

3.3 Stromstärke und Ladung

Das Verschieben elektrischer Ladungen nennt man elektrischen Strom. Die Stromstärke ist somit ein Mass für die Anzahl Ladungsträger, die pro Sekunde durch einen Leiter fließen.

Bewegen sich viele Ladungsträger Q innert kurzer Zeit t durch einen Leiter, dann fliesst ein grosser Strom I . Dieser Zusammenhang kann mit folgender Formel beschrieben werden:

Elektrische Stromstärke

$$I = \frac{Q}{t} \quad [I] = \frac{As}{s} = A$$

[I]	elektrische Stromstärke	A
[Q]	elektrische Ladung	As
[t]	Zeit	s

Es gilt: 1 As = 1 C = 1 Coulomb

Die Masseinheit des elektrischen Stromes ist das Ampere. Sie ist nach dem französischen Physiker und Mathematiker *André-Marie Ampère* (1775 - 1836) benannt worden.

Übung

- 1 Ein Lämpchen für eine Taschenlampe führt einen Strom von $I = 250 \text{ mA}$ während einer Zeit von $t = 1 \text{ h}$. Welche Ladung Q in As wird dabei verschoben?

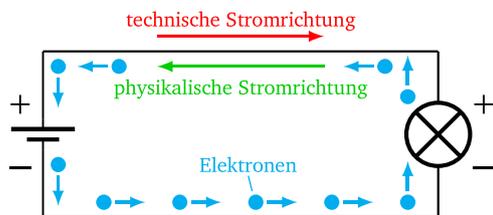
$$Q = I \cdot t = 0.25 \text{ A} \cdot 1 \text{ h} = 0.25 \text{ A} \cdot 3600 \text{ s} = \underline{\underline{900 \text{ As}}}$$

3.3.1 Richtung und Geschwindigkeit des Stromes

Die *technische Stromrichtung* wurde festgelegt, bevor man von der Bewegung der freien Elektronen wusste.

Beim Verbraucher gilt deshalb:

Der Strom fliesst vom Pluspol zum Minuspol.



Heute weiss man aber, dass sich die Elektronen beim Verbraucher eigentlich vom Minus- zum Pluspol bewegen. Man spricht hierbei von der *physikalischen Stromrichtung*.

Beim Einschalten setzen sich alle Ladungsträger praktisch gleichzeitig in Bewegung. Der Impuls pflanzt sich mit nahezu Lichtgeschwindigkeit ($\approx 300\,000 \text{ km/s}$) fort. Dagegen ist die Wandergeschwindigkeit der Ladungsträger mit circa 2 mm/s klein; denn die Ladungsträger müssen sich durch das Atomgitter hindurchzwängen.

Untenstehendes Modell aus Stahlkugeln veranschaulicht den Unterschied zwischen Impuls- und Wandergeschwindigkeit:

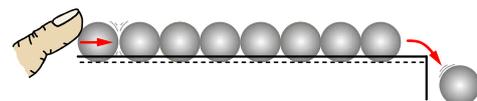


Abb. 22: Impuls- und Wandergeschwindigkeit

Die mittleren Kugeln bewegen sich nur langsam, obschon die letzte Kugel fast augenblicklich runterfällt.

Aufgaben 3.1 bis 3.5

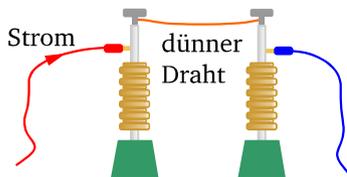
3.4 Wirkungen des elektrischen Stromes

Der elektrische Strom ist unsichtbar \Rightarrow Gefahr! Man erkennt ihn nur an seinen Wirkungen.

Übung

1 Nennen Sie verschiedene Anwendungen zu den untenstehenden Stromwirkungen.

► Wärmewirkung:



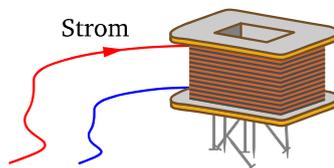
Strom erzeugt Wärme.

Kochherd, Elektroheizung, Bügeleisen,

LötKolben, Schmelzsicherung,

Verluste in Leitungen, Erwärmung Kabelrolle

► Magnetische Wirkung:



Strom erzeugt elektro-magnetische Kräfte.

Elektromagnete, Relais, Schützen,

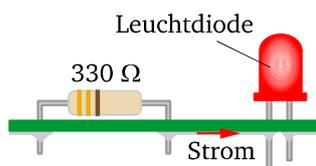
Elektromotoren, Drehspul-Messinstrumente,

Elektrosmog

Stromwirkungen

Wenn Strom fließt treten Wärme und magnetische Wirkung immer auf!

► Lichtwirkung:



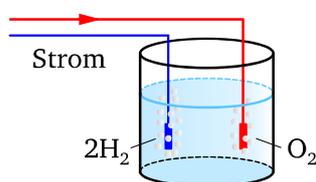
Strom kann Licht erzeugen.

Glimmlampe, Leuchtdiode (LED),

Fluoresenzlampe (FL-Lampe),

Lichtbogen beim Kurzschluss

► Chemische Wirkung:



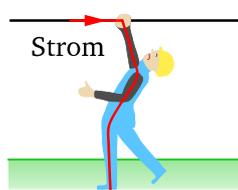
Strom kann chemische Prozesse verursachen.

Elektrolyse, Batterien, Akkumulatoren,

Galvanisieren (Metallüberzüge),

Korrosion (Rostvorgang)

► Physiologische Wirkung:



Strom hat Wirkungen auf die Körper von Lebewesen.

Elektromedizin (Elektroschock,

Herzschrittmacher, etc.),

Elektrounfälle (rot = unerwünschte Wirkungen)

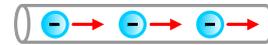
3.5 Stromarten

Grundsätzlich unterscheidet man zwei Stromarten: Gleich- und Wechselstrom.

3.5.1 Gleichstrom

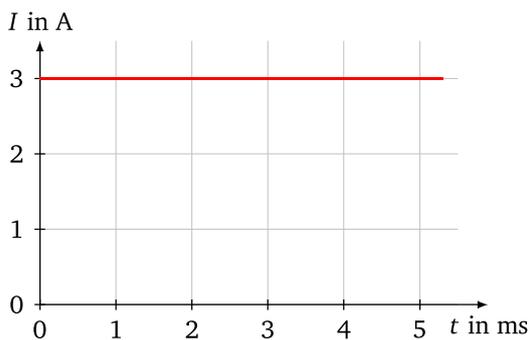
Gleichstrom fließt immer in der gleichen Richtung.

Abkürzung: – oder DC (engl. *direct current*)



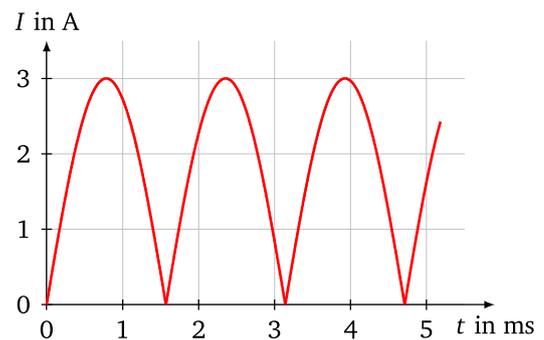
Die Elektronen bewegen sich immer in eine Richtung.

► Konstanter Gleichstrom



Erzeuger:
Batterien, Akkumulatoren, Solarzellen

► Pulsierender Gleichstrom



Erzeuger:
Zweiweg-Gleichrichter, DC-Generator

3.5.2 Wechselstrom

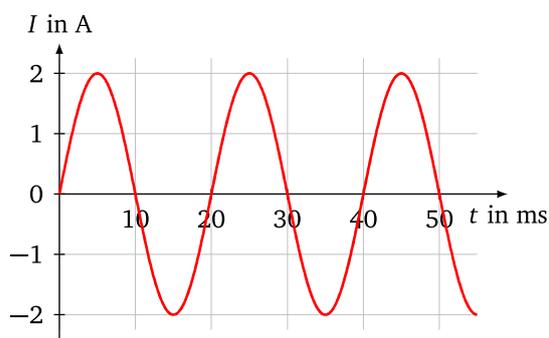
Wechselstrom ändert dauernd die Richtung.

Abkürzung: ~ oder AC (*alternating current*)



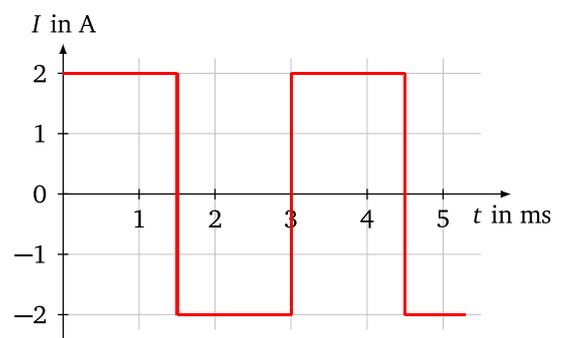
Die Elektronen bewegen sich ständig hin und her.

► Sinusförmiger Wechselstrom



Anwendungen:
Hausinstallationen, Industrie, SBB-Netz

► Rechteckförmiger Wechselstrom



Anwendungen:
Digitaltechnik (in PC's und Smartphones)

Die Wechselspannung in unserem Netz ist sinusförmig und hat eine Frequenz von $f = 50$ Hz und eine Periodendauer von $T = 20$ ms. Pro Sekunde ändert die Stromrichtung 100-mal.

3.6 Stromdichte

Der elektrische Strom, der durch eine Glühlampe fließt, erhitzt den dünnen Glühfaden der Lampe bis zur Weissglut. Derselbe Strom erwärmt die Zuleitungen aber kaum.

Bei gleicher Stromstärke bewegen sich durch einen grossen und durch einen kleinen Querschnitt gleich viele Elektronen pro Sekunde.

Im Leiter mit dem kleineren Querschnitt sind die Elektronen jedoch dichter zusammengedrängt. Je dichter und je mehr Elektronen zusammenkommen, desto häufiger und heftiger stossen die Elektronen gegen die Atomrümpfe. Die Zusammenstösse setzen Wärme frei und die Erwärmung des Leiters steigt.

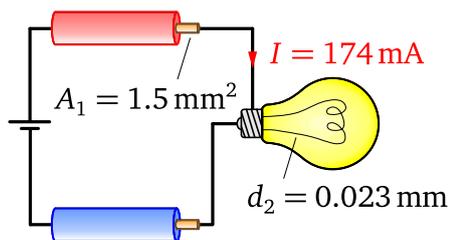


Abb. 23: Hohe Stromdichte erwärmt Wendel

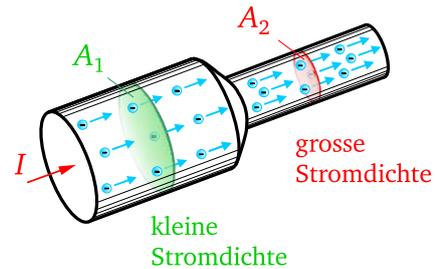


Abb. 24: Querschnitt bestimmt Stromdichte

Die Stromdichte gibt an, wie viel Strom pro mm^2 Querschnitt durch einen Leiter fließt. Aus Stromstärke und Leiterquerschnitt wird die Stromdichte wie folgt berechnet:

Stromdichte

$$J = \frac{I}{A}$$

$$[J] = \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

[J]	Stromdichte	$\frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$
[I]	Stromstärke	A
[A]	Leiterquerschnitt	mm^2

Je grösser die Stromdichte in einem Leiter ist, desto stärker wird der Leiter erwärmt. Zu starke Leitererwärmung zerstört die Isolation eines Leiters. Darum sind die höchstzulässigen Dauerströme und damit die Absicherung in Elektroinstallationen in den NIN genormt.

Übung

- 1 Durch die obige Glühlampe fließt ein Nennstrom von $I = 174 \text{ mA}$. Die Anschlussleitung hat einen Querschnitt $A_1 = 1.5 \text{ mm}^2$; der Glühfaden der Lampe weist einen Durchmesser von $d_2 = 0.023 \text{ mm}$ auf. Welche Stromdichte tritt in der Leitung und im Glühfaden auf?

Leitung:
$$J_1 = \frac{I}{A_1} = \frac{0.174 \text{ A}}{1.5 \text{ mm}^2} = \underline{\underline{0.12 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}}}$$

Glühfaden:
$$A_2 = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{(0.023 \text{ mm})^2 \cdot \pi}{4} = \underline{\underline{0.000415 \text{ mm}^2}}$$

$$J_2 = \frac{I}{A_2} = \frac{0.174 \text{ A}}{0.000415 \text{ mm}^2} = \underline{\underline{419 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}}}$$

Aufgaben 3.6 bis 3.19

3.7 Messung der elektrischen Stromstärke

Die elektrische Stromstärke wird mithilfe von Amperemetern gemessen. Ein analoges oder digitales Multimeter kann diese Funktion übernehmen. Häufig kommen aber auch Zangenamperemeter zum Einsatz.



Abb. 25: Multimeter und Zangenamperemeter

Der zu messende Strom muss durch das Messinstrument fließen. Deshalb wird die Leitung aufgetrennt und das Amperemeter dazwischen geschaltet.

Das Amperemeter soll sich wie ein Stück Kupferleitung verhalten. Der Innenwiderstand des Amperemeters muss somit sehr klein sein.

Deshalb darf ein Amperemeter nie parallel zum Messobjekt geschaltet werden, da es dann mit dem geringen Innenwiderstand die Spannungsquelle kurzschliesst!

Mit einem Multimeter ist das Strommessen zwar eine relativ einfache Aufgabe; trotzdem sollte man folgende Vorgehensweise einhalten, damit das Messgerät keinen Schaden nimmt:

1. Messbereich und Stromart einstellen
Als Erstes muss mit dem Regler der passende Messbereich (μA , mA, A, etc.) eingestellt werden. Danach wählt man die korrekte Stromart (AC oder DC).
2. Stromkreis freischalten und öffnen
Nun muss der Stromkreis an einer beliebigen Stelle geöffnet werden, um das Messgerät anschliessend dort einschleifen zu können. Bevor das getan wird, muss unbedingt die Versorgungsspannung abgeschaltet werden.
3. Messleitung anlegen und Stromkreis schliessen
Das Messgerät selbst wird jetzt verwendet, um den Stromkreis wieder zu schliessen. Dazu wird das schwarze Kabel mit der COM-Buchse verbunden und das rote Kabel an die INPUT-Buchse fürs Amperemessen gesteckt. So fließt der Strom direkt durch das Gerät und kann auf diese Weise gemessen werden.
4. Ampere messen
Auf dem Display kann nun die Stromstärke in Ampere direkt abgelesen werden.

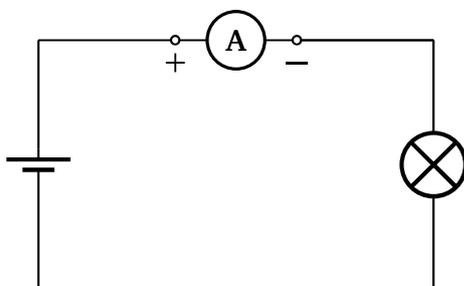


Abb. 26: Schaltzeichen Amperemeter

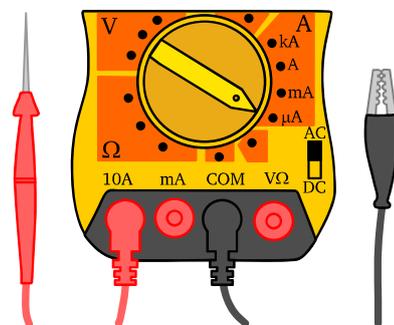


Abb. 27: Messleitungen anlegen

Mit einem Zangenamperemeter können Ströme gemessen werden, *ohne* den Stromkreis zu unterbrechen. Dazu darf nur *eine* Ader mit der Zange umfasst werden; nicht das ganze Kabel.

Meine Notizen:

A large grid of graph paper for taking notes, consisting of 20 columns and 30 rows of small squares.

4 Elektrische Spannung

Lernziele: Sie können ...

- ✓ die Begriffe Spannung, Potential und Potentialdifferenz erklären und in Fachgesprächen anwenden
- ✓ die verschiedenen Spannungserzeugungsarten und deren Anwendungen nennen
- ✓ verschiedene Möglichkeiten zur Spannungsmessung rsp. Spannungsfreiheitsprüfung aufzählen

4.1 Spannung und Potentialdifferenz

Verbindet man zwei Wassergefäße, die verschiedene Mengen Wasser enthalten miteinander, so fließt Wasser vom mehr gefüllten zum weniger gefüllten Gefäß, bis der Wasserstand ausgeglichen ist.

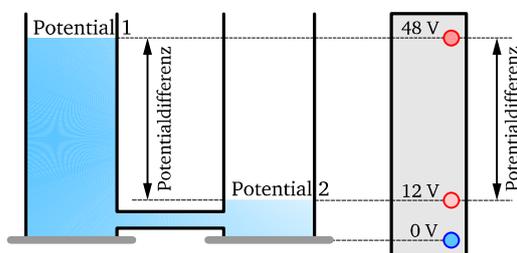


Abb. 28: Potentialdifferenz bei Wassersäulen

Die unterschiedliche potentielle Energie der zwei Wasserbehälter verursacht einen Druck. Dieser ist umso grösser, je grösser der Höhenunterschied (Potentialdifferenz) der beiden Wassersäulen ist.

In einer Spannungsquelle (z.B. Batterie) werden verschiedenartige Ladungen getrennt. Die Pole der Spannungsquelle werden quasi mit unterschiedlichen Ladungen statt mit Wasser gefüllt.

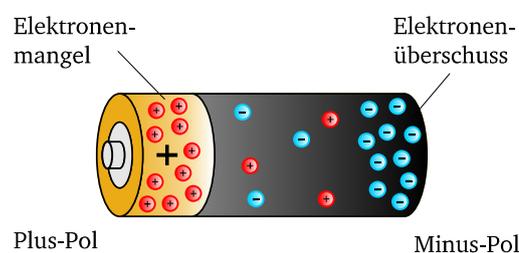


Abb. 29: Ladungen eines Akkumulators

Die getrennten Ladungen wollen sich wieder ausgleichen; so lange bis die beiden Potentiale wieder gleich gross sind. Dabei ist ihr Ausgleichsbestreben umso grösser, je höher die Potentialdifferenz ist.

Elektrische Spannung

Das Ausgleichsbestreben zwischen elektrischen Ladungen wird als Potentialdifferenz oder als elektrische Spannung bezeichnet.

4.1.1 Masseinheit der elektrischen Spannung

Werden (z.B. beim Laden eines Akkumulators) ungleichnamige Ladungen voneinander getrennt, dann muss gegen die Coulomb'sche Anziehungskraft Arbeit verrichtet werden. Für die doppelte Ladungsmenge ist auch die doppelte Arbeit nötig. D.h. der Quotient aus Arbeit W und Ladung Q ist konstant. Diese Konstante wird als elektrische Spannung U bezeichnet.

$$U = \frac{W}{Q}$$

$$[U] = \frac{Ws}{As} = \frac{V \cdot A \cdot s}{A \cdot s} = \frac{V \cdot \cancel{A} \cdot \cancel{s}}{\cancel{A} \cdot \cancel{s}} = V$$

Die Spannung hat das Formelzeichen U und die Masseinheit Volt V.

Die Masseinheit ist nach dem italienischen Physiker *Alessandro Volta* (1745 - 1827) benannt.

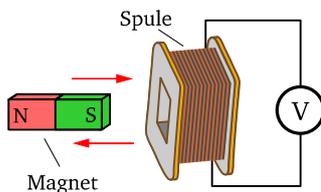
4.2 Spannungserzeugung

Eine elektrische Spannung kann auf verschiedene Arten erzeugt werden. Dabei wird durch die Spannung der notwendige Druck erzeugt, um die freien Ladungsträger zu trennen.

Übung

- ① Nennen Sie Anwendungsbeispiele zu den verschiedenen Spannungserzeugungsarten.

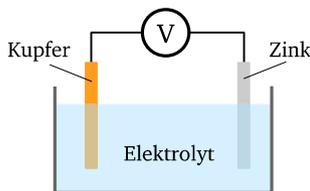
- durch Induktion:



Wird ein Dauermagnet in einer Spule hin und her bewegt, ändert der magnetische Fluss in der Spule und es wird eine Wechselspannung induziert.

[Generator, Dynamo,](#)
[dynamische Mikrofone](#)

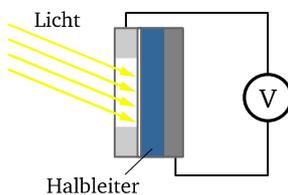
- durch chemische Reaktion:



Taucht man zwei unterschiedliche Metallplatten in einen Elektrolyten (z.B. Säure), entsteht zwischen den Platten eine Gleichspannung.

[Batterien, Akkumulatoren,](#)
[Brennstoffzellen](#)

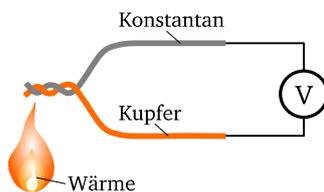
- durch Licht:



Halbleiterbauteile wie z.B. Solarzellen geben unter Lichteinfall eine elektrische Gleichspannung ab. Verbraucher können so mit elektrischer Energie versorgt werden.

[Solarzellen: z.B. einer Photovoltaikanlage,](#)
[eines Taschenrechners, einer Uhr, usw.](#)

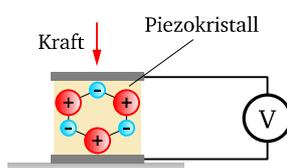
- durch Wärme:



Erwärmt man die Kontaktstelle zweier verschiedener Metalle, so entsteht eine Spannung, die proportional mit der Temperatur steigt.

[Temperaturfühler zur Temperaturmessung,](#)
[Strahlungsmessung bei Wärmebildkamera](#)

- durch Kristallverformung:



Wird ein Kristall durch Druck oder Zug verformt, findet eine Ladungstrennung statt. Diese Art der Spannungserzeugung wird als Piezo-Elektrizität bezeichnet.

[Piezomikrofon, Druck- und Kraftsensoren,](#)
[Piezofeuerzeug, netzunabhängiger Taster](#)