

Cyber-physische Systeme

Elektrotechnik/Messtechnik

1 GRUNDBEGRIFFE DER ELEKTRIZITÄT	2
1.1 ATOME UND ELEKTRONEN	2
1.2 ELEKTRISCHE LADUNG - LADUNGSTRÄGER	3
1.3 EXKURS: MAGNETISMUS	7
2 ELEKTRISCHER STROM	15
2.1 EINFACHER ELEKTRISCHER STROMKREIS.....	15
2.2 LEITER UND NICHTLEITER	17
2.3 DIE STROMRICHTUNG	18
2.4 DIE STROMSTÄRKE I UND DIE SPANNUNG U.....	18
2.5 WIRKUNG DES ELEKTRISCHEN STROMS	20
2.6 GESETZE DES ELEKTRISCHEN STROMKREISES	20
3 ELEKTRISCHE ARBEIT UND LEISTUNG	28
4 MESSTECHNIK	33
4.1 SPANNUNG MESSEN MIT DEM MULTIMETER	33
4.2 UNTERSCHIEDLICHE MESSBEREICHE	34
4.3 VORGEHEN BEIM MESSEN VON SPANNUNG MIT DEM MULTIMETER.....	34
5 AUSGEWÄHLTE MESSSCHALTUNGEN	36
5.1 BELASTETER SPANNUNGSTEILER	36
5.2 POTENZIOMETER.....	36
5.3 WHEATSTONESCHE BRÜCKENSCHALTUNG	37
6 ÜBUNGSAUFGABEN	38
7 QUELLEN	40

1 Grundbegriffe der Elektrizität

1.1 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 wie Rutherford und Bohr den Schluss gezogen, dass ein Atom ähnlich aufgebaut sein muss wie unser Sonnensystem (siehe Bild).

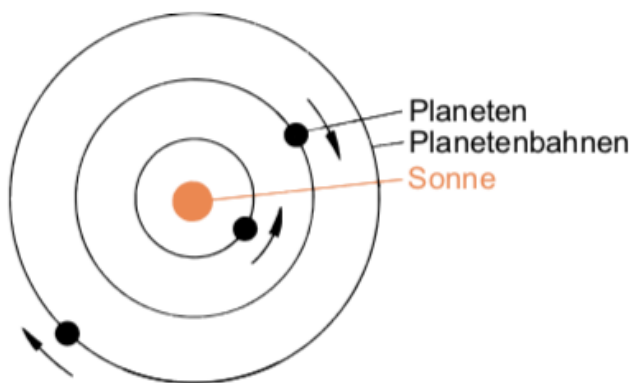


Abb. 1: Modell des Sonnensystems

Nach dieser Modellvorstellung besteht ein Atom aus einer Sonne – dem Atomkern – und aus den um diesen Kern auf kreisförmigen oder elliptischen Bahnen kreisenden Planeten – den Elektronen. Ihre Bahnen umgeben den Kern schalenförmig und bilden die sogenannten Elektronenschalen.

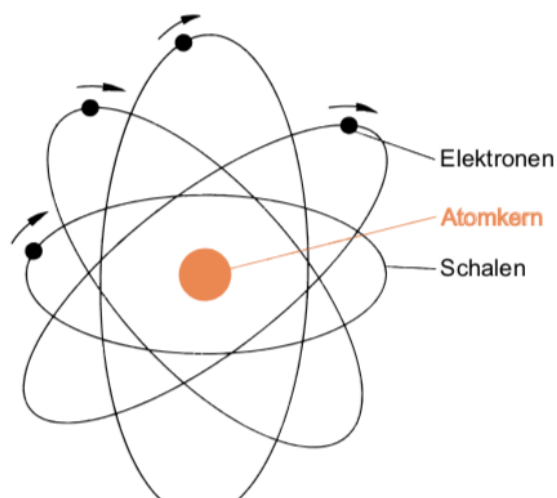


Abb 2: Atommodell

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.

1.2 Elektrische Ladung - Ladungsträger

Die Elektronen umkreisen den Atomkern mit einer sehr großen Geschwindigkeit (ca. 2200 km/s). Trotz des geringen Elektronengewichts 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 aus 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 z.B. eine Kunststoffolie in einem Wolllappen, so über diese auf Papier, Watte oder Staub 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 den 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 (siehe Abb. 4)

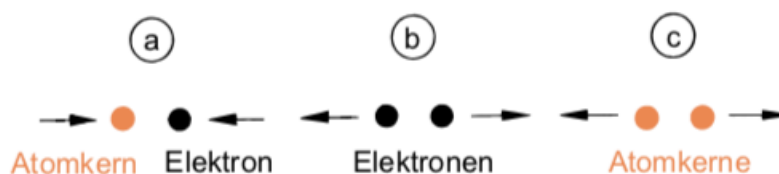


Abb. 3
Kraftwirkung zwischen
a) Atomkern und Elektron
b) Elektronen,
c) Atomkernen

Da Elektronen sich gegenseitig abstoßen, Atomkern und Elektronen sich anziehen, muss der Atomkern anders geladen sein, d.h. eine andere Ladungsart tragen als das Elektron. Die Ladung des Atomkerns wird positive Ladung und Ladung des Elektrons negative Ladung genannt.

Damit gilt für elektrische Ladungen:

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



Abb 4: Kraftwirkung von elektrischen Ladungen

1.2.1 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 die Träger der negativen Elementarladungen – Protonen die Träger der positiven Elementarladungen.

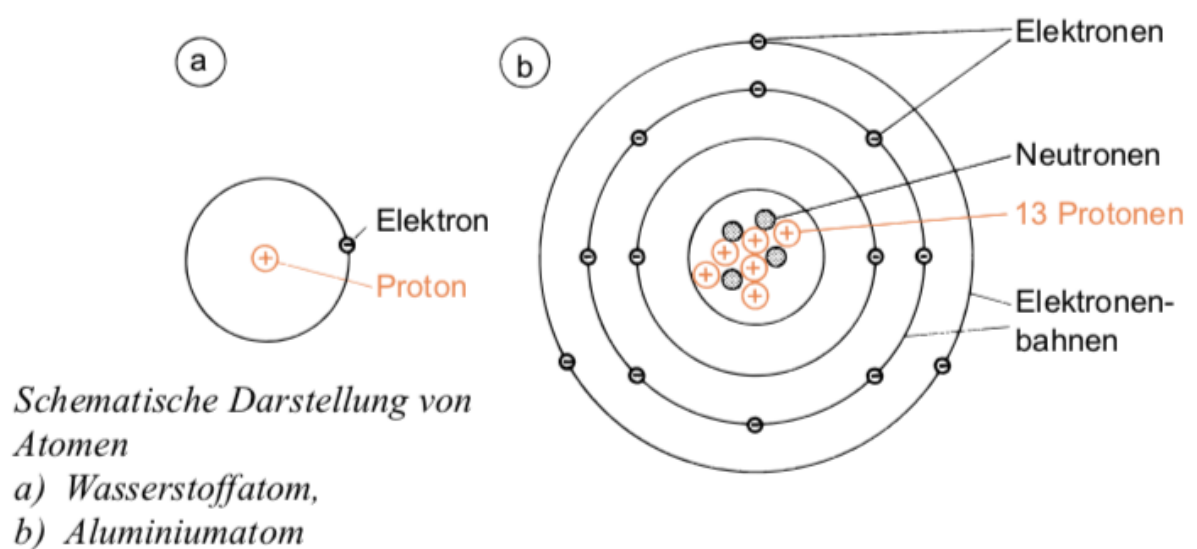


Abb 5: Schematische Darstellung von Atomen

Die negative Elementarladung des Elektrons ist genauso groß 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.

Elektrisch neutrale Atome besitzen genauso viele positive wie negative elektrische Ladungen.

Das Aluminiumatom z.B. besitzt 13 Elektronen und daher auch 13 Protonen. Außer Protonen enthalten Atomkerne auch elektrisch neutrale Teilchen, die sogenannten Neutronen. Protonen und Neutronen bestimmen im Wesentlichen das Gewicht des Atoms.

Alle anderen Atome, man kennt insgesamt über 100, sind ähnlich aufgebaut. Die Verteilung der Elektronen auf den Elektronenbahnen erfolgt nach bestimmten Gesetzen. Dabei ist aber die Zahl der Elektronen immer gleich der Zahl der Protonen.

1.2.2 Ionen

Entnimmt man einem Atom Elektronen, so besitzt das Atom mehr positive Ladungen als negative. Das Atom, das 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, griechisch).

Positiv oder negativ geladene Atome oder Atomverbände heißen Ionen.

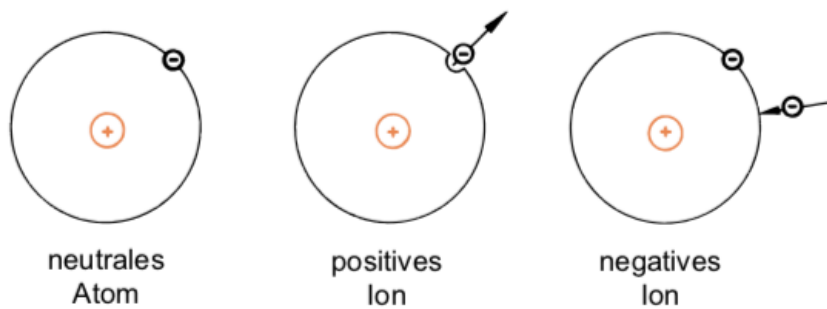


Abb 6: Schema der Ionenbindung

Zusammenfassend lässt sich noch sagen:

Elektronenüberschuss ergibt negative Ladung,
Elektronenmangel ergibt positive Ladung.

1.3 Exkurs: Magnetismus

In Chile, Schweden und Kleinasien gibt es ein Eisenerz, das Eisenteilchen anzieht. Bei den alten Griechen wurde dieses Gestein nach der Stadt *Magnesia* als magnetischer Stein bezeichnet.

Gegenstände, die Eisen anziehen können, heißen magnetisch.

Neben diesem natürlichen magnetischen Gestein gibt es künstliche Magnete, die meist aus Stahl oder Legierungen von Eisen, Nickel und Aluminium hergestellt sind. Eine weitere Art der künstlichen Magnete sind die Elektromagnete.

Die magnetische Grunderscheinungen

Ein Magnet zieht mit seinen Enden **Eisen, Nickel und Kobalt** an. Diese Stoffe heißen *ferromagnetische* Stoffe.

Die Stellen mit der höchsten Anziehung befinden sich an den Enden und heißen *Pole* des Magneten.

In der Mitte ist die Anziehungskraft am geringsten. Dieses Gebiet heißt indifferente Zone.

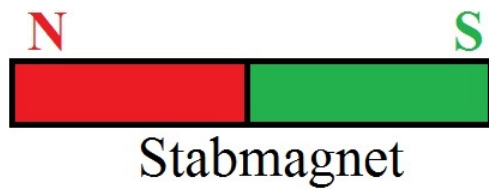
Ist ein Magnet um eine vertikale Achse frei drehbar, so stellt er sich in die Nord-Süd-Richtung ein.

Ein Pol zeigt annähernd zum geografischen Nordpol, der andere annähernd zum geografischen Südpol.

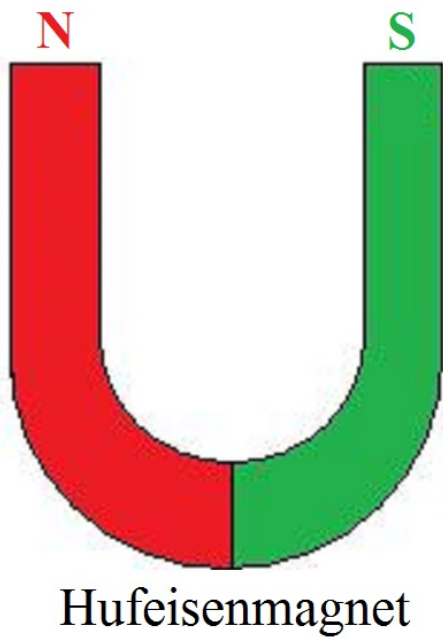
Magnetische Grundgesetze:

- Magnete üben anziehende Kräfte (nur) auf ferromagnetische Stoffe aus.
- Jeder Magnet hat einen Nordpol und einen Südpol.
- Gleichnamige Pole (Nord – Nord; Süd – Süd) stoßen einander ab, ungleichnamige Pole (Nord – Süd) ziehen sich an.
- Frei drehbare Magnete stellen sich in die Nord-Süd-Richtung ein.

Häufige Magnetformen



Der Nordpol(N) wird in rot markiert, der Südpol (S) wird in grün markiert.



Quelle: Bilder stammen von

<https://www.gut-erklaert.de/physik/magnete-magnetismus-einfach-erklaert.html>

Die magnetische Influenz

Nähert man einem Magnetpol ein unmagnetisiertes Eisenstück, wie zum Beispiel einen Nagel, so wird das dem Magnetpol zugewandte Ende des Eisenstücks ungleichnamig, das andere Ende gleichnamig magnetisiert. Man nennt diese Erscheinung magnetische Influenz.


Mithilfe der magnetischen Influenz lassen sich künstliche Magnete herstellen. Während dieses Magnetisierungsvorgangs streicht man mit einem starken Magnetpol entlang eines ferromagnetischen Stoffes in einer Richtung.

Das Elementarmagnetmodell

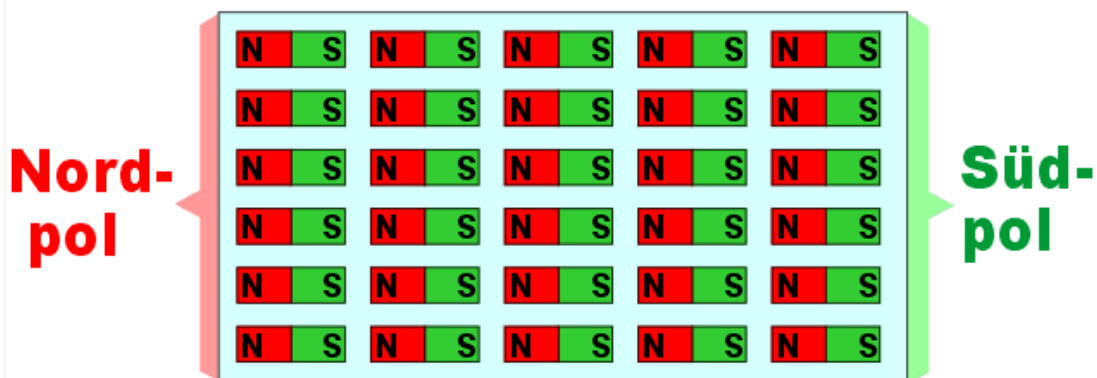
Nur aus ferromagnetischen Stoffen kann man Magnete herstellen. Diesen Vorgang nennt man Magnetisieren. Eine Modellvorstellung, das Elementarmagnetmodell, hilft, diesen Vorgang zu verstehen.

Alle ferromagnetischen Stoffe kann man sich aus Elementarmagneten aufgebaut denken. Elementarmagneten sind in der Modellvorstellung kleinste Magneten.

Eine Magnetwirkung nach außen hin tritt nur dann auf, wenn die Elementarmagneten geordnet sind, da sich sonst die Wirkungen der Elementarmagnete nach außen hin aufheben.

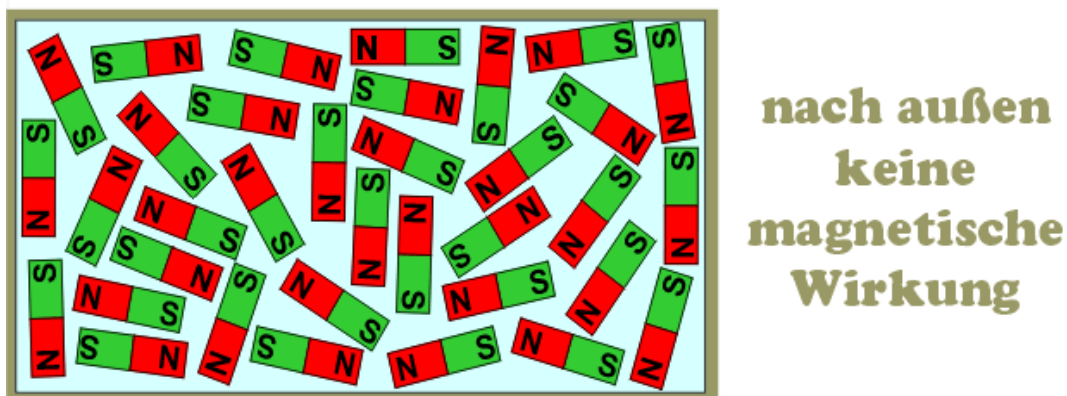
 beim Elementarmagnetmodell denkt man sich alle magnetisierbaren Materialien aus unvorstellbar vielen, unvorstellbar kleinen Elementarmagneten zusammengesetzt. Diese kleinsten Magnete lassen sich nicht weiter zerlegen.

a) der magnetische Zustand:



Beim magnetischen Zustand liegen die Elementarmagnete in geordneter Form vor.

b) der unmagnetische Zustand:



Liegen die Elementarmagnete in ungeordneter Form vor, so ist der Gegenstand unmagnetisch.

Quelle: <https://www.zum.de/dwu/depot/pma002f.gif>

Die Elementarmagnete lassen sich nur mithilfe eines anderen Magneten ausrichten. Wie lange die Elementarmagnete ausgerichtet bleiben, hängt von den Stoffeigenschaften ab. Bei weichem Eisen tritt dabei nur eine zeitlich begrenzte, so genannte temporäre

Magnetisierung auf. Bei Körpern aus Stahl führt die magnetische Influenz zu einer dauerhaften Magnetisierung. Es entstehen Permanentmagnete.

Die Stärke eines Magneten kann über eine feste vorhandene Grenze hinaus nicht gesteigert werden. Diese Grenze ist erreicht, wenn alle Elementarmagnete ausgerichtet sind. Man spricht von einer Sättigung des Magneten.

Das magnetische Feld

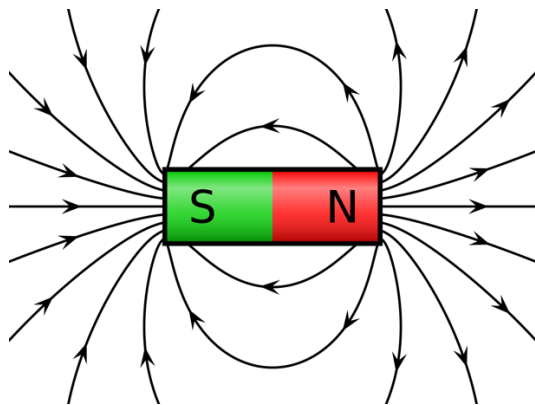
Einen Raum, in dem magnetische Wirkungen nachweisbar sind, nennt man magnetisches Feld.

Magnetische Wirkungen sind nur im Bereich des magnetischen Feldes feststellbar. Sie sind auch durch den luftleeren Raum hindurch wirksam.

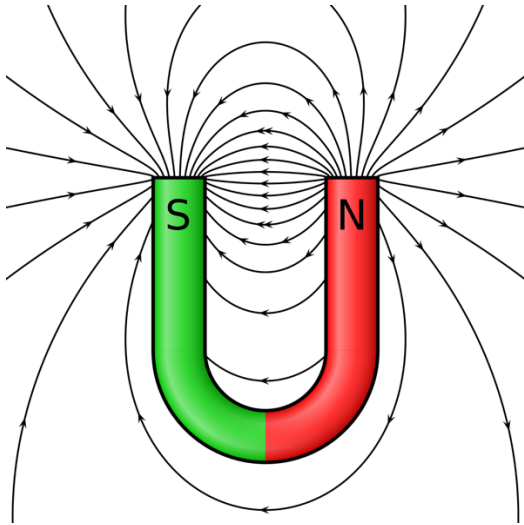
Mit Feldlinien kann man für jeden Punkt eines magnetischen Feldes die Richtung der magnetischen Kraft darstellen.

Die Richtung der Feldlinien entspricht der Richtung, in der sich ein Probennordpol bewegen würde. Sie verlaufen von Nord nach Süd.

Feldlinien eines Stabmagneten



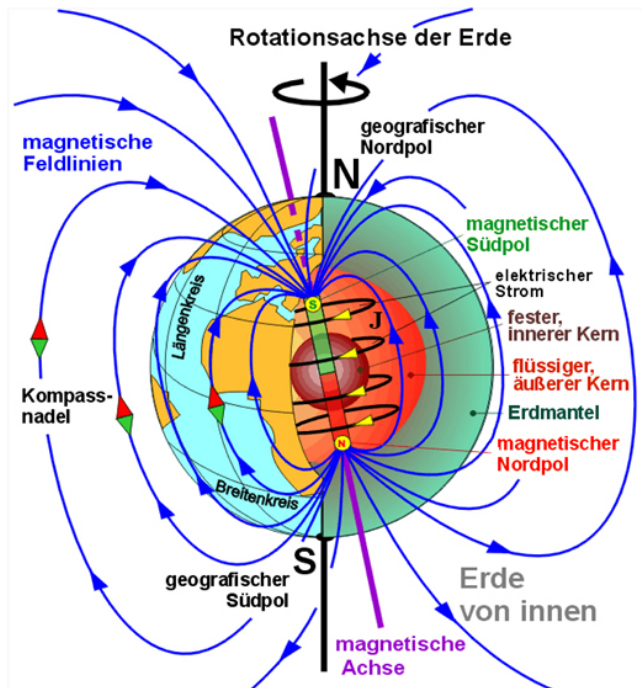
Feldlinienbild eines Hufeisenmagneten



Den Hufeisenmagneten zeichnet insbesondere das stark konzentrierte Magnetfeld zwischen seinen Schenkeln aus. Abseits der beiden Pole fällt das Magnetfeld schnell ab. Ein Hufeisenmagnet ist im Prinzip ein gebogener Stabmagnet.

Der Erdmagnetismus

Auch unsere Erde ist ein Magnet und daher von einem Magnetfeld umgeben. Man geht davon aus, dass es vielen Tieren zur Orientierung dient.



Quelle: http://sine.ni.com/cms/images/casestudies/ger_lv_erdmagnet_fig01.jpg?size

Brieftauben fliegen im Regelfall zielsicher in Richtung ihres Taubenschlages. Experimente zeigten, dass bei einer künstlichen Störung des Erdmagnetfeldes - in dem man ein anderes Magnetfeld überlagert – die Tauben in eine andere Richtung flogen

Zudem konnte man nachweisen, dass **Haie** und **Wale** ferromagnetische Substanzen in ihren Organen haben und ebenfalls das Magnetfeld der Erde zur Orientierung nutzen.

Beachten Sie, dass der magnetische Nordpol in der Nähe des geografischen Südpols, der magnetische Südpol in der Nähe des geografischen Nordpols liegt.

1. Experiment

Die Euromünzen werden mit einem Permanentmagneten berührt. Welche Münzen werden angezogen, welche nicht?



Falls Sie keinen Permanentmagneten daheim haben, z.B. am Kühlschrank, recherchieren Sie im Internet nach einer Begründung dafür!

2. Experiment

An welchen Gegenständen hält ein Dauermagnet?

Kreuzen Sie an:

- ☐ Karosserie eines Kfz
- ☐ Fahrradspeiche
- ☐ Eisenplatte
- ☐ Bleistift
- ☐ Aluminiumfelge eines Kfz
- ☐ Glasfenster
- ☐ Fahrradrahmen
- ☐ Holzlatte
- ☐ Marmorsims
- ☐ Plastikgießkanne

2 Elektrischer Strom

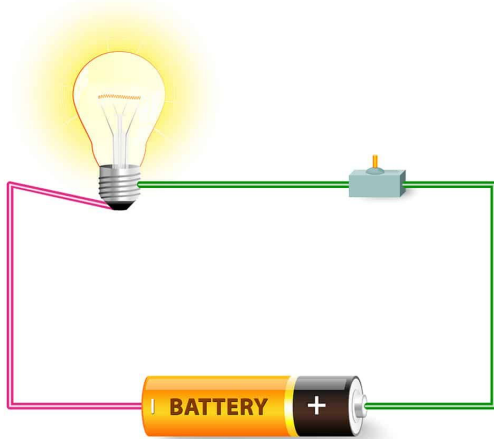
Wenn nach einem Blitzeinschlag in einem Stadtgebiet alle Lichter erlöschen und Elektrogeräte ausfallen, dann wird uns dadurch sowohl die Urgewalt der Elektrizität, aber gleichzeitig auch unsere große Abhängigkeit von ihr deutlich.

2.1 Einfacher elektrischer Stromkreis

Elektrischer Strom kann nur dann fließen, wenn der Stromkreis über eine Stromquelle durch elektrische Leitungen geschlossen ist.

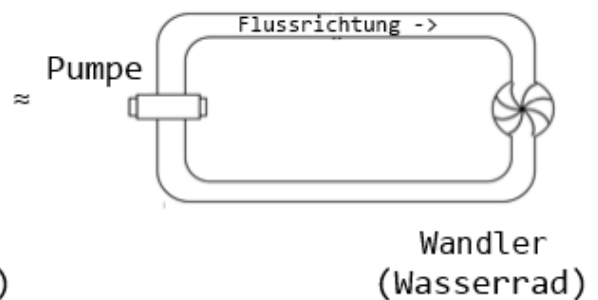
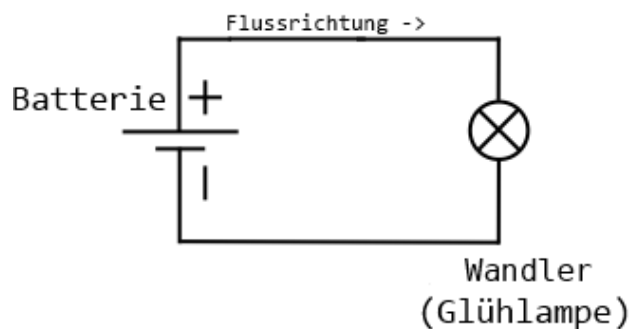
Schaubild eines einfachen Stromkreises

SIMPLE ELECTRIC CIRCUIT



Wird ein Stromkreis ohne Verbraucher geschlossen, so entsteht ein Kurzschluss.

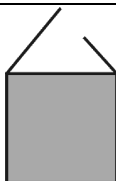

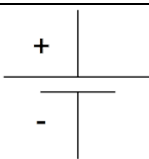
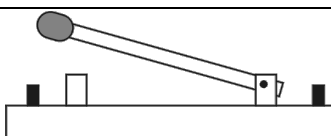
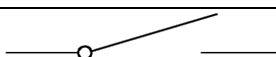
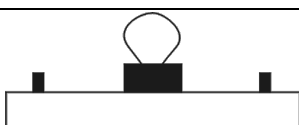
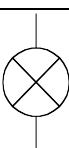
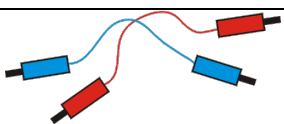

Vergleich zu einem Wasserkreislauf



Der elektrische Strom: Der in einem Leiter fließende Strom besteht aus Elektronen, die sich mit relativ kleiner Geschwindigkeit (wenige Zentimeter pro Sekunde) fortbewegen. Im Leiter müssen sich Ladungen bewegen können.

Schaltzeichen:

Das bildhafte Zeichnen der einzelnen Bestandteile ist umständlich: deshalb werden die Bilder durch **Schaltzeichen** ersetzt:

Zeichnung	Bezeichnung	Schaltzeichen
	Batterie 	
	Schalter	
	Glühlampe	
	Verbindungsleitungen	

Quelle: http://chimie.lgk.lu/8ST_prof/cours/05strom/strkreis/strkreis.htm

2.2 Leiter und Nichtleiter

Metalle, Kohle und geschmolzene Salze leiten den elektrischen Strom, sie sind Leiter. Glas, Porzellan, Gummi, Paraffin („Kerzenwachs“), Wolle, Bernstein und reine Seide sind Nichtleiter oder Isolatoren.

Flüssigkeiten können Leiter und Nichtleiter sein. Zum Beispiel sind wässrige Lösungen von Säuren, Salzen und Basen Leiter. Destilliertes Wasser hingegen leitet den Strom nicht, es ist ein Nichtleiter, wie auch Öle.

Gase im Normalzustand sind Nichtleiter. Bei niedrigem Druck können sie aber zu Leitern werden (Neonröhre).

Der menschliche Körper ist ein schlechter Leiter. Ob der Mensch den Strom besser oder schlechter leitet, hängt von vielen Faktoren ab. Die Höhe der Spannung ist ein wesentlicher Faktor. Je höher die Spannung, umso gefährlicher ist sie für den menschlichen Körper.

Generell gilt: Wechselstrom ist deutlich gefährlicher als Gleichstrom, etwa um das Vier- bis Fünffache. Besondere Gefahr besteht, wenn der Strom über den menschlichen Körper zur Erde abfließt. Es kann hierbei zu einem Erdschluss mit Todesfolge kommen.

Die Grundlage für die heutige Elektronik sind Festkörper, wie Silicium, Germanium und Selen, die sich in ihrem Leitungsmechanismus anders verhalten als Metalle. Man nennt sie **Halbleiter**. Halbleiter besitzen bei 0 Kelvin (-273 °C) keine freien Elektronen und sind bei dieser Temperatur **Isolatoren**.

Bei höheren Temperaturen erhalten sie eine gewisse Leitfähigkeit. Der Widerstand eines Halbleitermaterials nimmt bei Temperaturerhöhung ab. In der Technik werden Halbleiter als Heißleiter (Thermistoren) bzw. als NTC-Widerstände verwendet.

2.3 Die Stromrichtung

In der Technik wurde die Richtung des Stromes so festgelegt, dass der Strom vom positiven Pol durch den Leiter zum negativen Pol fließt. Man hatte bei der Festlegung die Elektronen noch nicht gekannt.

In einem geschlossenen Stromkreis bewegen sich die Elektronen vom negativen zum positiven Pol. Man nennt diese Stromrichtung die physikalische Stromrichtung.

Technische Stromrichtung:	von	+	nach	-
Physikalische Stromrichtung:	von	-	nach	+

2.4 Die Stromstärke I und die Spannung U

Ein elektrischer Strom tritt auf, wenn sich elektrische Ladungen bewegen. Die elektrische Stromstärke ist ein Maß dafür, welche Menge an elektrischer Ladung in einer bestimmten Zeit durch einen Körper – bspw. Kupferdraht – fließt.

Die Einheit der elektrischen Stromstärke ist 1 Ampere (=1 A).

Häufige Untereinheit

$0,001\text{ A} = 1\text{ mA}$ (Milliampere)

Die elektrische Stromstärke ist der Quotient aus der Ladungsmenge (Ladung) Q und der Zeitspanne t in der Q fließt.

Formel:

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{Ladungsmenge}}{\text{Zeit}} \quad \text{oder in Kurzform:} \quad I = \frac{Q}{t}$$

Für die Ladungsmenge hat man die Einheit 1 Coulomb (Kurzzeichen: C) festgelegt. Sie ist ein ganzzahliges Vielfaches der Elementarladung $e = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ C}$, es gilt also

$$Q = n \cdot e.$$

Ein elektrischer Strom fließt nicht von selbst, sondern benötigt eine elektrische Spannung als Ursache. Sie wissen selbst: ist die Batterie in Ihrer Fernbedienung leer, funktioniert sie nicht mehr, Sie müssen die Batterien ersetzen. Elektrische Spannung wiederum ist das Ergebnis einer Ladungstrennung, beispielsweise einer Erhöhung der Konzentration an Elektronen an einer Stelle gegenüber einer anderen Stelle.

Beispiel Akkumulator

Die gerade diskutierte Gleichung kann man auch nach der Ladungsmenge Q auflösen:

$$Q = I \cdot t$$

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

$$1 \text{ Coulomb} = 1 \text{ Amperesekunde} \text{ bzw. } 1 \text{ C} = 1 \text{ As.}$$

Die Kapazität eines Akkus wie er in ihrem Smartphone verbaut ist, wird von vielen Herstellern beispielsweise so angegeben:

Akkukapazität: 4000 mAh (Samsung Galaxy S20).

Also in Milliamperestunden. Das macht auch Sinn, denn durch ein Smartphone fließt kein hoher Strom, deswegen mA anstatt A. Wie Sie aus Erfahrung wissen, hält ein im Smartphone verbauter Akku in aller Regel 12-16 Stunden. Würde er wie bei alten NOKIA-Handys tagelang halten, dann wäre eine andere Angabe bspw. in mAd (Milliampere Tagen) sinnvoller.

In jedem Fall gilt: je höher dieser Wert im mAh ist, umso länger hält ihr Akku unter der Prämisse, dass Sie ihr Nutzungsverhalten nicht ändern.

Sie können einen Akku – im Gegensatz zu einer Batterie - mehrfach aufladen. Bei Smartphones können Sie davon ausgehen, dass ein Akku 400-500 Mal geladen – und entladen - werden kann, bis er als verbraucht gilt. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von **Ladezyklen**. APPLE gibt beispielsweise an., dass nach etwa 500 Ladezyklen der Akku noch **80 Prozent** der ursprünglichen Kapazität hat und damit als verbraucht gilt!

Ein Akkumulator ist also eine wieder aufladbare Batterie, d.h. ein Energiespeicher, der nach dem Entladen wieder elektrisch regeneriert werden kann. Die Energie in einem Akku wird in elektrochemischer Form gespeichert.

Lithium-Ionen-Akkus sind heute Standard für viele relativ viel Energie benötigende mobile Geräte wie Notebooks, Mobiltelefone und Digitalkameras.

2.5 Wirkung des elektrischen Stroms

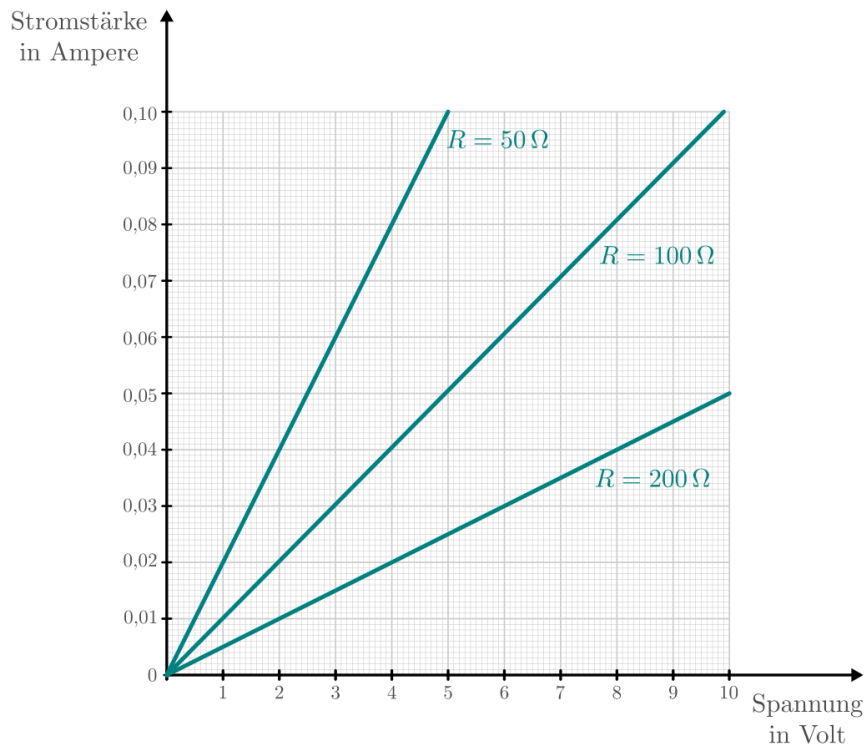
Bei Stromdurchgang tritt bei elektrischen Leitern eine Erwärmung auf. Die Wärmewirkung ist unabhängig von der Stromrichtung.

Die durch Elektrizität erzeugte Wärmeenergie kann an die Umgebung abgegeben werden. Ein einfaches Beispiel für die Wärmewirkung des elektrischen Stroms ist ein Glühdraht wie man ihn beim Toaster sehen kann. Genützt wird die Wärmewirkung bzw. bei elektrischen Koch- und Heizgeräten.

Neben der Wärmewirkung hat die Elektrizität ihre durch Edison berühmt gewordene Leuchtwirkung.

2.6 Gesetze des elektrischen Stromkreises

Der Physiker Georg Simon Ohm untersuchte im Jahre 1827 die Abhängigkeit der Stromstärke von der Spannung in einem Leiterstück. Er fand heraus, dass die Spannung U zwischen den Enden eines Leiters und die Stromstärke I im Leiter zueinander proportional sind.



Ohmsches Gesetz: U ist I proportional – die Kurve ist eine Ursprungsgerade!

Das Ohm'sche Gesetz hat nur bei konstanter Temperatur Gültigkeit.

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

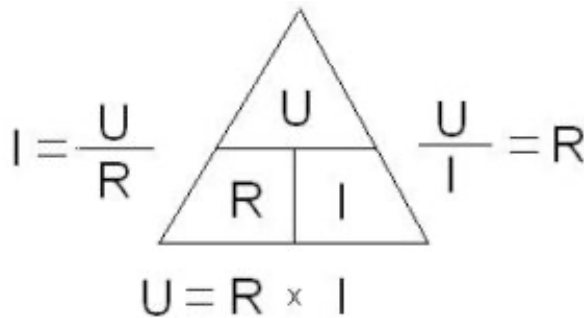
Den Quotienten aus Spannung U und Stromstärke I nennt man elektrischen Widerstand R, er wird auch als Ohm'scher Widerstand bezeichnet.

Die Einheit des elektrischen Widerstands ist 1 Ohm (1Ω)

$$1 \Omega = 1 \frac{V}{A}$$

Der elektrische Widerstand R eines metallischen Leiters ist nur bei unveränderter Temperatur konstant. Mit der Temperatur verändert sich der Widerstand.

Bekannte Hilfe zur Umstellung des ohmschen Gesetzes (URI-Pyramide): Decken Sie mit dem Finger einfach die Größe zu, die Sie wissen möchten und sie haben die passende Formel gefunden!



Spannung und die Stromstärke steigen bei Temperaturerhöhung nicht im gleichen Verhältnis. Die Stromstärke erhöht sich langsamer als die Spannung. Dies hat zur Folge, dass der Widerstand von festen Leitern mit steigender Temperatur wächst. Bei flüssigen Leitern nimmt der Widerstand mit steigender Temperatur ab.

Spezifischer Widerstand

Der Widerstand R ist bei verschiedenen Metallen unterschiedlich. Zum Beispiel hat Eisen einen höheren Widerstand als Kupfer. Somit leitet Kupfer besser als Eisen.

Ein Draht mit der Querschnittsfläche A und der Länge l besitzt den Widerstand

$$R = \varrho \cdot \frac{l}{A}$$

Der spezifische Widerstand ϱ eines Leiters ist eine Materialkonstante.

Die Einheit des spezifischen Widerstandes ist: $1 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$

Der spezifische Widerstand ist von der momentanen Temperatur des Leiters abhängig.

Übung

- a) Nennen Sie alle Elemente, aus denen ein einfacher Stromkreis besteht.
- b) Auch hier handelt es sich um elektrische Stromkreise
- Fahrradbeleuchtung
 - Solar-Taschenrechner
 - PC

Erkennen Sie die Elemente? Ergänzen Sie die folgende Tabelle

Gerät	Stromquelle	Verbraucher	Stromleitungen	Ein-/Ausschalter
Fahrrad- beleuchtung				
Solar- Taschenrechner				
Personal Computer				

Reihen- und Parallelschaltung und Widerständen

Wenn Sie mehr als einen Verbraucher haben, dann können Sie diese entweder hintereinander oder parallel zueinander schalten. Eine Lichterkette ist das klassische Beispiel für eine Reihenschaltung von Verbrauchern (Lampen).

Reihenschaltung

Für die in Reihe geschalteten Widerstände R_1 und R_2 gilt:

- Die Teilspannungen U_1 und U_2 addieren sich zur Gesamtspannung $U = U_1 + U_2$.
- R_1 und R_2 werden vom gleichen Strom I durchflossen

Wegen $I = \frac{U_1}{R_1}$ und $I = \frac{U_2}{R_2}$ folgt

$$\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} \Leftrightarrow \frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2} \text{ (Spannungsteilerformel)}$$

- Für den Gesamtwiderstand gilt: $R = \frac{U}{I} = \frac{U_1}{I} + \frac{U_2}{I} = R_1 + R_2$

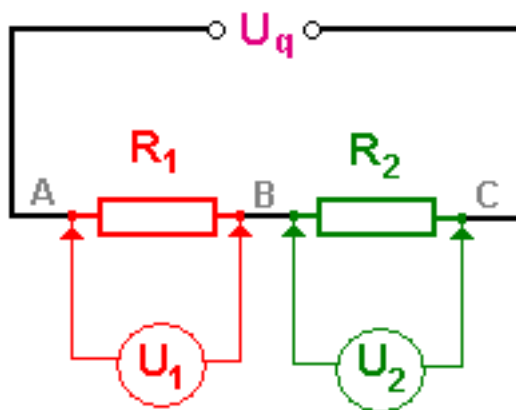


Abb X. Reihenschaltung von Widerständen

Beispiel zur Reihenschaltung von Widerständen:

Die Widerstände $R_1 = 2,4 \text{ k}\Omega$ und $R_2 = 800 \Omega$ sind in Reihe geschaltet und liegen an der Spannung $U = 16 \text{ V}$. Ich berechne der Reihe nach Folgende Größen:

- Ersatzwiderstand R
- Strom (= Gesamtstrom)
- Teilspannungen U_1 und U_2

Der Ersatzwiderstand R ist einfach die Summe der Widerstände:

$$R = 2400 \Omega + 800 \Omega = 3200 \Omega.$$

Der Strom ist gemäß dem Ohm'schen Gesetz:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{16 \text{ V}}{3200 \Omega} = 0,005 \text{ A} = 5 \text{ mA}$$

Die Teilspannungen lassen sich nun entweder über die oben angegebenen Spannungsteilerformel oder über das Ohm'sche Gesetz ermitteln.

Ich zeige Ihnen hier, wie Sie das Problem mithilfe der Spannungsteilerformel lösen:

$$\frac{U_1}{U} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \Rightarrow U_1 = U \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 16 \text{ V} \cdot \frac{2,4 \text{ k}\Omega}{3,2 \text{ k}\Omega} = 12 \text{ V}$$

Die Spannung U_2 ist dann einfach die Differenz zwischen U und U_1 .

Sie erhalten: $U_2 = 16 \text{ V} - 12 \text{ V} = 4 \text{ V}$.

Hinweis: Die Spannungsteilerformel ist letztlich nichts anderes als ein Dreisatz!

Parallelschaltung

Alle Steckdosen daheim bei Ihnen in der Wohnung hängen an derselben Sicherung. Auch die Geräte, die an einer Mehrfachsteckdose hängen, sind alle **parallelgeschaltet**. Wie Sie sich denken können, bestimmt die Summe der Ströme, die diese Geräte ziehen, den Gesamtstrom durch die Sicherung. Wenn Sie zu viele Geräte gleichzeitig angeschlossen haben, kann es passieren, dass die Sicherung rausfliegt.

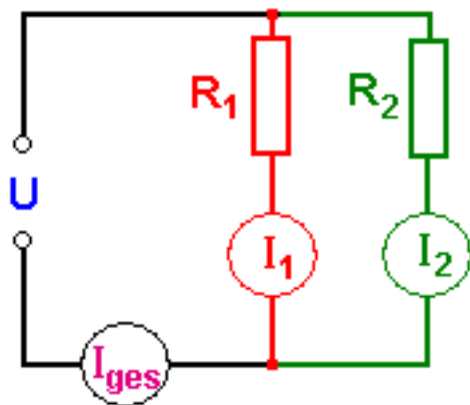
Für die parallel geschalteten Widerstände R_1 und R_2 gilt:

- Die Teilströme I_1 und I_2 addieren sich zum Gesamtstrom $I = I_1 + I_2$.
- R_1 und R_2 liegen an der gleichen Spannung U .

Wegen $U = R_1 \cdot I_1$ und $U = R_2 \cdot I_2$ folgt

$$R_1 \cdot I_1 = R_2 \cdot I_2 \text{ (Stromteilerformel)}$$

- Für den Gesamtwiderstand gilt: $\frac{1}{R} = \frac{I}{U} = \frac{I_1}{U} + \frac{I_2}{U} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Leftrightarrow R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$



Quelle: Abbildungen von
https://www.schule-bw.de/faecher-und-schularten/mathematisch-naturwissenschaftliche-faecher/physik/unterrichtsmaterialien/e_lehre_1/elektrizitaetsuebertragung

Beispiel zur Parallelschaltung:

Die Widerstände $R_1 = 250 \, \Omega$ und $R_2 = 350 \, \Omega$ sind parallel geschaltet und liegen an der Spannung $U = 35 \, \text{V}$.

Ich berechne der Reihe nach Folgende Größen:

- Teilströme I_1 und I_2
- Gesamtstrom I
- Ersatzwiderstand R

Auch hier gibt es wieder mehrere Möglichkeiten ans Ziel zu kommen. Ich halte mich mal an die Vorgaben und berechne die gesuchten Größen, der Reihe nach, wie hier vorgegeben.

An einer Parallelschaltung „sieht“ jeder Widerstand die gleiche Spannung U .

$$\text{Also gilt: } I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{35 \, \text{V}}{250 \, \Omega} = 0,14 \, \text{A}.$$

Nun wähle ich die Stromteilerformel aus, um I_2 zu ermitteln:

$$R_2 \cdot I_2 = R_1 \cdot I_1 \Rightarrow I_2 = \frac{R_1 \cdot I_1}{R_2} = \frac{250 \cdot 0,14}{350} \, \text{A} = 0,1 \, \text{A}.$$

Also beträgt der Gesamtstrom: 0,24 A.

Zuletzt ist noch den Ersatz- oder Gesamtwiderstand R zu berechnen:

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{250 \cdot 350}{250 + 350} \Omega = 145,83 \Omega.$$

Fertig!

Hinweis: Auch die Stromteilerformel ist ein Dreisatz. Allerdings ein antiproportionaler Dreisatz.

3 Elektrische Arbeit und Leistung

Elektrischer Strom hat Energie und verrichtet Arbeit: Er bringt Maschinen zum Laufen, kann Wärme erzeugen (Elektroheizung) oder unsere Lebensmittel kühlen (Gefriertruhe, Kühlschrank).

Stellen Sie sich vor, Sie lebten vor 150 Jahren. Dann könnten Sie von Ihrem Grundversorger noch keine Energie in Form von elektrischem Strom beziehen. Er könnte Ihnen aber zum Beispiel Kohle verkaufen, damit Sie damit daheim heizen können. Und da sind wir schon beim Punkt: Sie bezahlen für die Kohle, Kohle hat Energie. Steinkohle hat z.B. einen Heizwert von 8,5 kWh/kg.

Heute bezahlen Sie eben den elektrischen Strom. Ihren „Verkäufer“ interessiert es nicht, wie schnell Sie etwas verbrauchen oder wie energiehungrig ihre Geräte daheim sind. Deswegen bezahlen Sie nur die **elektrische Arbeit** und diese wird in Kilowattstunden (kWh) abgerechnet. Am besten denken Sie hier an ein Notebook: Am Anfang ist der Akku leer, dann laden Sie es auf 100 %. Hierfür bezahlen Sie. Wie schnell Sie nun die Energie verbrauchen, ist ihr Problem.

Die elektrische Arbeit gibt an, wie viel elektrische Energie in andere Energieformen umgewandelt wird.

Ihr Formelzeichen ist W (vom Englischen work = Arbeit)
– manchmal auch E (vom Englischen engl. energy = Energie).

Hier die Gleichung für die elektrische Arbeit:

$$W_{el} = P \cdot t$$

Hier steht: Die elektrische Arbeit ist **Leistung** mal **Zeit**. Aber was ist nun die Leistung P genau?

Nun, die **elektrische Leistung** gibt an, wie viel **elektrische Arbeit** der elektrische Strom in **jeder Sekunde** verrichtet bzw. wie viel elektrische Energie in anderen Energieformen – wie z.B. Leuchtkraft – umgewandelt wird. So leuchtet bspw. eine 60-Watt-Glühlampe heller, als eine 40-Watt-Glühlampe. Dafür braucht sie aber auch mehr elektrischen Strom, mehr Energie pro Zeiteinheit, was sich letztlich auf die Energiekosten auswirkt.

Jedenfalls können Sie die **Leistung P** über folgende Formel berechnen:

$$P = U \cdot I$$

Nun das kennen Sie schon! Ich meine die rechte Seite der Gleichung. Die Spannung in Volt wird mit der elektrischen Stromstärke in Ampere multipliziert. Welche Einheit hat also die elektrische Leistung?

Richtig! 1 Volt * 1 Ampere = 1 Watt. Die Einheit für die elektrische Leistung ist also Watt, das Formelzeichen P – kommt aus dem Englischen für power.

Hinweis: Sie sollten es vermeiden, bei Gleichstromaufgaben V*A anstatt Watt (W) zu schreiben. Die Einheit V*A hat eine spezielle Bedeutung in der Elektrotechnik und sollte im Zusammenhang mit Gleichstromtechnik nicht verwendet werden!

Jetzt da Sie die Formel für die elektrische Leistung kennen, können sie diese in die Formel für die elektrische Arbeit einsetzen.

Sie erhalten eine andere Formel für die elektrische Arbeit:

$$W_{el} = U \cdot I \cdot t$$

Einheit: 1 Joule = 1 Volt * Ampere * Sekunde = 1 Wattsekunde

$$1\text{J} = 1\text{ V}\cdot\text{A}\cdot\text{s} = 1\text{ Ws}$$

Die Einheit für die elektrische Arbeit ist also das **Joule**. Früher – aber auch noch heute im Ernährungsbereich – wurde auch gerne die Kalorie/Kilokalorie verwendet. Diese Einheit ist Ihnen allen vertraut, oder?

Was ist für die IHK-Prüfung wichtig? Richtig, Sie müssen rechnen können und mit Formel umgehen können. Auch wenn Sie meist die Formeln bekommen, umstellen müssen Sie sie können.

Deswegen zeige ich Ihnen hier kurz, wie Sie andere Formeln für die elektrische Arbeit herleiten können, falls Sie bspw. die Spannung U oder die Stromstärke nicht kennen, aber den elektrischen Widerstand des Verbrauchers.

Falls Sie die Spannung U in der Formel

$$W_{el} = U \cdot I \cdot t$$

nicht kennen sollten, dann gibt es Abhilfe. Mithilfe des Ohm'schen Gesetzes $U = R \cdot I$ ergibt sich eine weitere Formel zur Berechnung der elektrischen Arbeit:

$$W_{el} = I^2 \cdot R \cdot t$$

Falls Sie hingegen die elektrische Stromstärke in der Formel

$$W_{el} = U \cdot I \cdot t$$

nicht kennen sollten dann können Sie das ohm'sche Gesetz nach der Stromstärke auflösen

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

und dann in die Gleichung für die elektrische Arbeit einsetzen:

$$W_{el} = U \cdot I \cdot t = U \cdot \frac{U}{R} \cdot t = \frac{U^2}{R} \cdot t$$

Ganz analog können Sie vorgehen, wenn es um die elektrische Leistung geht.

Beispiel:

Für eine Kilowattstunde Strom bezahlt man in Leinfelden-Echterdingen 0,30 €.

Ein Fernsehgerät nimmt eine Leistung von 145 W auf. Wie hoch sind die monatlichen Energiekosten dafür, ich Sie täglich im Schnitt 2 Stunden fernsehen?

Bei Fragen zu Energiekosten, berechnen Sie immer zunächst die elektrische Arbeit.

Formel: $W_{el} = P \cdot t = 145 \text{ W} \cdot 2 \text{ h} \cdot 30 = 8.700 \text{ Wh}$.

Sie benötigen aber Kilowattstunden. Deswegen müssen Sie jetzt noch durch 1.000 teilen.

Sie erhalten: $W_{el} = 8,7 \text{ kWh}$.

In einem zweiten Schritt ermitteln Sie dann die Energiekosten.

$$\text{Energiekosten} = 0,30 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \cdot 8,7 \text{ kWh} = 2,61 \text{ €}$$

Abschließende noch eine kurze Aufstellung, welche Geräte welche Leistung haben, damit Sie in etwa einschätzen können, wie leistungshungrig manche Geräte/Maschinen sind.

Elektrische Leistung einiger Geräte in Watt:

Fön	1600 Watt
Playstation 4 im Standby	8 Watt
Bügeleisen	2600 Watt
Wasserkocher	2000 Watt
Netzteil (Notebook)	90 Watt
Netzteil (Smartphone)	5 Watt

Wirkungsgrad

Andere Energiearten lassen sich in elektrische Energie umwandeln und diese lässt sich wieder in andere umwandeln. Bei der Energieumwandlung entstehen Verluste, so dass eine Differenz zwischen der aufgewendeten und der erhaltenen Energie auftritt.

Dies gilt sowohl für die Umwandlung in elektrische Energie als auch für die Umwandlung aus elektrischer Energie. Zum Beispiel beträgt die Lichtenergie einer Glühlampe nur noch 5% der von der Lampe aufgenommenen Energie. Der Rest von 95 % wird in Wärmeenergie umgesetzt. Diese Wärmeenergie ist für das Beispiel Beleuchtung ein Verlust.

Der Wirkungsgrad ergibt sich als Quotient aus der abgegebenen und der zugeführten Leistung:

$$\text{Wirkungsgrad} = \frac{\text{abgegebene Leistung}}{\text{zugeführte Leistung}} \quad \eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

4 Messtechnik

Für die Messung von elektrischen Strömen werden die sogenannten Strommessgeräte eingesetzt. Meist sind die dabei verwendeten Geräte für die Messung von Gleich- und Wechselströmen geeignet und fast immer kann man mit ihnen auch Gleich- und Wechselspannungen messen. Bei vielen Geräten ist es zudem möglich Widerstände und noch andere elektrische Größen zu bestimmen. Solche vielseitig einsetzbaren Geräte nennt man auch **Multimeter**.



4.1 Spannung messen mit dem Multimeter

Der Unterschied zwischen Gleichspannung und Wechselspannung muss beim Spannung messen berücksichtigt werden. Bei einfachen Multimetern muss das Gerät vor dem Messvorgang manuell auf das Erfassen der entsprechenden Spannungsart eingestellt werden. Gute Multimeter erkennen Gleich- und Wechselspannung automatisch und justieren sich deshalb selbst.

- **Gleichspannung**, mit der Abkürzung DC (englisch für direct current) wird in der Regel von Batterien erzeugt. Gleichspannung findet man zum Beispiel bei Geräten, die von der Batterie im Auto mit Strom versorgt werden.
- **Wechselspannung**, mit der Abkürzung AC (englisch für alternating current) wird in der Regel von einem Generator erzeugt. Wechselspannung finden man zum Beispiel beim Strom in den Netzsteckdosen der Wohnungen.

Die meisten Verbraucher, die an eine Steckdose angeschlossen werden, benötigen zum Betrieb Gleichstrom. Deshalb sind diese Geräte mit einem sogenannten Gleichrichter ausgestattet, der die Umwandlung von Wechselspannung in Gleichspannung vornimmt. Beispiele sind elektronische Geräte wie Fernseher, Stereoanlagen, Videorekorder und Computer.

4.2 Unterschiedliche Messbereiche

Spannungen treten in verschiedenen Messbereichen auf. Sie können beispielsweise 200 Millivolt oder 20 Volt betragen. Um den korrekten Wert beim Spannung messen mit dem Multimeter ermitteln zu können, muss das Gerät auf den richtigen Messbereich eingestellt sein. Bei einfachen Modellen muss der Bereich mit dem zentralen Auswahlschalter entsprechend manuell festgelegt werden. Multimeter mit Auto-Range-Funktion erkennen den Messbereich automatisch und justieren sich selbst.

Achtung! Der eingestellte Messbereich darf nie kleiner sein als die zu erwartende Spannung. Wenn man mit der Einstellung bis maximal 200 mV eine 20-V-Spannung misst, kann das Gerät Schaden nehmen. Bei der manuellen Einstellung des Messbereichs fangen sie bei unbekannten Messgrößen immer mit dem höchsten Messbereich an und tasten sich in kleinen Schritten nach unten, um das Gerät nicht ausversehen zu überlasten.

4.3 Vorgehen beim Messen von Spannung mit dem Multimeter

Damit Sie mit Ihrem Gerät die korrekte Anzahl an Volt messen können, orientieren Sie sich an folgender Anleitung:

- **Schritt 1: Spannungsart und Messbereich wählen**
Als Erstens muss am Multimeter die korrekte Spannungsart (Volt AC (V~) Wechselstrom oder Volt DC (V=) Gleichstrom) sowie der passende Messbereich (200 mV, 2V, 20 V, 200 V etc.) eingestellt werden. Justieren Sie dazu den zentralen Auswahlschalter, damit die Spitze des Reglers auf die entsprechende Beschriftung am Rand zeigt.
- **Schritt 2: Messleitungen anschließen und Messspitzen anlegen**

Die schwarze Messleitung des – Pols wird mit der COM-Buchse am Gerät verbunden, die rote Messleitung des +Pols wird in die INPUT-Buchse zum Volt messen gesteckt. Nun können die Messspitzen am Messobjekt angelegt werden, wobei sie stets parallel zur Last oder Speisung angelegt werden müssen.

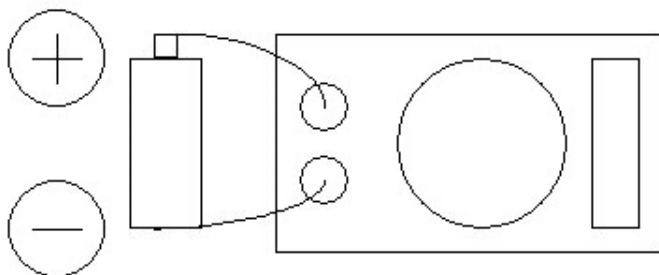
Bei Gleichstrom muss beim Messen der Spannung zudem auf die Polarität (+Pol und -Pol) der Schaltung geachtet werden. Die rote Messleitung auf der positiv gepolten Seite, die schwarze Messleitung auf der negativ gepolten Seite oder der Masse angelegt werden. Werden die Messleitungen vertauscht angelegt, dann zeigt der Multimeter die Spannung mit negativem Vorzeichen an.

▪ Schritt 3: Volt messen

Auf dem Display des Multimeters kann nun die Spannung in Volt direkt abgelesen werden.

Hier noch ein Beispiel:

Abbildung x zeigt, wie bei einer handelsüblichen 1,5 Volt AA Batterie die Spannung mit dem Multimeter gemessen wird.



Der rote Pluspol INPUT Leitung des Messgerätes wird an den +Pol der Batterie angelegt, die schwarze Minuspol COM Leitung des Messgerätes wird an den – Pol der Batterie angelegt. Auf dem Display des Multimeters wird die Spannung in Volt angezeigt. Wenn die Batterie funktionstüchtig und aufgeladen ist, werden die vollen 1,5 Volt angezeigt.

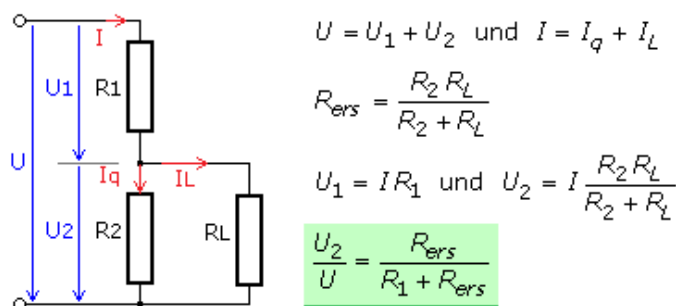
<https://multimetertests.de/spannung-messen/>

5 Ausgewählte Messschaltungen

5.1 Belasteter Spannungsteiler

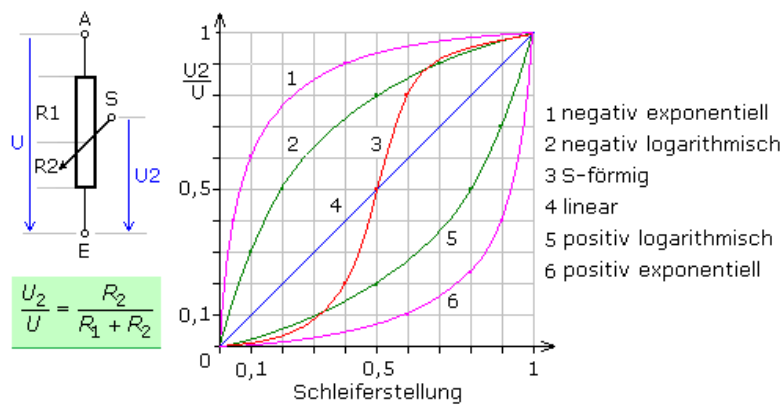
Bei Belastung soll die Spannung U_2 am Teilwiderstand R_2 zur Quellenspannung für eine nachfolgende Schaltung sein. Sie hat den Eingangswiderstand R_1 und liegt parallel zu R_2 . Am Anschlusspunkt teilt sich der Strom auf und durch den Teilwiderstand R_2 gleißt ein geringerer Strom als zuvor. Er wird oft als Querstrom I_q bezeichnet, da er parallel zur Belastung fließt. Die daraus folgende Ausgangsspannung ist kleiner als im unbelasteten Zustand. Die von der Last abhängige Teilspannung U_2 kann errechnet werden, wenn zuvor der Ersatzwiderstand R_{ers} der Parallelschaltung bestimmt wird.

Die Ausgangsspannung eines unbelasteten Spannungsteilers entspricht dem genauen Verhältnis der Teilwiderstände. Die Spannung U_2 sollte vom dazu parallel angeschlossenen Lastwiderstand nur wenig verringert werden. Diese Forderung ist erfüllt, wenn für den Querstrom die Voraussetzung



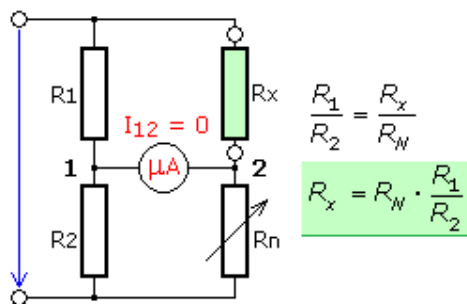
5.2 Potenziometer

Potenziometer sind einstellbare Widerstände und ermöglichen ein variables Teilverhältnis. Auf der gesamten Widerstandsbahn zwischen Anfang und Ende, meistens als Schichtwiderstand oder Widerstandsdrahtwedel ausgeführt, ist als dritter Kontakt S ein beweglicher Schleifer vorhanden. Liegt Spannung an der gesamten Widerstandsbahn an, dann ist zwischen dem Schleifer S und einem der Widerstandsenden A oder E eine einstellbare Teilspannung messbar.



5.3 Wheatstonesche Brückenschaltung

Mit einer Messbrücke nach Wheatstone kann der Wert eines unbekannten ohmschen Widerstands sehr genau bestimmt werden.



Im rechten Zweig ist oben der zu messende unbekannte Widerstand in Reihe mit einem sehr präzisen Drahtpotenziometer mit. Genauer Skala. Er wird verstellt, bis kein Brückenstrom mehr angezeigt wird.

Die Brücke ist abgeglichen, wenn die Brückenpunkte 1 und 2 gleiche Potenziale haben. Das ist für $U_1 = U_2$ der Fall.

6 Übungsaufgaben

Magnetismus

1. Was heißt „Magnete sind Dipole“?

Ohm'sches Gesetz/Reihen- und Parallelschaltung

2. Bei einem Bügeleisen misst man bei Anschluss an 230 V eine Stromstärke von 2,9 A. Welchen Widerstand hat das Bügeleisen?
3. Berechnen Sie die fehlenden Werte

	U	I	R
a)	6,3 V	17,5mA	?
b)	?	3,8 A	1,4 kOhm
c)	230 V	?	15 Ohm

Hinweis: k ist Faktor 1000, m ist Faktor 1/1000

4. Ein Stromkreis besteht aus einer Stromquelle ($U = 230 \text{ V}$) und zwei in Serie geschalteten Verbrauchern mit den Widerständen 25 Ohm und 60 Ohm
 - a. Man berechne den Gesamtwiderstand.
 - b. Welche Teilspannungen treten an den Enden der beiden Verbraucher auf?
 - c. Welche Stromstärke tritt in dem Kreis auf?
5. Die parallel liegenden Widerstände $R_1 = 16 \text{ Ohm}$ und R_2 bilden den Gesamtwiderstand $R = 9,6 \text{ Ohm}$, wobei der Gesamtstrom $I = 0,80 \text{ A}$ beträgt. Berechnen Sie R_2 , U , I_1 und I_2 .
6. Gegeben sind drei gleich große Widerstände $R_1 = R_2 = R_3 = 100 \text{ Ohm}$. Geben Sie hierzu alle möglichen Schaltungen an und berechnen Sie jeweils des Gesamtwiderstand!

Elektrische Arbeit und Leistung

7. Welche Stromstärke nimmt ein Bügeleisen bei 600 W und 230 V auf?
8. Ein Schulungsunternehmen hat 75 PCs in den Schulungsräumen. Wie hoch ist die elektrische Arbeit in (kWh) an einem Tag (8 Stunden), wenn alle PCs benutzt werden und jeder PC eine Leistungsaufnahme von 300 Watt hat?

9. Ein Internetprovider möchte ein kleines Blade-Server-System aufstellen, das eine Leistungsaufnahme von 2.400 Watt hat. Der Anschluss soll mit 10 A bei 230 V abgesichert werden. Ist das ausreichend?
10. Wie hoch kommen die Betriebskosten je Stunde für eine 60-W-Glühlampe, wenn die kWh 0,30 € kostet?
11. An einem Verbraucher liegt die Spannung 50 V, es fließt 5,0 min lang ein Strom von 2,6 A.
- Wie groß ist die Stromarbeit und elektrische Leistung?
 - Man berechne die durch den Verbraucher geflossene elektrische Ladung.
12. Ein Motor gibt die Nutzleistung $P_{\text{nutz}} = 2,94 \text{ kW}$ ab. Zugeführt wird ihm die Leistung $P_{\text{aufg}} = 3,5 \text{ kW}$. Wie groß ist der Wirkungsgrad?

7 Quellen

Falls nicht direkt angegeben, z.B. bei Abbildungen, dann sind hier die weiteren Quellenangaben zu finden.

Kapitel 2: Grundbegriffe der Elektrizität 1 zu 1 aus

Elektrotechnische Grundlagen, Elektronik 1, Heinz Meister, Vogel Fachbuch, 15. Auflage 2012.

Kapitel 3: Elektrischer Strom

Grosses Handbuch Physik – Grundwissen, Formeln und Gesetze, Vollständige Taschenbuch Ausgabe, 2005, Compact Verlag, München.

Kapitel 4: Elektrische Arbeit und Leistung

Grosses Handbuch Physik – Grundwissen, Formeln und Gesetze, Vollständige Taschenbuch Ausgabe, 2005, Compact Verlag, München.

Kapitel 5: Ausgewählte Messschaltungen

Elektronik für Ingenieure

<https://www.elektroniktutor.de/analogtechnik/unterteiler.html>

<https://www.elektroniktutor.de/analogtechnik/bruecke.html>

Kapitel 6: Übungsaufgaben

Prüfungsvorbereitung aktuell, Abschlussprüfung Fachinformatiker
Anwendungsentwicklung, 3. Auflage, Europa Lehrmittel, 2018

Physikaufgaben für technische Berufe, Nücke, Reinhard, Treiber, Verlag Handwerk und Technik, Dortmund, 30. durchgesehene Auflage, 2009

Grosses Handbuch Physik – Grundwissen, Formeln und Gesetze, Vollständige Taschenbuch Ausgabe, 2005, Compact Verlag, München