser wird also durch den Strom zerlegt.

Der elektrische Strom zerlegt leitende Flüssigkeiten.

Angewandt wird die chemische Wirkung des Stromes bei der Elektrolyse, beim Galvanisieren, beim Laden von Akkumulatoren.

Elektrische Spannung

Zur Bewegung von Elektronen benötigt man einen Antrieb, der gleich einer Pumpe auf der einen Seite des Stromkreises Elektronen in ihn „hineindrückt", während er gleichzeitig auf der anderen Seite Elektronen „absaugt". Dieser Antrieb wird *Spannungserzeuger* oder *Spannungsquelle* genannt.

an der einen Klemme einer Spannungsquelle herrscht dadurch ein *Elektronenüberschuß* (−Pol), an der anderen ein *Elektronenmangel* (+ Pol). Zwischen den beiden Klemmen ergibt sich damit ein *Unterschied in der Elektronenbesetzung.* Diesen Zustand bezeichnet man als Spannung (siehe Bild 1 und 2).

Die elektrische Spannung U ist der Unterschied in der Elektronenbesetzung zwischen zwei Punkten.

GEMESSEN WIRD ELEKTRISCHE SPANNUNG MIT DEM VOLTMETER (–Ⓥ–)

ELEKTRISCHE SPANNUNG TRITT **NUR ZWISCHEN ZWEI PUNKTEN** AUF UND KANN DESHALB AUCH NUR ZWISCHEN ZWEI PUNKTEN GEMESSEN WERDEN!

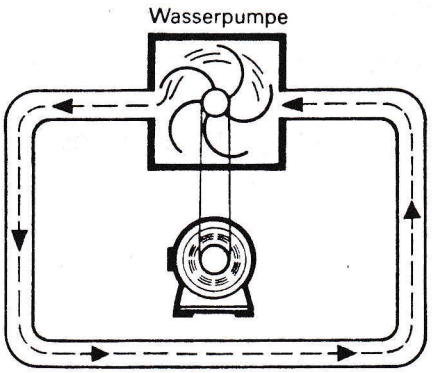


Bild 1: Die Wasserpumpe drückt den Wasserstrom in einer vorgebenen Richtung durch die Rohrleitung.

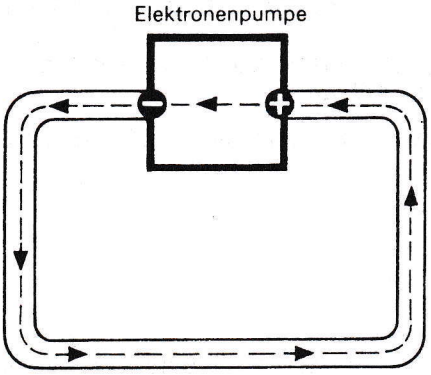


Bild 2: Die Elektronenpumpe (Batterie) drückt den Elektronenstrom in einer ebenfalls vorgegebenen Richtung durch die Drahtleitung.

Die Einheit der Spannung ist das Volt

Formelzeichen für Spannung ist U
Einheitenzeichen für Volt ist V

Vielfache und Teile der Einheit:

$$1\ \text{MV} = 1\ \text{Megavolt} = 1\,000\,000\ \text{V} = 10^6\,\text{V}$$

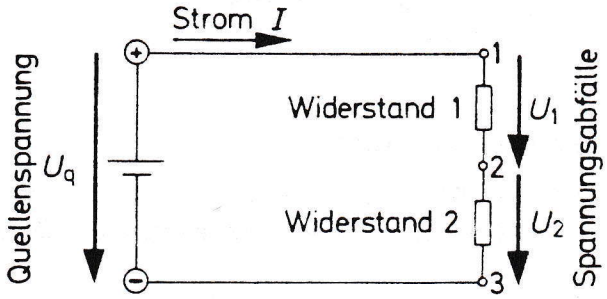
$$1\ \text{kV} = 1\ \text{Kilovolt} = 1\,000\ \text{V} = 10^3\ \text{V}$$

$$1\ \text{mV} = 1\ \text{Millivolt} = \frac{1}{1\,000}\ \text{V} = 10^{-3}\ \text{V}$$

$$1\ \mu\text{V} = 1\ \text{Mikrovolt} = \frac{1}{1\,000\,000}\ \text{V} = 10^{-6}\ \text{V}$$

Elektrische Spannung

In einem Stromkreis unterscheidet man verschiedene Spannungsarten, nämlich die Quellenspannung und den Spannungsabfall.



Quellenspannung und Spannungsabfall in einem Stromkreis

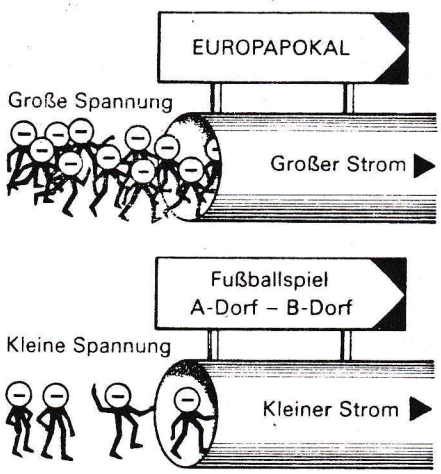
***Quellenspannung* oder *Urspannung* (Kurzzeichen U_q) ist die Spannung, die in der Spannungsquelle erzeugt wird.**

und somit die Ursache für das Fließen des Stromes darstellt.

Die Quellenspannung verteilt sich auf den gesamten Stromkreis und wird an den einzelnen Verbrauchern verbraucht. Man sagt auch: „Die Spannung fällt an den Verbrauchern ab".

Zwischen zwei beliebigen Punkten im Stromkreis, z. B. zwischen den Punkten 1 und 2, oder 2 und 3, ist deshalb nur ein Teil der Quellenspannung wirksam. Diesen Teil der Spannung nennt man Spannungsabfall oder einfach Spannung.

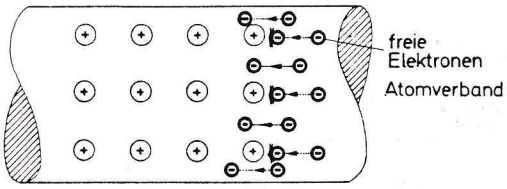
***Spannungsabfall* oder allgemein *Spannung* (Kurzzeichen: U) ist die Spannung die an den Verbrauchern verbraucht wird.**



Bei großer Spannung drängeln sich die Elektronen-Männchen in großen Strömen zum Ort des Geschehens, bei kleiner Spannung tritt auch nur ein kleiner Strom auf.

Elektrischer Widerstand

Die Bewegung der Ladungsträger in einer bestimmten Richtung im Inneren eines Leiters wird durch dauernde Zusammenstöße mit den Atomen (Atomionen) des Leitermaterials gehemmt. Dieses „Sichwidersetzen" des Leiter gegenüber dem Stromdurchgang wird als *Widerstand* bezeichnet.



Elektronenbewegung in metallischen Leitern

Die Einheit des elektrischen Widerstandes ist das Ohm.

Formelzeichen für elektrischen Widerstand ist R.

Einheitenzeichen für Ohm ist Ω (sprich: Ohm) Ω ist der griechische Buchstabe Omega. Die abgeleitete SI-Einheit 1 Ω ist folgendermaßen definiert:

1 Ohm ist gleich dem Widerstand, durch den bei der Spannung 1 V ein Strom der Stärke 1 A fließt.

Vielfache und Teile der Einheit 1 Ω sind:

$$1\ \text{M}\Omega = 1\ \text{Megaohm} = 1\,000\,000\ \Omega = 10^6\ \Omega$$

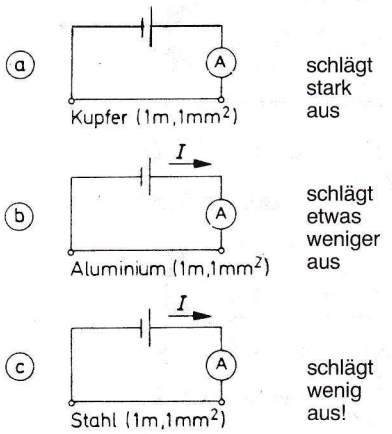
$$1\ \text{K}\Omega = 1\ \text{Kiloohm} = 1\,000\ \Omega = 10^3\ \Omega$$

$$1\ \text{m}\Omega = 1\ \text{Milliohm} = \frac{1}{1\,000}\ \Omega = 10^{-3}\ \Omega$$

Spezifischer Widerstand

Versuch:
Leitungen aus verschiedenem Material (Kupfer, Aluminium, Stahl), aber gleicher Länge und gleichem Querschnitt werden nacheinander über einen Strommesser an eine Spannungsquelle angeschlossen und die jeweiligen Stromstärken (Zeigerausschläge) verglichen.

Der Versuch zeigt, daß jeder Werkstoff dem elektrischen Strom einen anderen Widerstand entgegensetzt. Dieser Widerstand hängt vom inneren Aufbau des betreffenden Stoffes (Atomdichte und Zahl der freien Elektroden) ab und wird als *spezifischer Widerstand* bezeichnet.



Vergleich des Widerstandes von Leitungen aus
a) Kupfer
b) Aluminium
c) Stahl

Formelzeichen für den spezifischen Widerstand ist ϱ. (sprich: rho).

ϱ ist ein Buchstabe aus dem griechischen Alphabet.

Um verschiedene Stoffe vergleichen zu können, geht man von Drähten von 1 m Länge und 1 mm^2 Querschnitt aus, wobei der Widerstand bei 20° C gemessen wird.

Elektrischer Widerstand

Der spezifische Widerstand eines Leiterwerkstoffes ist zahlenmäßig gleich seinem Widerstand bei 1 m Länge, 1 mm² Querschnitt und einer Temperatur von 20° C.

Die Einheit des spezifischen Widerstands ist $\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$

Leitwert

Ein Verbraucher mit einem kleinen Widerstand leitet den elektrischen Strom gut. Man sagt: „Er hat einen *großen Leitwert*".

Einem großen Leitwert entspricht ein kleiner Widerstand und, umgekehrt, einem kleinen Leitwert ein großer Widerstand.

Der Leitwert ist der Kehrwert des Widerstandes.

$$\text{Leitwert} = \frac{1}{\text{Widerstand}}$$

Die Einheit für den Leitwert ist das Siemens. Formelzeichen für Leitwert ist G.

Einheitszeichen für Siemens ist S.

Leitwert	$G = \frac{1}{R}$	G elektr. Leitwert in S
Widerstand	$R = \frac{1}{G}$	R elektr. Widerstand in Ω

Leitfähigkeit

Ein Leiterwerkstoff mit einem kleinen spezifischen Widerstand leitet den elektrischen Strom gut, er ist gut leitfähig. Man bezeichnet dies als große *Leitfähigkeit* oder großen *spezifischen Leitwert* des Stoffes.

Entsprechend dem Leitwert kann man hier festhalten:

Die Leitfähigkeit ist der Kehrwert des spezifischen Widerstandes.

Die Einheit für die Leitfähigkeit ist $\frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$

Formelzeichen für die Leitfähigkeit ist $\varkappa$ (sprich Kappa). $\varkappa$ ist ein Buchstabe aus dem griechischen Alphabet.

$$\text{Leitfähigkeit} = \frac{1}{\text{spezifischen Widerstand}}$$

Leitfähigkeit	$\varkappa = \frac{1}{\varrho}$	$\varkappa$ Leitfähigkeit in $\frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$
spez. Widerstand	$\varrho = \frac{1}{\varkappa}$	ϱ spez. Widerstand in $\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$

Für manche Betrachtungen ist es zweckmäßig, mit dem Leitwert bzw. dem spezifischen Leitwert zu rechnen.

Leitwert und Leitfähigkeit

Mit Hilfe des spezifischen Leitwertes ergibt sich folgende Berechnungsformel für den Widerstand eines Drahtes:

Leitwiderstand

$$\boxed{R = \frac{1}{x \cdot A}}$$

R Leitwiderstand in Ω

x Leitfähigkeit in $\frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$

l Leiterlänge in m

A Leiterquerschnitt in mm^2

Beispiele:

1. Welchen Leitwert haben folgende Widerstände:
   5 Ω, 0,2 Ω, 100 Ω?

Lösung: $G = \frac{1}{R}$; $\underline{G} = \frac{1}{5\,\Omega} = \underline{0{,}2\ S}$

$G = \frac{1}{0{,}2\,\Omega} = \underline{5\ S;}$ $\underline{G} = \frac{1}{100\,\Omega} = 0{,}01\ S = \underline{10\ mS}$

Stromkreisgesetze

Ohmsches Gesetz

Legt man einen Widerstand an eine Spannung und bildet damit einen geschlossenen Stromkreis, so fließt durch den Widerstand ein bestimmter Strom. Die Stärke dieses Stromes hängt ab von der angelegten Spannung und dem Widerstand.

Aufschluß über den Zusammenhang zwischen Spannung, Stromstärke und Widerstand in einem Stromkreis geben folgende Versuche:

Versuch:
a) Messung der Stromstärke bei verschiedenen Spannungen (2 V, 4 V, 6 V) und gleich großem Widerstand (10 Ω).

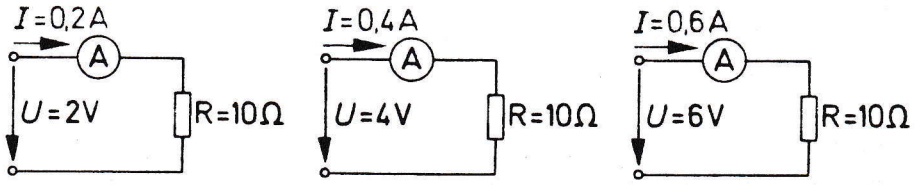


Bild 2.1
Strom bei verschiedenen Spannungen

Beachte: Die Stromstärke I nimmt im gleichen Verhältnis zu wie die Spannung U.

b) Messung der Stromstärke bei verschiedenen Widerständen (10 Ω, 20 Ω, 30 Ω) und gleich großer Spannung (6 V).

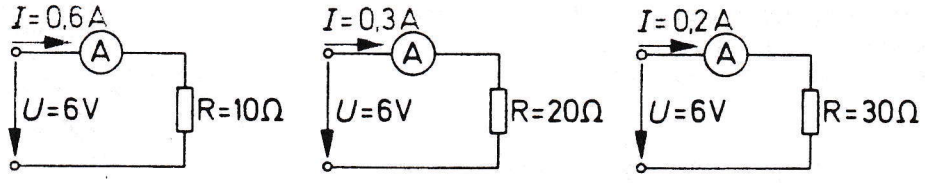


Bild 2.2
Strom bei verschiedenen Widerständen

Beachte: Die Stromstärke I nimmt im umgekehrten Verhältnis zu wie der Widerstand R.

Insgesamt gilt also:
Die Stromstärke I ist a) direkt verhältnisgleich der Spannung U
b) umgekehrt verhältnisgleich dem Widerstand R.

Faßt man dies in einer Formel zusammen, so erhält man das *Ohmsche Gesetz.*

$$\text{Stromstärke } I = \frac{\text{Spannung } U}{\text{Widerstand } R}$$

In Formelzeichen: $\boxed{I = \frac{U}{R}}$

I Stromstärke in A
U Spannung in V
R Widerstand in Ω

Durch Umformen der Gleichung erhält man zwei weitere Formen des Ohmschen Gesetzes:

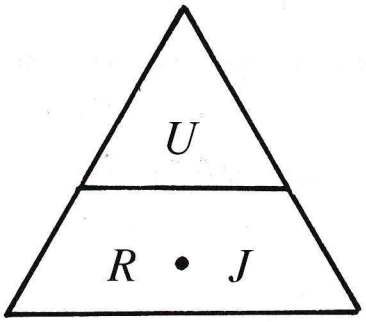
$$\boxed{U = R \cdot I} \qquad \boxed{R = \frac{U}{I}}$$

Beachte: Mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes lassen sich also die drei Grundgrößen in einem Stromkreis bestimmen, wenn jeweils zwei Größen bekannt sind.

Dabei werden die Einheiten Volt, Ampere und Ohm verwendet.

Stromkreisgesetze

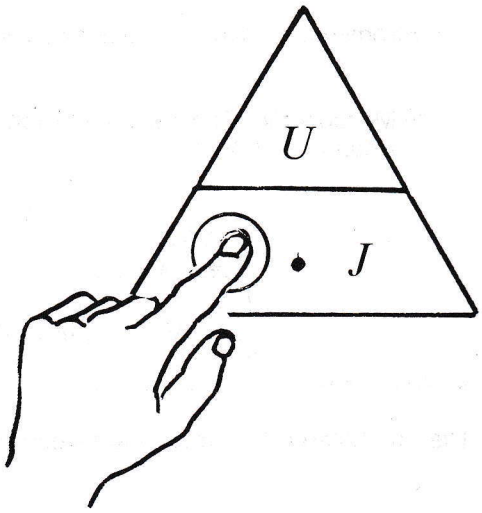
An Hand des Ohm'schen Dreiecks kann man sich die Formel leicht merken.



Rechenbeispiele:

Soll der Widerstand R ermittelt werden, verdeckt man im Dreieck den Buchstaben R. Daraus ergibt sich als Ergebnis die Formel

$$R = \frac{U}{J}$$

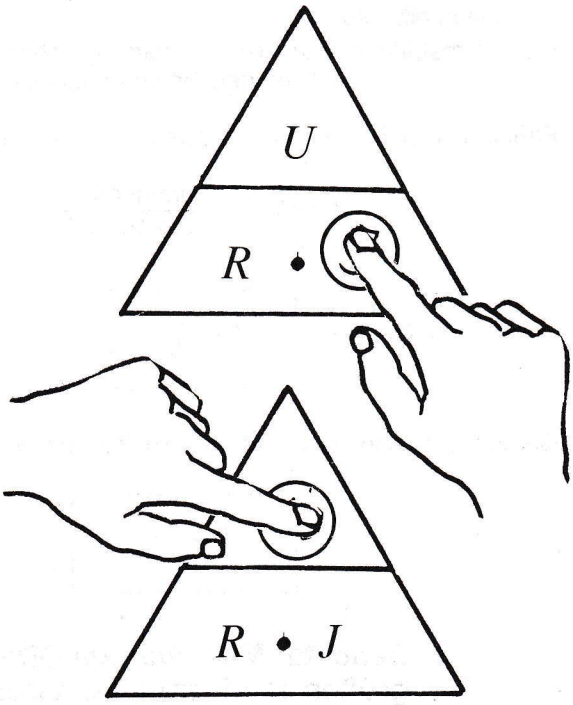


Eine Batteriespannung von 12 Volt drückt durch einen Verbraucher einen Strom von 0,6 Ampere. Somit ist der Widerstand des Verbrauchers

$$R = \frac{U}{J} \; ; \; R = \frac{12\,V}{0{,}6\,A} = \underline{20\,\Omega}$$

Soll die Stromstärke errechnet werden, verdeckt man im Dreieck den Buchstaben J. Daraus ergibt sich die Formel

$$J = \frac{U}{R}$$



Der Widerstand eines Verbrauchers hat zum Beispiel 3 Ohm, die Spannung beträgt 12 Volt. Die Stromstärke des Verbrauchers errechnet sich wie folgt:

$$J = \frac{U}{R} \; ; \; J = \frac{12\,V}{3\,\Omega} = \underline{4\,A}$$

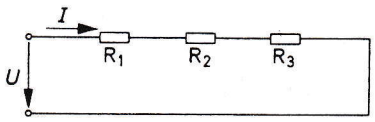
Soll die Spannung errechnet werden, um einen bestimmten Widerstand zu überwinden, verdeckt man im Dreieck den Buchstaben U. Daraus ergibt sich die Formel $U = J \cdot R$. Sollen zum Beispiel 2 Ampere durch einen Widerstand von 6 Ohm durchgeschickt werden, sind 12 Volt erforderlich. Dies errechnet sich wie folgt:

$$U = R \cdot J \; ; \; U = 6\,\Omega \cdot 2\,A = \underline{12\,V}$$

Reihenschaltung von Widerständen

Eine Reihenschaltung von Widerständen liegt vor, wenn bei Anlegen einer Spannung derselbe Strom alle Widerstände nacheinander durchfließt.

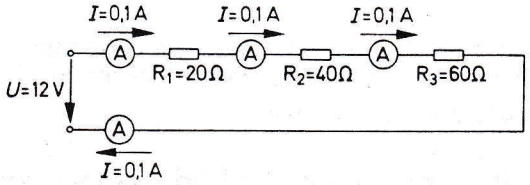
Reihenschaltung von Widerständen



Aufschlüsse über Strom, Spannung und Widerstand in der Reihenschaltung lassen sich aus folgenden Versuchen ziehen:

Versuch:
a) Messung des Stromes I mit Strommessern im Stromkreis vor, zwischen und hinter den Widerständen.

Strom in einer Reihenschaltung



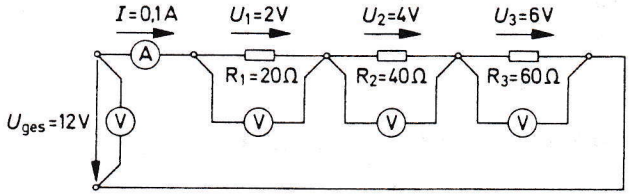
Im Reihenstromkreis ist die Stromstärke in allen Widerständen gleich groß,

da die Elektronen an keiner Stelle aus dem Stromkreis heraustreten können.
Strom wird also nie verbraucht!

Versuch:
b) Messung der Spannung U_1, U_2, U_3, U_{ges} mit Spannungsmessern und des Stromes I mit einem Strommesser in der angegebenen Reihenschaltung.

gegeben: $U_1 = 2\ V$; $U_{ges} = 12\ V$; $I = 0{,}1\ A$
$U_2 = 4\ V$; $U_3 = 6\ V$

Spannungen in einer Reihenschaltung



Addiert man die drei Teilspannungen (Spannungsabfälle) U_1, U_2, U_3, so stellt man fest, daß die Summe dieser Spannungen gleich der angelegten Spannung U_{ges} ist.

Allgemein ausgedrückt:

Die Gesamtspannung ist gleich der Summe der Teilspannungen.

$$U_{ges} = U_1 + U_2 + U_3 + \ldots$$

$$R_{ges} = \frac{U_{ges}}{I}$$

$$R_{ges} = \frac{12\ V}{0{,}1\ A} = \underline{120\ \Omega}$$

Damit ist erwiesen:

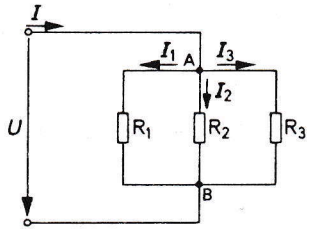
Der Gesamtwiderstand ist gleich der Summe der Teilwiderstände.

$$R_{ges} = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots$$

Parallelschaltung von Widerständen

Eine Parallelschaltung von Widerständen liegt vor, wenn der Strom infolge der Schaltung sich in Teilströme verzweigt und gleichzeitig durch die Widerstände hindurchfließt.

Parallelschaltung



Wie Ströme, Spannungen und Widerstände sich verhalten, läßt sich aus folgenden Überlegungen und Versuchen ersehen:

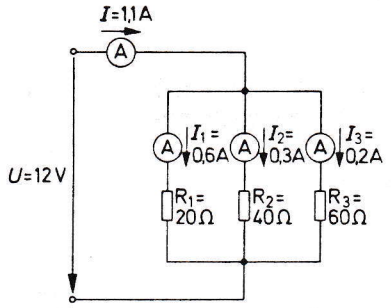
Zwischen den beiden Stromverzweigungspunkten A und B liegt die Gesamtspannung U. Da alle Teilwiderstände mit ihren Klemmen daran hängen, herrscht an allen Widerständen die gleiche Spannung U.

Als wesentliches Merkmal der Parallelschaltung gilt somit:

In einer Parallelschaltung liegen alle Widerstände an derselben Spannung.

Versuch:
Messung der Ströme I, I_1, I_2 und I_3 der angegebenen Schaltung

Stromverteilung in einer Parallelschaltung



Ergebnis:
$I = 1{,}1\ A;\quad I_1 = 0{,}6\ A;\quad I_2 = 0{,}3\ A;\quad I_3 = 0{,}2\ A$

Eine genauere Betrachtung der Strommeßwerte zeigt folgenden Zusammenhang:

Der Gesamtstrom ist gleich der Summe der Teilströme.

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \ldots$$

Die Erklärung hierfür liegt darin, daß der Gesamtstrom durch die drei Strombahnen nur aufgeteilt wird, aber insgesamt erhalten bleibt.
Vergleicht man die Stromstärken mit den entsprechenden Widerstandswerten, so stellt man fest:

Im größten Widerstand fließt der kleinste Strom und im kleinsten Widerstand der größte Strom.

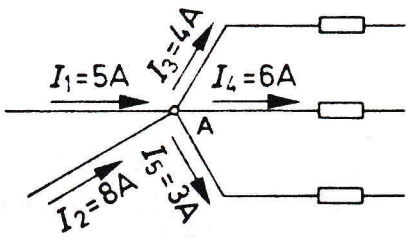
Diese Erkenntnis läßt sich mit dem Ohmschen Gesetz belegen. Es gilt $I = \frac{U}{R}$. Bei gleicher Spannung muß also in dem Zweig mit dem größeren Widerstand der kleinere Strom fließen.

Kirchhoffsche Regeln

Erste Kirchhoffsche Regel (Knotenregel)

Bei Parallelschaltungen ergeben sich immer sogenannte Verzweigungspunkte, auch *Knotenpunkte* genannt. An diesen Punkten verzweigen sich die Ströme. Daraus lassen sich bestimmte Gesetzmäßigkeiten ableiten.

Beispiel:



Stromverzweigung

Betrachtet man z.B. vom Punkt A aus das Stromgeschehen, so stellt man fest, daß die Ströme I_1 und I_2 auf den Knotenpunkt A zufließen, die Ströme I_3, I_4 und I_5 jedoch abfließen. Dabei stellt sich heraus, daß der Stromwert der zufließenden Ströme gleich dem Stromwert der abfließenden Ströme ist.

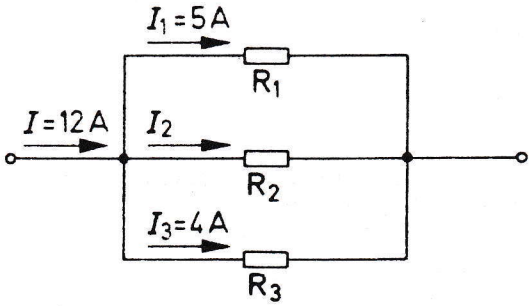
Knotenregel:

In jedem Knotenpunkt ist die Summe der zufließenden Ströme gleich der Summe der abfließenden Ströme.

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5$$

Mit Hilfe dieser Regel können unbekannte Ströme in einem Stromverzweigungspunkt bestimmt werden.

Beispiel:
Wie groß ist der in der Schaltung angegebene Strom I_2?



Parallelschaltung

Lösung: $I = I_1 + I_2 + I_3$ *umgestellt nach* I_2;
$I_2 = I - I_1 - I_3$; $I_2 = 12\ A - 5\ A - 4\ A = 3\ A$

Elektrische Arbeit – Energie

Hebt man einen Körper hoch oder bewegt ihn, so wird dabei eine mechanische Arbeit verrichtet.
Diese Arbeit W hängt ab von der aufgewandten Kraft F und dem zurückgelegten Weg s.
Sie läßt sich mit der Gleichung

$$W = F \cdot s$$

errechnen.
Ähnliche Überlegungen führen auch zu dem Begriff der elektrischen Arbeit.
Werden unter dem Druck der elektrischen Spannung U Ladungsträger mit der Elektrizitätsmenge Q bewegt, so wird dabei ebenfalls eine Arbeit W verrichtet, nämlich die elektrische Arbeit.

$$\boxed{W = Q \cdot U}$$

Die Elektrizitätsmenge Q läßt sich bestimmen mit

$$Q = I \cdot t$$

Setzt man in obige Gleichung anstelle von Q $I \cdot t$ ein, so ergibt sich

Elektrische Arbeit $\boxed{W = U \cdot I \cdot t}$

Elektrische Arbeit = Spannung · Stromstärke · Zeit

Setzt man U in Volt, I in Ampere und t in Sekunden ein, so erhält man die Einheit der elektrischen Arbeit zu Voltamperesekunden (VAs).
In der Praxis faßt man meist zusammen:

$$1\ V \cdot 1\ A = 1\ W\ (1\ Watt)$$

und erhält damit als Einheit der elektrischen Arbeit die Wattsekunde (Ws).
Es wird häufig die Einheit Kilowattstunde (kWh) verwendet:

Elektrische Leistung

Je schneller man eine Arbeit verrichtet, um so mehr leistet man. Leistung P kann also allgemein als Arbeit W je Zeit t definiert werden.

$$\text{Leistung} = \frac{\text{Arbeit}}{\text{Zeit}}$$

$$\boxed{P = \frac{W}{t}}$$

Die elektrische Arbeit W läßt sich berechnen mit

$$W = U \cdot I \cdot t$$

Setzt man in die Leistungsgleichung anstelle von W $U \cdot I \cdot t$ *ein, so erhält man*

$$P = \frac{U \cdot I \cdot t}{t}$$

Elektrische Leistung $\boxed{P = U \cdot I}$

P Leistung in W
U Spannung in V
I Strom in A

Elektrische Leistung = Spannung · Stromstärke

Gib man U in Volt und I in Ampere an, so erhält man als Einheit für die elektrische Leistung das Voltampere (VA) oder praxisgerecht das Watt (W).

Man verwendet weiterhin noch:

1 kW	= 1 Kilowatt	=	1 000 Watt	= 10^3 W
1 MW	= 1 Megawatt	=	1 000 000 Watt	= 10^6 W
1 mW	= 1 Milliwatt	=	$\frac{1}{1\,000}$ W	= 10^{-3} W
1 μW	= 1 Mikrowatt	=	$\frac{1}{1\,000\,000}$ W	= 10^{-6} W
1 nW	= 1 Nanowatt	=	$\frac{1}{1\,000\,000\,000}$ W	= 10^{-9} W

Durch Einführen des Ohmschen Gesetzes in die Leistungsformel erhält man weitere Formeln für die elektrische Leistung. Diese Formeln eignen sich besonders zur *Leistungsbestimmung in Widerständen.*

$$P = U \cdot I$$
$$U = R \cdot I$$
$$P = R \cdot I \cdot I$$

Elektrische Leistung $\boxed{P = I^2 \cdot R}$

P Leistung in W
I Strom in A
R Widerstand in Ω

$$P = U \cdot I$$
$$J = \frac{U}{R}$$
$$P = \frac{U \cdot U}{R}$$

Elektrische Leistung $\boxed{P = \frac{U^2}{R}}$

P Leistung in W
U Spannung in V
R Widerstand in Ω

Bei Kraftfahrzeugen, älteren Typs wird die Leistung teilweise noch in PS (Pferdestärke) angegeben.

Umrechnung: $\boxed{1\ PS = 736\ W}$

Meßtechnik

Der Mensch kann die Naturerscheinungen der Elektrizität nicht unmittelbar mit seinen Sinnen wahrnehmen. In der Elektrotechnik werden zur Feststellung elektrischer Größen elektrische Meßgeräte benutzt, deren Arbeitsweise auf den Wirkungen des Stromes, insbesondere auf der magnetischen Wirkung, beruht.
Messen heißt vergleichen; beim Messen wird untersucht, wie oft eine bekannte, festgelegte Maßeinheit in einer Größe enthalten ist. Mit elektrischen Zeigermeßgeräten können Analogmessungen durchgeführt werden, d.h., der Zeiger schlägt der Meßgröße entsprechend (analog) aus. Digitale Meßgeräte zeigen den Meßwert mit Ziffern an.

Sinnbilder für die Skalenbeschriftung

Meßwerke	
Drehspulmeßwerk	
Kreuzspulmeßwerk	
Dreheisenmeßwerk	
elektrodynamisches Meßwerk	
elektrod. Meßwerk, eisengeschlossen	
Stromart	
Gleichstrom	—
Wechselstrom	∼
Gleich- u. Wechselstrom	≂
Gebrauchslage	
senkrechte Lage	⊥
waagerechte Lage	⊓
schräge Lage mit Angabe des Winkels	∠60°
Prüfspannung	
Prüfspannung 500 V	☆
Prüfspannung 2 KV	☆2
Güteklasse	
Feinmeßgeräte	0,1 – 0,2 – 0,5
Betriebsmeßgeräte	1 – 1,5 – 2,5 – 5

Meßtechnik

Messungen am Kraftfahrzeug

elektrische Werte	nichtelektrische Werte	
	elektrische Messung	mechanische Messung
Spannung allg.	Drehzahl	Druck allg.
Spannungsabfall	Schließwinkel	Unterdruck
Geberspannung	Zündzeitpunkt	Kraftstoffdruck
Zündspannung	Zündverstellwinkel	Kompression
Strom allg.	Nockenversatz	Kerzen-Elektrodenabstand
Geberstrom	Brenndauer	Ventilspiel
Widerstand allg.	Zylindervergleich	Säuredichte
Reihenwiderstand	Zündvorgang	Kontaktabstand
Kapazität	Zündfolge	Fliehkraftverst.

Meßregeln:

1. **Für jede Messung das geeignete Gerät verwenden.**

   An den auf der Skala angebrachten Bezeichnungen und Sinnbildern erkennt man, für welche Messungen das betreffende Gerät vorgesehen und geeignet ist.

2. **Harte Stöße und Erschütterungen vermeiden.**

   Spitzen oder Zapfen der Meßwerklagerung werden beschädigt, Reibungsfehler wird größer.

3. **Gebrauchslage beachten**

   Meßinstrument ist in dieser Lage geeicht.

4. **Nullstellung des Zeigers überprüfen.**

5. **Bei Beginn der Messung größten Bereich einschalten.**

   Überspannungen durch Fehlschaltungen werden dabei rechtzeitig erkannt.

6. **Möglichst im letzten Drittel der Skala messen.**

   Da Fehler auf Skalenendwert bezogen, ist Anzeigegenauigkeit dort am größten.

7. **Einflüsse durch elektrische und magnetische Felder vermeiden.**

Meßtechnik

Analog – Digital

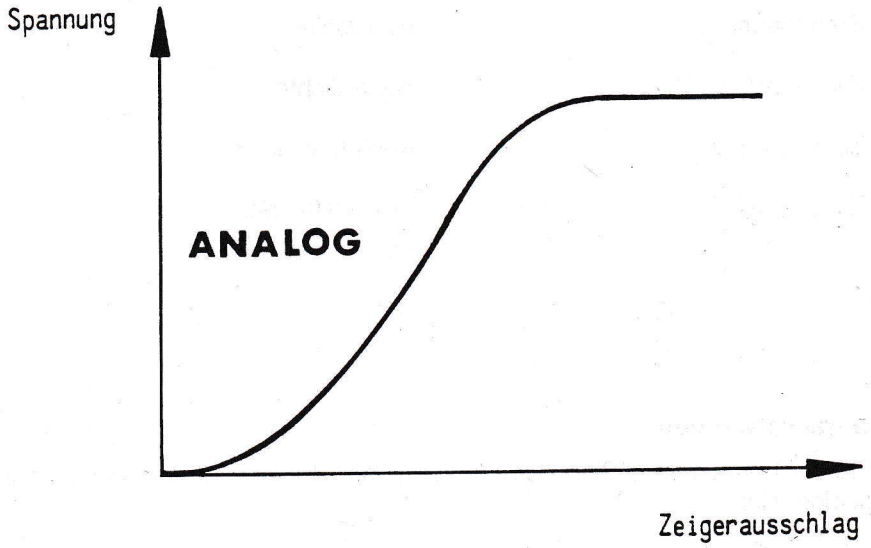
analog = entsprechend, übereinstimmend

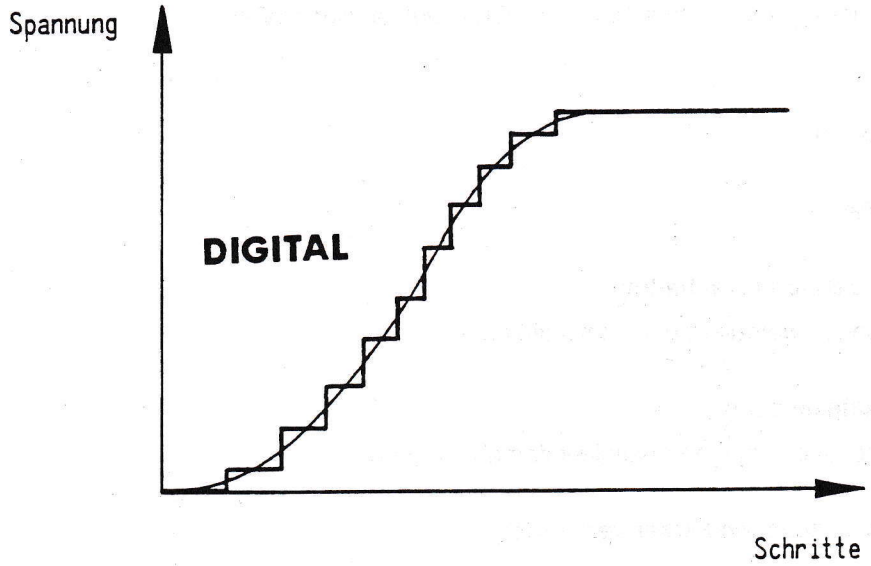
Ein Analogsignal ist dadurch gekennzeichnet, daß der Informationsgehalt eines Signals innerhalb eines bestimmten Bereiches jeden Wert annehmen kann und jeder dieser Werte eine andere Information darstellt. So liefert z.B. ein Spannungsmeßgerät innerhalb seines Meßbereiches von z.B. 0 . . . . 20 V eine stetige (stufenlose) Abbildung der sich stufenlos ändernden Meßgröße, der Winkel des Zeigerausschlages ist also eine analoge Darstellung des gemessenen Wertes.

digital (digitus = Finger)

Hier wird die Meßgröße in einzelnen Stufen erfaßt, ohne dadurch die Genauigkeit einzuschränken. Die Stufen können bei entsprechendem Schaltungsaufwand entsprechend klein gemacht werden. Die ziffernmäßige Darstellung von Meßgrößen erfolgt in der Digitalelektronik vorzugsweise durch Binärziffern (Logische Aussage: EIN / AUS EINS / NULL) die dann in Dezimalziffern umgewandelt werden.

Die Ablesegenauigkeit ist bei Ziffern größer als z.B. bei Zeigerausschlägen.

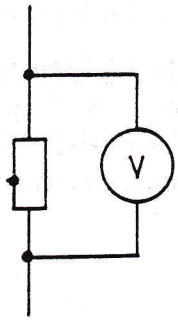




Meßtechnik

Die elektrischen Größen Spannung (U), Strom (I) und Widerstand (R) können mit geeigneten Geräten gemessen werden.

Eine elektrische Spannung besteht immer zwischen zwei Punkten eines Stromkreises.

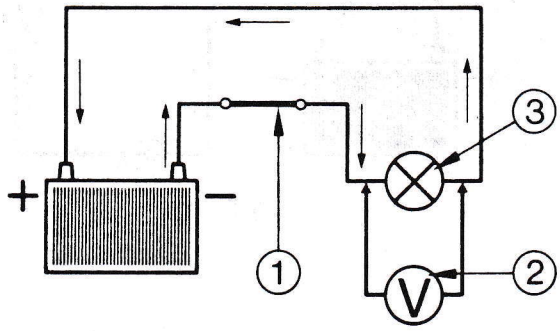


Der **Spannungsmesser** muß deshalb an diesen zwei Punkten, d.h. parallel zu dem sogenannten Meßobjekt angeschlossen werden.

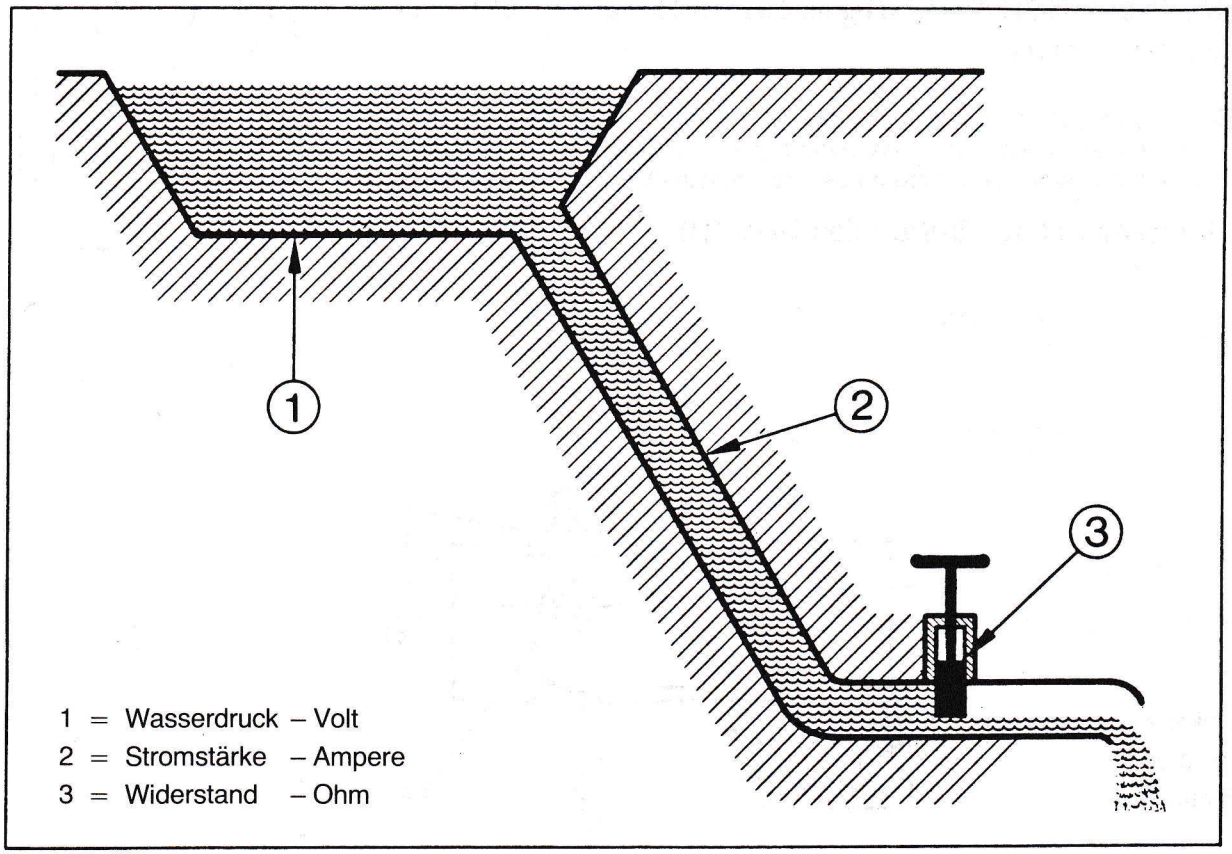
Durch die Parallelschaltung ergibt sich eine Änderung des Widerstandes und damit auch eine Änderung der an diesem Widerstand anliegenden Spannung. Um den dadurch entstehenden Meßfehler gering zu halten, soll der Innenwiderstand (R_i) des Spannungsmessers möglichst groß sein.

Die Spannung hat als Einheit das Volt (V).

1 = Stromkreis geschlossen
2 = Voltmeter
3 = Verbraucher

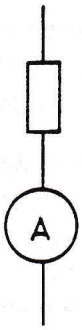


Die Begriffe Spannung, Stromstärke und Widerstand kann man sich leicht an Hand der bildlichen Darstellung des Stausees merken.



Meßtechnik

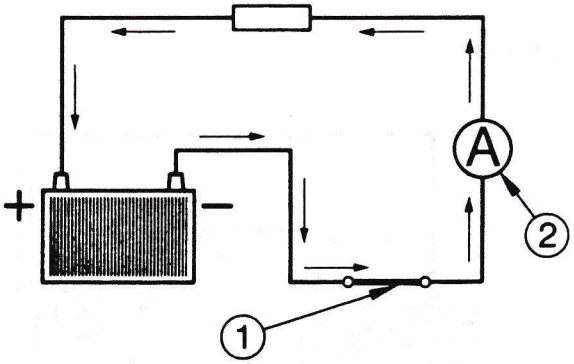
Zur Strommessung muß der Stromkreis im Normalfall aufgetrennt werden.



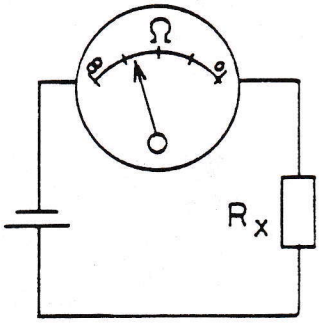
Der **Strommesser** wird an der Trennstelle eingeschaltet, d.h. in Reihe mit dem Meßobjekt. Bei dieser Reihenschaltung muß der Innenwiderstand (R_i) des Strommesser möglichst klein sein, um den Meßfehler gering zu halten.

Der Strom hat als Einheit das Ampere (A).

1 = Stromkreis geschlossen
2 = Amperemeter



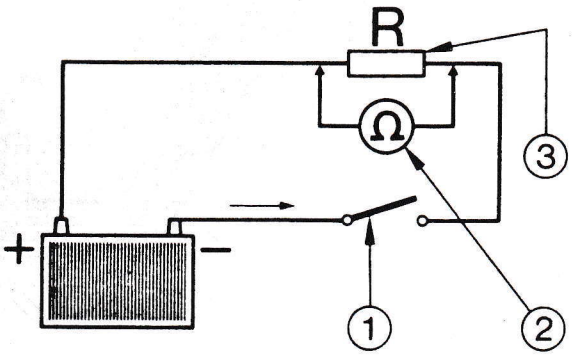
Zur **Widerstandsmessung** muß das Meßobjekt von einer Fremdspannung abgeklemmt sein



Eine Widerstandsmessung kann z.B. durchgeführt werden, indem eine bekannte Spannung an den zu messenden Widerstand gelegt und der Strom gemessen wird. Dabei kann die Skala eines Strommessers direkt in Ohm geeicht werden.

Der Widerstand hat als Einheit das Ohm (Ω).

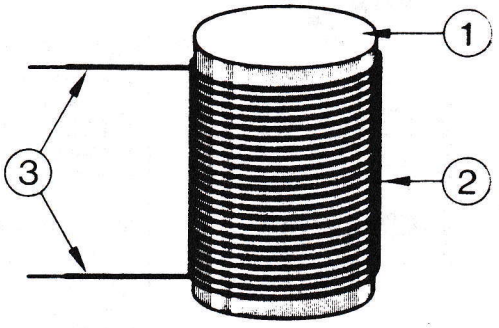
1 = Stromkreis unterbrochen
2 = Ohmmeter
3 = Widerstand



Relais

Unter Relais versteht man einen elektromagnetischen Schalter, bei dem das Magnetfeld mit vielen Windungen und kleiner Stromstärke erzeugt wird. Relais werden in der Nähe von Verbrauchern größerer Leistung eingebaut, um lange Verbindungsleitungen mit großen Querschnitten einzusparen. Außerdem können die Kontakte von Schalter und Zündschlösser kleiner dimensioniert werden und somit insgesamt kleinere Abmessungen bekommen.

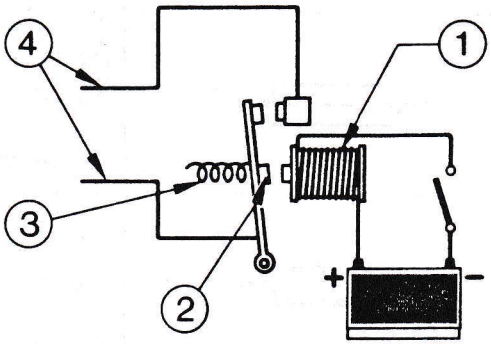
Relais bestehen aus einem Kontaktarm mit Kontakten und einem Elektromagneten. Die Weicheisenkerne sind von Spulen umgeben. Auch hier ist die magnetische Kraft abhängig von der Anzahl der Windungen (Induktivität der Spule), der Stromstärke und der Spannung.



1 = Weicheisenkern
2 = Spulenwicklung
3 = Anschluß – Stromnetz

Wird der Stromkreis zur Spule unterbrochen, verliert der Weicheisenkern seine magnetische Wirkung, dabei werden die Kontakte in ihre Ruhestellung gebracht.

Die meist verwendeten Relais sind:
- Öffner-Relais (Kontakte sind geschlossen)
- Schließer-Relais (Kontakte offen)
- Wechsel-Relais (beide Möglichkeiten)



1 = Spule mit Elektromagnet
2 = Kontaktarm mit Kontakten
3 = Rückholfeder
4 = zum zu verbindenden Stromkreis

Wird der Spule Strom zugeführt, so zieht der Weicheisenkern der Spule den Kontaktarm an. Dabei schließt oder öffnet sich der Stromkreis. Wird die Stromzufuhr unterbrochen, verliert der Weicheisenkern seinen Magnetismus. Unterstützt durch eine Rückholfeder wird der Kontaktarm geöffnet und dabei der Stromkreis unterbrochen oder geschlossen.

Schaltzeichen

1 lösbare Verbindung		11 Masse	
2 Steckverbindung einfach		12 Batterie	
3 Steckverbindungen mehrfach		13 Kondensator	
4 Leiterkreuz		14 Diode	
5 Lötverbindung		15 Transistor	
6 Schalter		16 Ohmmeter	Ω
7 Sicherung		17 Voltmeter	V
8 Widerstand		18 Ampèremeter	A
9 Wicklung		19 Glühlampe	
10 Relaisspule		20 Elektro-Motor	M

Farbschlüssel für Widerstände

Kennfarbe	Widerstandswert in Ω			Toleranz des Widerstandswertes
	1. Ziffer	2. Ziffer	Multiplikator	
Keine	–	–	–	±20%
Silber	–	–	10^{-2}	±10%
Gold	–	–	10^{-1}	± 5%
Schwarz	–	0	10^{0}	–
Braun	1	1	10^{1}	± 1%
Rot	2	2	10^{2}	± 2%
Orange	3	3	10^{3}	–
Gelb	4	4	10^{4}	–
Grün	5	5	10^{5}	±0,5%
Blau	6	6	10^{6}	–
Violett	7	7	10^{7}	–
Grau	8	8	10^{8}	–
Weiß	9	9	10^{9}	–

Widerstandsreihen und Belastung

Widerstände																								
IEC-Reihen E 6, E 12 und E 24																								
E 6	1,0				1,5				2,2				3,3				4,7				6,8			
E 12	1,0		1,2		1,5		1,8		2,2		2,7		3,3		3,9		4,7		5,6		6,8		8,2	
E 24	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,3	4,7	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,2	9,1
Werte für Widerstände in Ω, kΩ, MΩ																								

Die IEC-Reihen gelten auch für die Nennwerte anderer Bauelemente, z.B. von Kondensatoren und Z-Dioden.

Belastbarkeit: Die Belastbarkeit eines Kohleschichtwiderstandes ist davon abhängig, wie die entstehende Wärmemenge abgeleitet werden kann. Die Kühlung des Widerstandes erfolgt durch umgebende Luft (Konvektion), Wärmeabstrahlung und Wärmeleitung. Wesentlich sind Luftkühlung und Strahlungskühlung. Beide hängen hauptsächlich von der Oberfläche und der Umgebungstemperatur des Schichtwiderstandes ab. Die Nennlast der Schichtwiderstände kann man bei einiger Übung aus Länge und Durchmesser des Widerstandskörpers erkennen. Maßgebend für die tatsächliche Belastbarkeit eines Kohleschichtwiderstandes ist seine Umgebungstemperatur.

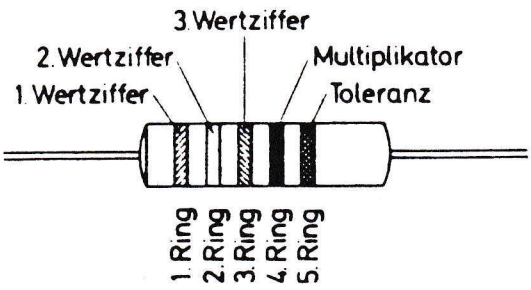
Farbschlüssel für Widerstände

Internationaler Farbcode für Fünffachberingung

Kenn-farbe	1. Ring = 1. Wertziffer	2. Ring = 2. Wertziffer	3. Ring = 3. Wertziffer	4. Ring = Multiplikator	5. Ring = Toleranz
farblos	–	–	–	–	± 20 %
silber	–	–	–	$\cdot 10^{-2}\,\Omega$	± 10 %
gold	–	–	–	$\cdot 10^{-1}\,\Omega$	± 5 %
schwarz	0	0	0	$\cdot 10^{0}\,\Omega$	
braun	1	1	1	$\cdot 10^{1}\,\Omega$	± 1 %
rot	2	2	2	$\cdot 10^{2}\,\Omega$	± 2 %
orange	3	3	3	$\cdot 10^{3}\,\Omega$	
gelb	4	4	4	$\cdot 10^{4}\,\Omega$	
grün	5	5	5	$\cdot 10^{5}\,\Omega$	± 0,5 %
blau	6	6	6	$\cdot 10^{6}\,\Omega$	
violett	7	7	7	$\cdot 10^{7}\,\Omega$	
grau	8	8	8	$\cdot 10^{8}\,\Omega$	
weiß	9	9	9	$\cdot 10^{9}\,\Omega$	

Beispiele;

braun	grau	violett	orange	rot
1	8	7	$\cdot 10^{3}$	2 % = 187 kΩ ± 2 %
orange	blau	orange	gold	braun
3	6	3	$\cdot 10^{-1}$	1 % = 36,3 Ω ± 1 %
weiß	violett	blau	silber	grün
9	7	6	$\cdot 10^{-2}$	0,5 % = 9,76 Ω ± 1 %



Lage der Ringe des internationalen Farbcodes bei Fünffachberingung

06.00 / 500 /