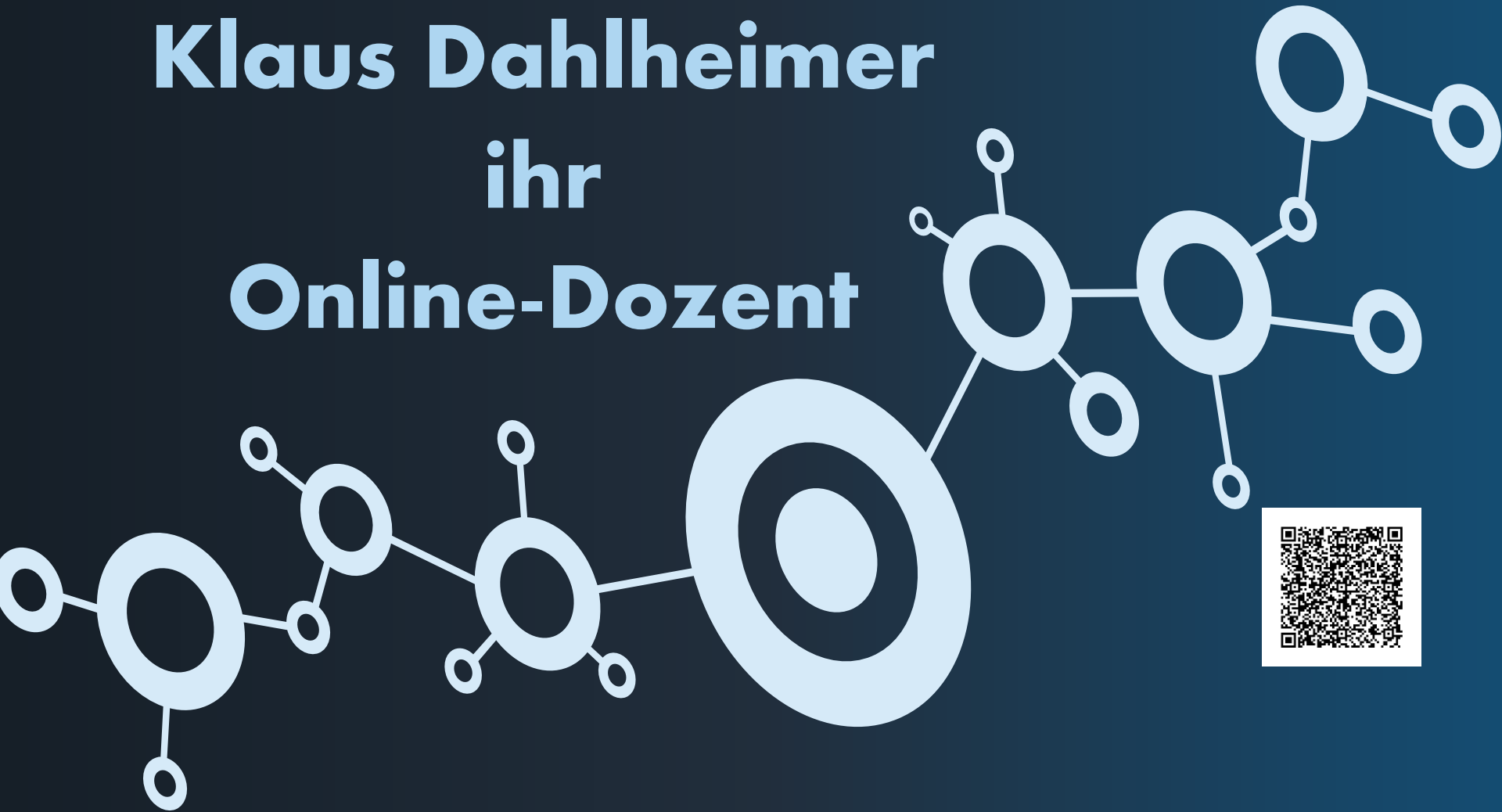


Klaus Dahlheimer
ihr
Online-Dozent



"Einführung E-Technik 1"

Elektrische Spannung - Symbole, Einheiten, Größen

Entstehung mit galvanischen Elementen, Eigenschaften von Batterien & Akkumulatoren

Spannungs- & Stromarten

Gleichspannung, Technische Wechselspannung, Größen der Wechselspannung (Spitzenwerte, Effektiv)

Potential und Spannungsrichtung messen

Elektrischer Strom (Stärke) - Symbole, Einheiten, Größen, technische Stromrichtung

Elektrische Energie - Anwendung

- Wichtige Quelle für
 - Mobilität
 - Automatisierung
 - Beleuchtung
 - Heizung
 - Kommunikation
 - Informationsverarbeitung



Elektrische Energie - Transport

- Überlandleitung
- Umspannwerk
- Hausanschluss
- Hausverteiler
- Elektronische Schaltung



Elektrische Energie - Erzeugung

■ Generator

- Kernenergie
- Wasserkraft
- Fossile Energie
- Windkraft



■ Photovoltaikmodul

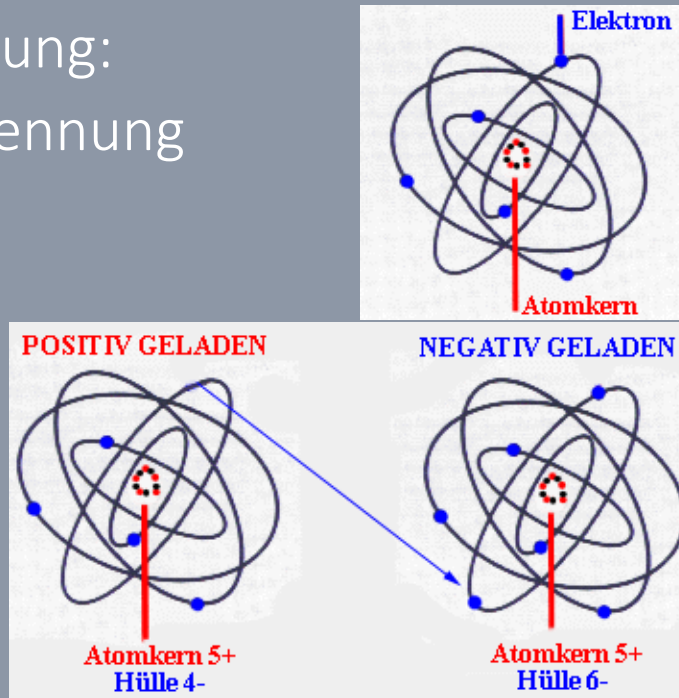
■ Chemische Batterie/ Akkumulator

■ Reibung



Elektrische Energie - Entstehung

- Voraussetzung:
Ladungstrennung



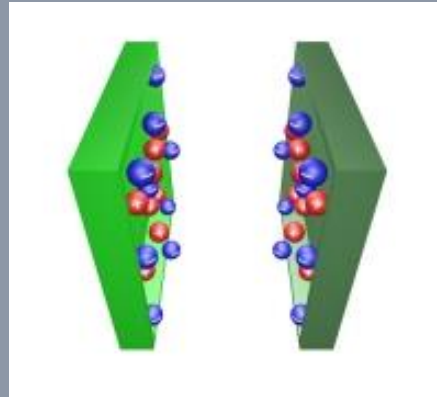
neutraler Zustand:
Zahl der Elektronen in der Hülle =
Zahl der Protonen im Kern

geladener Zustand (Ion):
Elektronenmangel
(positiv geladen)
oder
Elektronenüberschuss
(negativ geladen)
in der Hülle

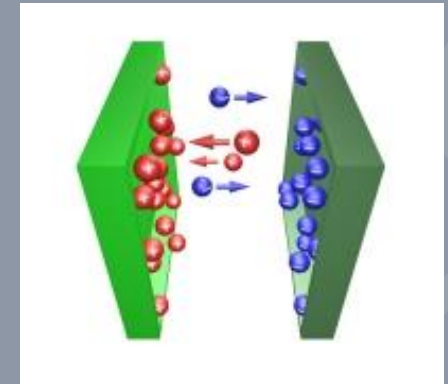
- Für die Ladungstrennung muss Arbeit
aufgewendet werden

Elektrische Energie - Entstehung

- Ergebnis der Ladungstrennung:



vor der Ladungstrennung



nach der Ladungstrennung

- Elektrische Spannung (U):
(Potentialunterschied)

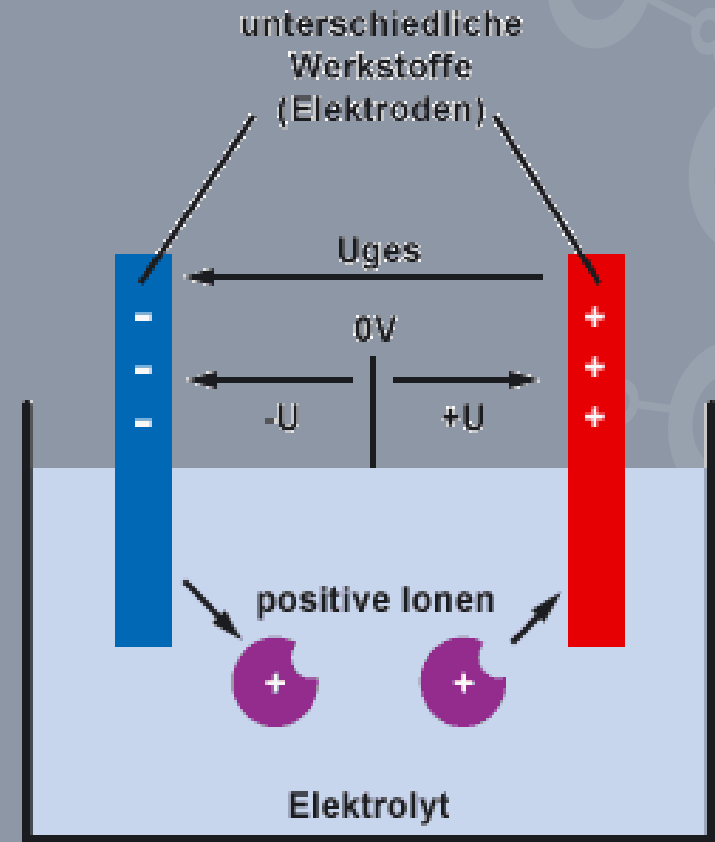
Verhältnis von aufgewandter Trennungsarbeit
zu getrennten Ladungen

$$\text{el. Spannung} = \frac{\text{Arbeit}}{\text{Ladung}} \quad U = \frac{W}{Q} \quad 1 \text{ V (Volt)} = \frac{1 \text{ Nm (Newtonmeter)}}{1 \text{ C (Coulomb)}} \quad (1 \text{ C} = 6,25 \cdot 10^{18} \text{ Elektronen})$$

Galvanische Elemente

- Galvanische Elemente sind Energieumwandler, die auf elektrochemischem Weg eine Spannung erzeugen. Die Höhe der Spannung ist abhängig von der Art der Werkstoffe und von der Art und Menge des Elektrolyten (leitfähige Lösung).
- Die Spannung entsteht dadurch, dass zwei Werkstoffe (Elektroden) in einen Elektrolyt getaucht werden.
Das ist dann insgesamt das galvanische Element.
- (unedlere) Metalle neigen dazu, sich im Elektrolyten aufzulösen. Dabei werden positive Ionen erzeugt.
Die Elektronen bleiben auf dem metallischen Werkstoff zurück.
Das Metall wird dadurch gegenüber dem Elektrolyt negativ.
- Gleichzeitig gibt es Stoffe, die sich nicht zersetzen, Ionen anziehen (edel).
- Damit wird dieser Werkstoff gegenüber dem Elektrolyt positiv.

- Schließlich entsteht insgesamt ein Spannungsunterschied zwischen den beiden Werkstoffen (Elektroden).



Elektrochemische Spannungsreihe (Normalpotentiale)

- Metalle, die sich im Elektrolyten auflösen, sind hervorragend als Elektroden-Werkstoff geeignet.
- Jedes geeignete Metall hat eine andere galvanische Spannung, die bei der Elektrolyse entsteht.
- Diese Spannung ist in der elektrochemischen Spannungsreihe festgehalten. Dort sind sie in der Reihenfolge ihrer galvanischen Spannung und Polarität aufgereiht.

Metalle, die gegenüber dem Wasserstoff eine positive Spannung haben, werden edle,
alle mit einer negativen Spannung werden als unedle Metalle bezeichnet.

Metall	Nichtmetalle	Potential bei 25°C
Metalle, die gegenüber dem Wasserstoff eine positive Spannung haben, werden edle, alle mit einer negativen Spannung werden als unedle Metalle bezeichnet.	Fluor (F)	+ 2,87 V
Gold (Au)		+ 1,69 V
		+ 1,42 V
		+ 1,40 V
	Chlor (Cl)	+ 1,36 V
Chrom (Cr)		+ 1,33 V
Platin (Pt)		+ 1,20 V
	Quecksilber (Hg) „Übergangsmetall“	+ 0,85 V
Silber (Ag)		+ 0,80 V
	Kohlenstoff (C)	+ 0,75 V
	Braunstein (Kohle)	+ 0,74 V
Kupfer (Cu)		+ 0,35 V
	Wasserstoff (H)	0 V
Blei (Pb)		- 0,13 V
Zinn (Sn)		- 0,14 V
Nickel (Ni)		- 0,25 V
Cadmium (Cd)		- 0,40 V
Eisen (Fe)		- 0,44 V
Zink (Zn)		- 0,76 V
Mangan (Mn)		- 1,07 V
Aluminium (Al)		- 1,67 V
Magnesium (Mg)		- 2,34 V
Lithium (Li)		- 3,04 V

Galvanische Elemente

```
graph TD; A[Galvanische Elemente] --> B[Primärelemente  
"Batterien"]; A --> C[Sekundärelemente *  
Akkumulatoren  
(Sammler)]; B --> D[einmalige Umwandlung  
der chemischen  
Energie --> Zelle  
verbraucht sich]; C --> E[Entladung durch  
Zuführen von Energie  
mehrere Male  
umkehrbar];
```

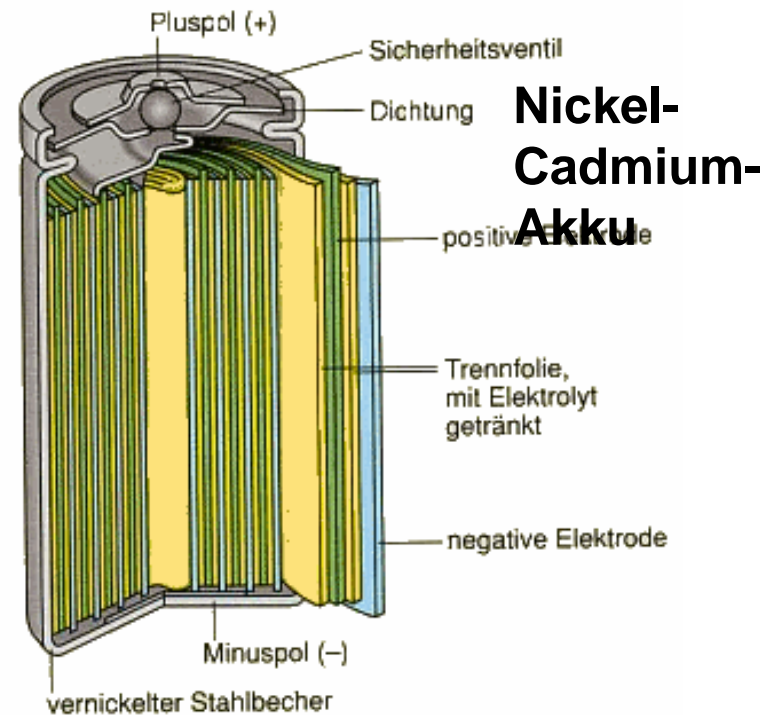
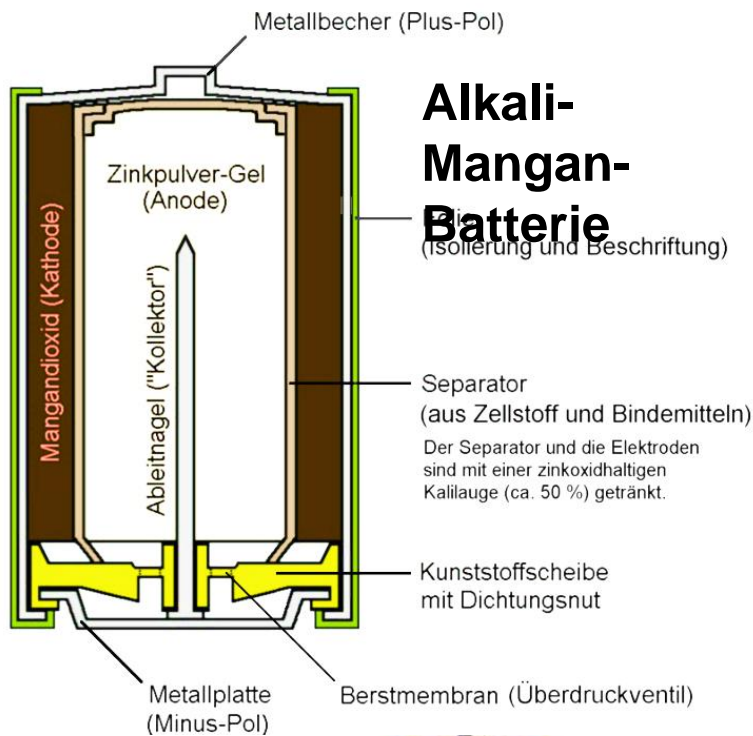
Primärelemente
"Batterien"

einmalige Umwandlung
der chemischen
Energie --> Zelle
verbraucht sich



Sekundärelemente *
Akkumulatoren
(Sammler)

Entladung durch
Zuführen von Energie
mehrere Male
umkehrbar

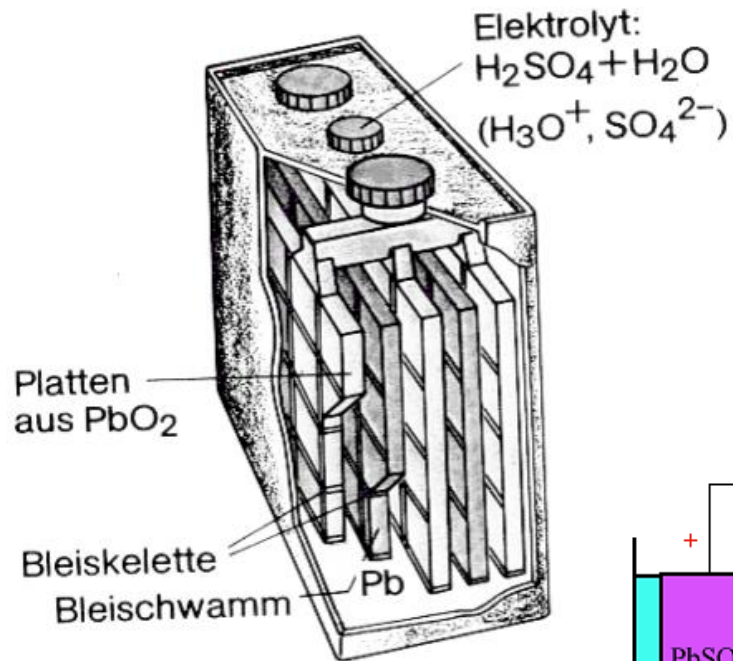
* sekundär, weil nach Herstellung Energie erst aufgeladen werden muss



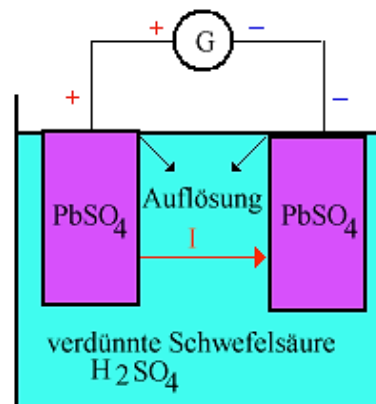
Die wichtigsten Batteriegrößen

	S	Micro		M	Mignon		L	Baby		XL	Mono		9V	E-Block
- LR03		- LR6		- LR14		- LR20		- 6LR61				- 6F22		
- R03		- R6		- R14		- R20		- D				- 9V		
- AAA		- AA		- C		- D								
1,5 V		1,5 V		1,5 V		1,5 V		9 V						

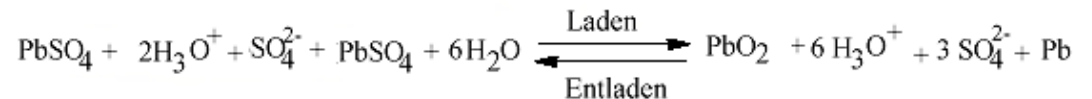
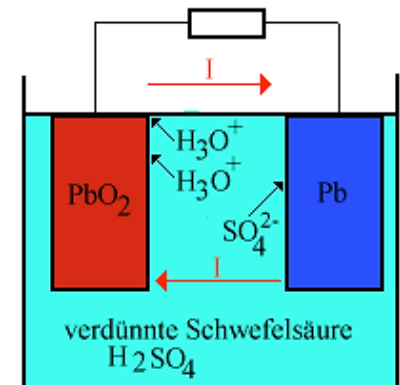
Aufbau des Bleiakkus



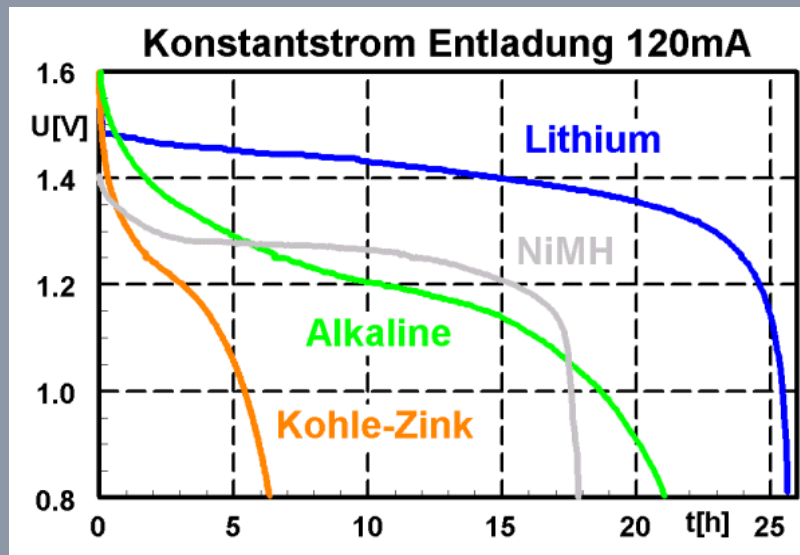
Laden



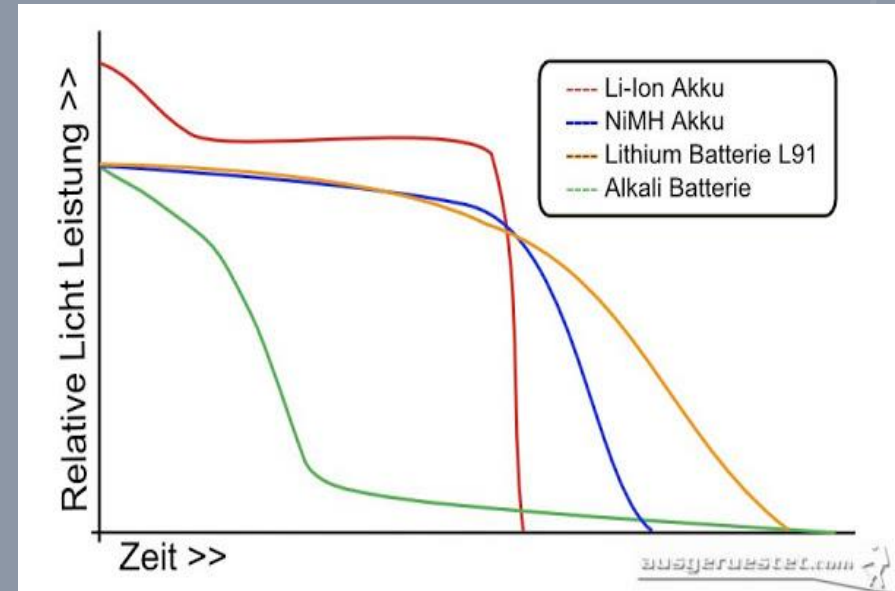
Entladen



Spannungsstabilität verschiedener Batterie-Typen bei konstanter Entladung



Leistungsfähigkeit anhand Einsatz Taschenlampe zwischen Akku und Batterie



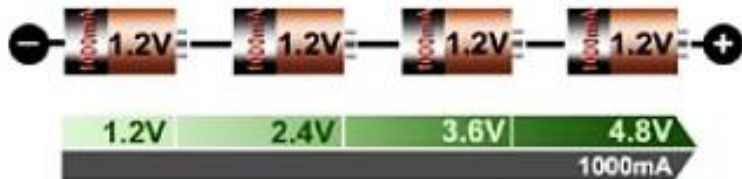
Zusätzliche Hinweise:

Kann man Batterien einfach durch Akkus ersetzen?

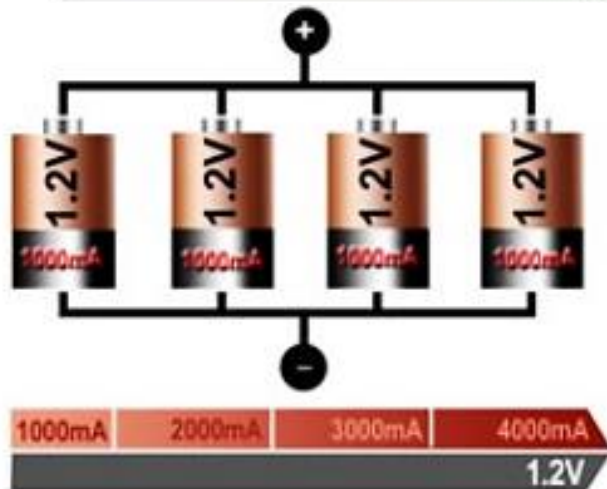
- Grundsätzlich kann jeder Verbraucher, der mit Batterien betrieben wird, auch mit Akkus betrieben werden.
- Allerdings gibt es Geräte, die mit Akkus nicht funktionieren.
 - Eine Batterie hat eine Zellenspannung von 1,5Volt (Standard-Lithium bis über 3 V).
 - Ein Akku hingegen nur 1,2Volt.
- Es gibt eine Vielzahl von Batterie- und Akku-Technologien, bei einigen Akkuvarianten muss man den sogenannten „Memory-Effekt“ berücksichtigen

Weitere Infos: [http://de.wikipedia.org/wiki/Batterie_\(Elektrotechnik\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Batterie_(Elektrotechnik))

Zusammenschalten von Akku-Zellen

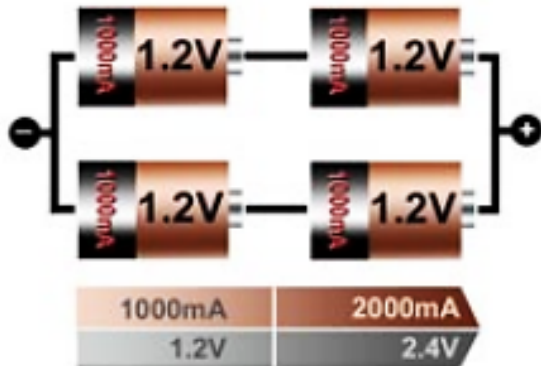


Figur 1: Serieschaltung von vier Zellen.
Das Zuschalten von Zellen in einer Kette erhöht die Spannung, aber der Strom bleibt gleich.



Figur 3: Parallelschaltung von vier Zellen

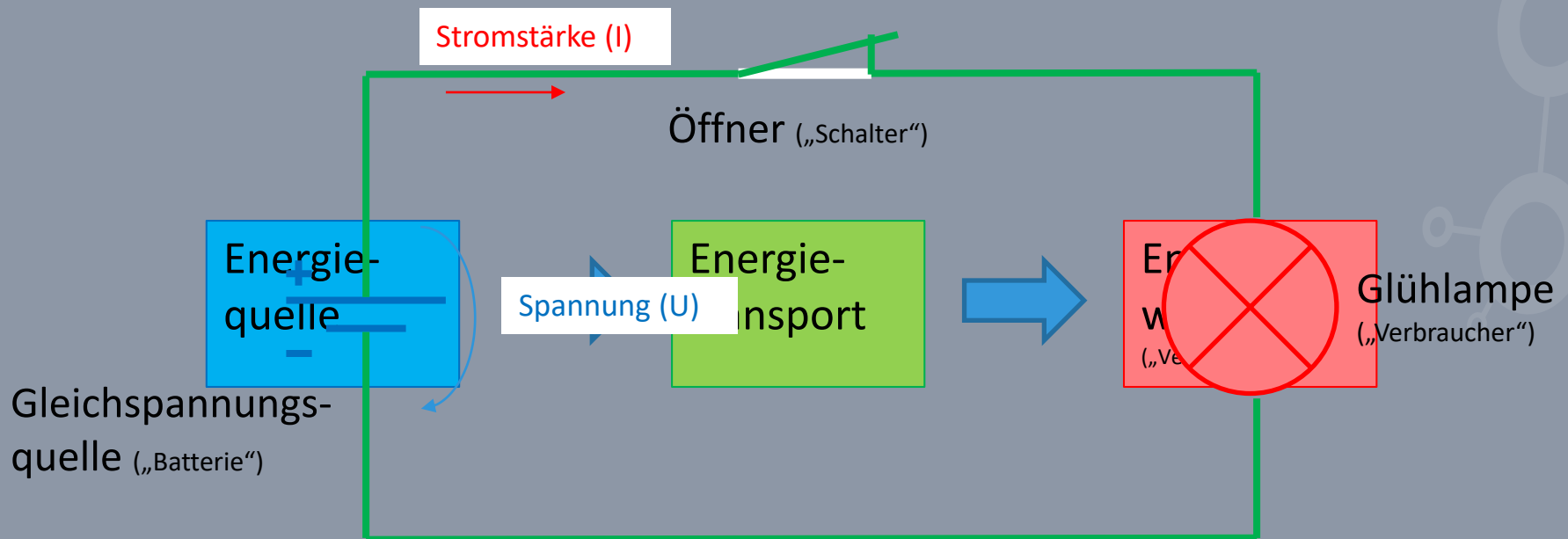
Mit parallelen Zellen bleibt die Spannung dieselbe, aber der abgegebene Strom und die Einsatzzeit sind grösser



Figur 5: Serie/Parallel-Schaltung von vier Zellen.

Die Konfiguration beeinflusst die gesamte Leistung nicht, liefert aber die gewünschte Spannung und den gewünschten Strom für eine bestimmte Applikation.

Elektrischer Stromkreis - Einführung



$$\text{el. Stromstärke} = \frac{\text{Ladung}}{\text{Zeit}}$$

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

$$1\text{A (Ampere)} = \frac{1\text{ C (Coulomb)}}{1\text{ S (Sekunde)}}$$

Noch einige Beispielrechnungen, die nach den folgenden Abschnitten verständlicher werden:

Ist die Ladung eines Bleiakkus mit $Q = 50\text{Ah}$ angegeben und fließt bei eingeschaltetem Licht etwa ein Strom der Stärke $I = 5\text{A}$, so "hält" rechnerisch der Akku 10 Stunden lang ($t = Q/I = 50\text{Ah}/5\text{A} = 10\text{h}$).

Ein 1200mAh - Mignon-Akku betreibt einen Diskman mit einer Stromstärke von $I = 200\text{mA}$, er sollte rechnerisch 6 Stunden "laufen" ($t = Q/I = 1200\text{mAh}/200\text{mA} = 6\text{h}$).

Elektrischer Stromkreis - Einführung

Modellvorstellungen: Wassermodell gegen Elektronenmodell

Wassermodell anschaulich animiert

Elektronenmodell anschaulich animiert

Elektronenfluss im einfachen Stromkreis

<http://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/einfache-stromkreise/stromkreismodelle>

Weiterführendes/ vertiefendes Material: Grundlagen der Elektrotechnik
konsequent anhand des Wassermodells erläutert

<http://www.brucewilles.de/grundlagen.html>

Spannungsarten und Stromarten

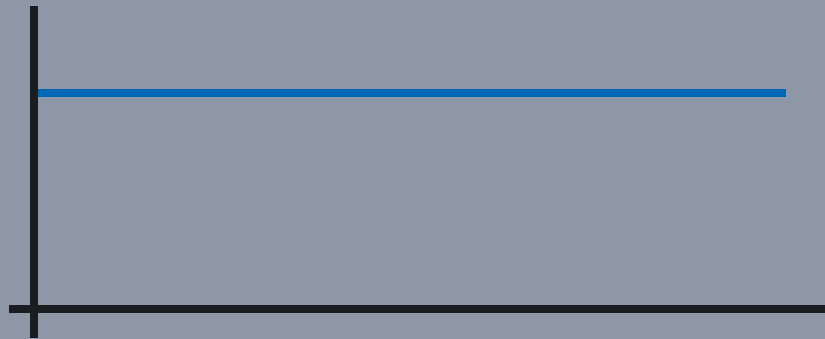
- Eine Spannungsquelle unterscheidet sich zuerst grundsätzlich nach Wechselspannung/Wechselstrom und Gleichspannung/Gleichstrom.

Wenn von einer Energiequelle gesprochen wird, dann spielt es keine Rolle ob es sich um eine Gleichspannungsquelle oder Gleichstromquelle handelt. Es ist das Selbe gemeint: Es liegt eine Gleichspannung an und es fließt ein Gleichstrom.

- Bei Wechselspannung und Wechselstrom ist es genauso. Es liegt eine Wechselspannung an und es fließt ein Wechselstrom.

Gleichstrom / Gleichspannung

- Definition: Gleichstrom ist ein Strom, der ständig mit der gleichen Stärke in die gleiche Richtung (Polung) fließt.
- Anwendung: Verstärker, Kleinspannungsschaltungen mit Halbleiterbauelementen, Relais und integrierten Schaltkreisen.
- Diagramm:



Wechselstrom / Wechselspannung

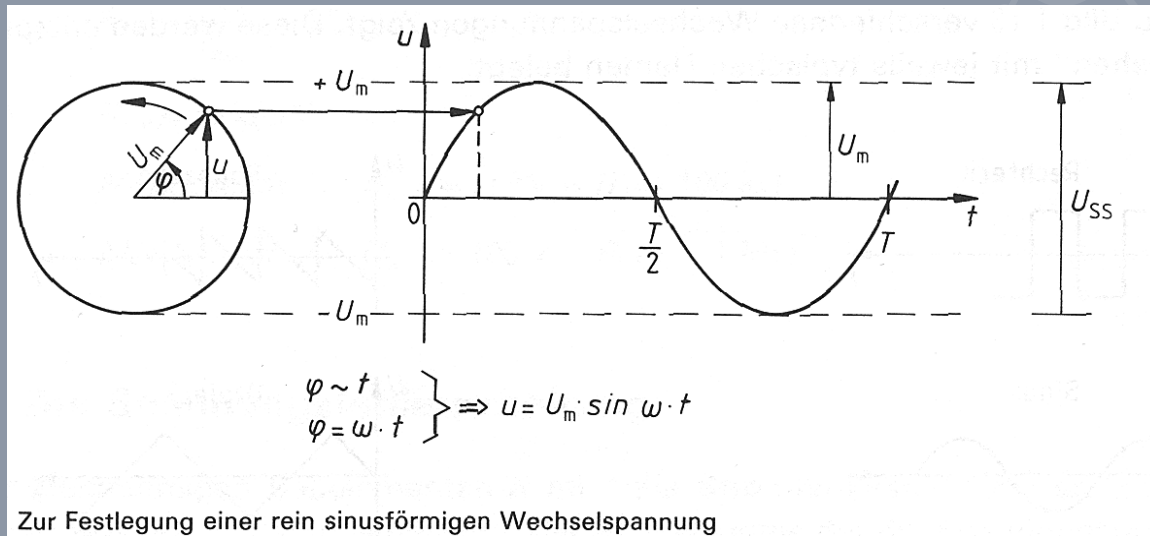
- Definition: Wechselstrom ist ein Strom, der ständig seine Größe und Richtung ändert.
- Anwendung: Übertragung von Energie über weite Strecken (Hochspannung).

Dabei ist Wechselspannung keineswegs verlustfreier als Gleichspannung. Vielmehr „gibt es sie“, weil es die erste Möglichkeit war, Spannung/Strom effizient technisch zu erzeugen. Zum anderen: das Erzeugerprinzip (Magnetfeld wird zu Elektroenergie), lässt sich immer wieder mit Übertragern (Transformatoren) anwenden.

- Diagramm:

- Erzeugung:

Flash-Animation



Mischstrom / Mischspannung

- Definition: Mischstrom ist ein Strom, der einen Gleichstrom- und einen Wechselstromanteil hat.
Mischspannungen setzen sich aus einer Gleich- und einer Wechselspannung zusammen.
Beide zeichnen sich dadurch aus, dass sie i.d.R. keinen Nulldurchgang haben.
- Anwendung: Modulation, Wechselstromverstärkung
- Diagramme:

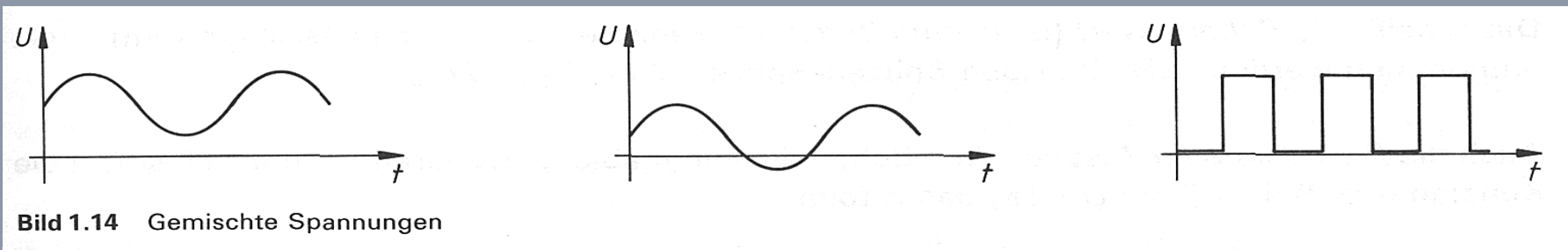


Bild 1.14 Gemischte Spannungen

Elektrische Spannung U in [V]

- Die elektrische Spannung U gibt den Unterschied der Ladungen zwischen zwei Polen an.
- Spannungsquellen besitzen immer zwei Pole, mit unterschiedlichen Ladungen.
- Auf der einen Seite ist der Pluspol mit einem Mangel an Elektronen.
Auf der anderen Seite ist der Minuspol mit einem Überschuss an Elektronen.
- Diesen Unterschied der Elektronenmenge kann man verkürzt elektrische Spannung nennen.
- Entsteht eine Verbindung zwischen den Polen, kommt es zu einer Entladung. Bei diesem Vorgang fließt ein elektrischer Strom.

Die elektrische Spannung ist die Ursache des elektrischen Stroms.

Elektrische Spannung U in [V]

Formelzeichen

- Das Formelzeichen der elektrischen Spannung ist das große " U ".
- In der englischsprachigen Literatur wird für die elektrische Spannung (voltage) das Formelzeichen " V " benutzt. So findet man in der Schaltungstechnik häufig Spannungsbezeichnungen, wie V_{OUT} (Ausgangsspannung), V_{BAT} (Batteriespannung) und andere. Sowohl das Formelzeichen als auch die Einheit sind beides V .
- Während für Gleichspannungsgrößen generell das große " U " als Formelzeichen verwendet wird, wird für Wechselspannungsgrößen meistens das kleine " u " als Formelzeichen verwendet (für veränderliche Größe).

Maßeinheit

- Die gesetzliche Grundeinheit der elektrischen Spannung ist **1 Volt (V)**.
- Normalerweise liegen die Spannungswerte in der Elektronik zwischen einigen Millivolt und mehreren hundert Volt.
- In der Hochspannungstechnik wird mit mehreren Kilovolt (kV) bis mehrere Megavolt (MV) gearbeitet.

Elektrische Spannung U in [V]

Megavolt	1 MV	1 000 000 V	10^6 V
Kilovolt	1 kV	1 000 V	10^3 V
Volt	1 V	1 V	10^0 V
Millivolt	1 mV	0,001 V	10^{-3} V
Mikrovolt	1 μ V	0,000 001 V	10^{-6} V

- Im Zusammenhang mit der Einheit V (Volt) kommen häufig Die Kürzel „AC“ und „DC“ vor. Die Abkürzung „AC“ steht für „alternating current“ und bedeutet deutsch „wechselnder Strom“. Die Abkürzung „DC“ steht für „direct current“ und steht für „Gleichstrom“.

Potential und Spannungsrichtung

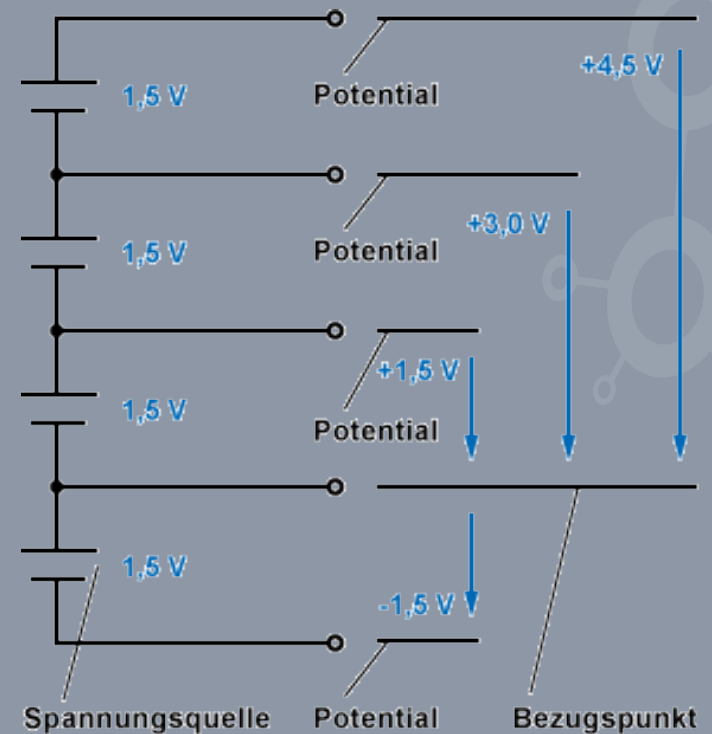
- Das Potential eines Punktes ist gleich der Spannung dieses Punktes gegenüber dem Bezugspunkt 0 V.
- Der Bezugspunkt wird als Masse bezeichnet.
- Die Angabe oder Messung eines Potentials erfolgt immer auf den Bezugspunkt „Masse“.
- Bei der Messung eines positiven Wertes ist das Potential positiver als der Bezugspunkt.

Vorzeichen +

- Bei der Messung eines negativen Wertes ist das Potential negativer als der Bezugspunkt.

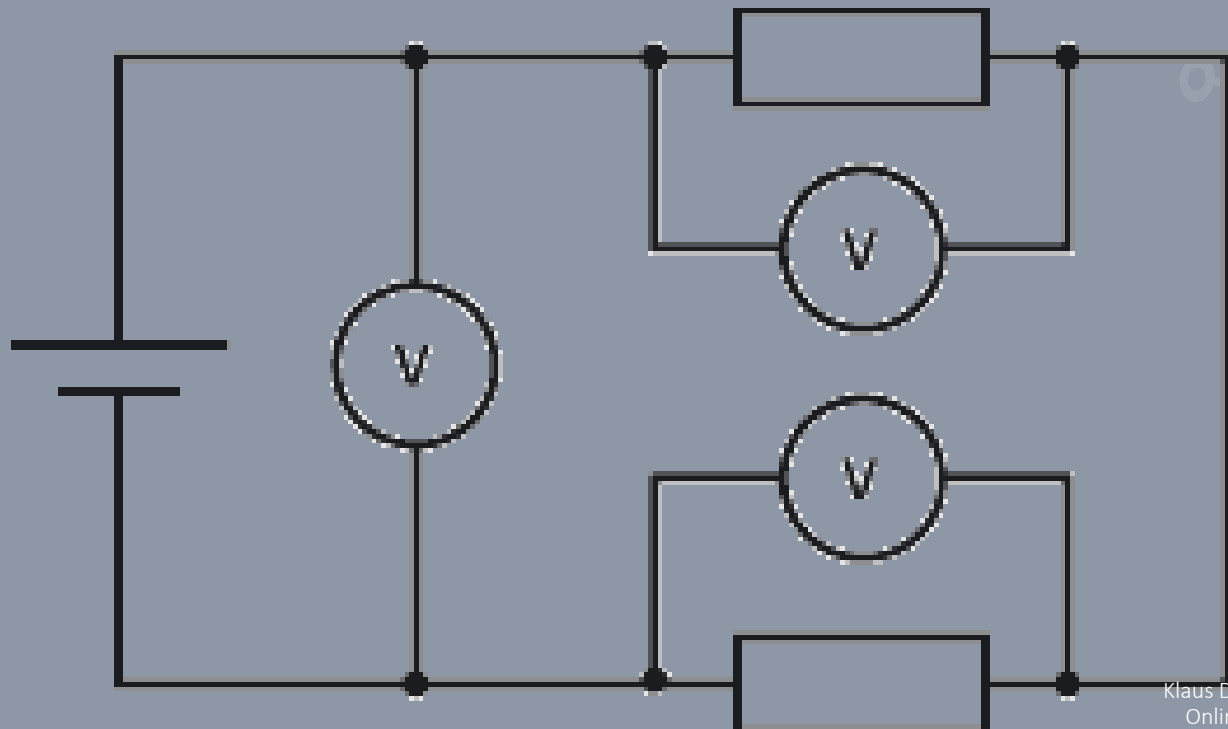
Vorzeichen —

- Die Spannung hat eine bestimmte Wirkrichtung. In einer Schaltung wird diese Richtung durch einen Pfeil angezeigt.
- Grundsätzlich zeigt der Spannungspfeil von Plus nach Minus (technische Stromrichtung) oder von einem höheren Spannungswert (Potential) zum niedrigeren Spannungswert (Potential).



Messen der elektrischen Spannung

- Ein Spannungsmessgerät wird immer parallel zum Verbraucher, Bauelement oder zur Spannungsquelle angeschlossen.



Spannungserzeugung

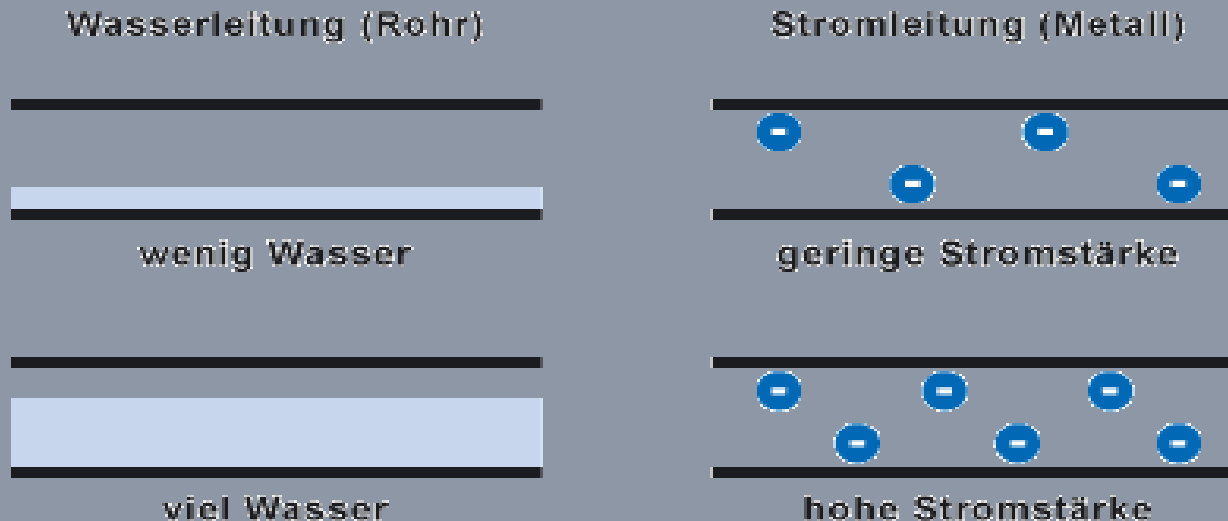
Erzeugung durch	Bauelement	Spannungsbereich
Druck oder Biegung	Piezo-Effekt, Kristallverformung	im mV-Bereich
Reibung	Hartgummistab	bis kV
Bewegung	Generator, Dynamo	bis 500 V
Erwärmung	Thermoelement	im mV-Bereich
Chemische Umwandlung	Batterie, Akku	bis 24 V
Magnetfelder	Hall-Generator	im mV-Bereich
Licht	Fotoelement, Solarzelle	mV bis V

Elektrischer Strom / Elektrische Stromstärke I [A]

- Der elektrische Strom oder elektrische Stromstärke wird kurz Strom genannt. Damit ist die Übertragung elektrischer Energie gemeint.
- Der elektrische Strom ist die gezielte und gerichtete Bewegung freier Ladungsträger. Die Ladungsträger können Elektronen oder Ionen sein.
- Der elektrische Strom kann nur fließen, wenn zwischen zwei unterschiedlichen elektrischen Ladungen genügend freie und bewegliche Ladungsträger vorhanden sind. Zum Beispiel in einem leitfähigen Material (Metall, Flüssigkeit, etc.).

Stromfluss

Der Stromfluss wird gerne mit fließendem Wasser in einem Rohr verglichen.



- Genauso ist es auch beim elektrischen Strom. Je mehr freie Elektronen vorhanden sind, desto größer ist die elektrische Stromstärke durch den Leiter.
- Zur zahlenmäßigen Beschreibung des elektrischen Stroms dient die elektrische Stromstärke. Je mehr Elektronen in einer Sekunde durch einen Leiter fließen, umso größer ist die Stromstärke.

Stromstärke

Formelzeichen

- Das Formelzeichen des elektrischen Stroms bzw. der elektrischen Stromstärke ist das große I.

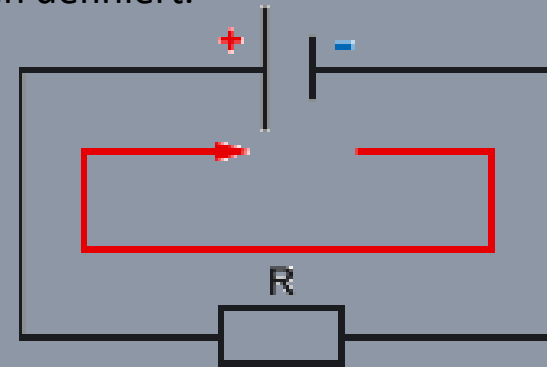
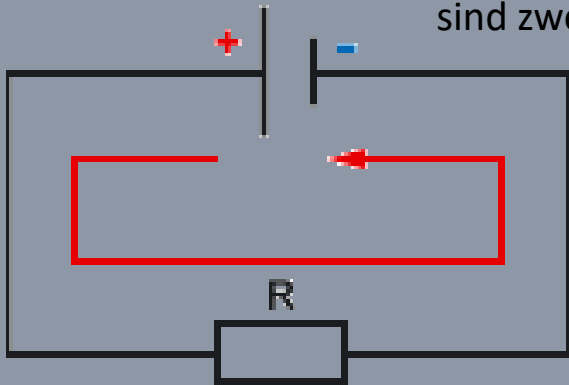
Maßeinheit

- Die gesetzliche Grundeinheit des elektrischen Stroms ist 1 Ampere (A). Normalerweise liegen die Stromwerte in der Elektronik zwischen einigen Mikroampere (μA) und mehreren Ampere (A). In der Starkstromtechnik kennt man auch Kiloampere (kA).

Kiloampere	1 kA	1 000 A	10^3 A
Ampere	1 A	1 A	10^0 A
Milliampere	1 mA	0,001 A	10^{-3} A
Mikroampere	1 μA	0,000 001 A	10^{-6} A

Stromrichtung

Die Stromrichtung wird in Schaltungen mit einem Pfeil angezeigt.
Aufgrund unterschiedlicher wissenschaftlicher Annahmen und Erkenntnisse
sind zwei Stromrichtungen definiert.



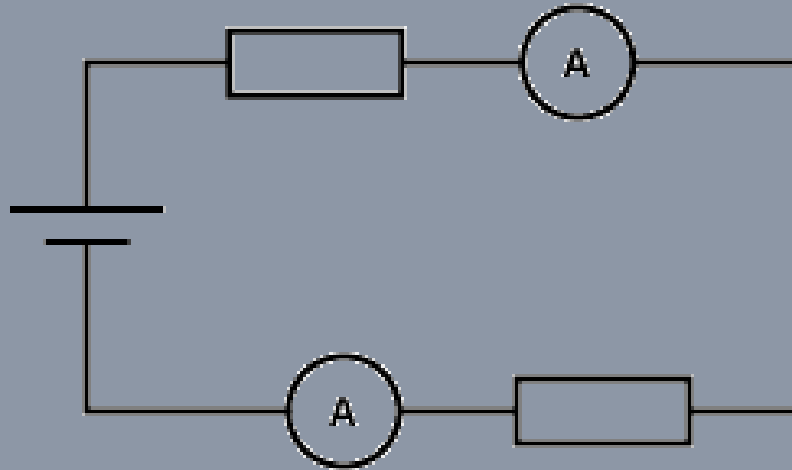
Technische Stromrichtung (historische Stromrichtung)

Bevor man die Vorgänge in Atomen und den Zusammenhang der Elektronen kannte, nahm man an, dass in Metallen positive Ladungsträger für den Stromfluss verantwortlich waren. Demnach sollte der Strom vom positiven Pol zum negativen Pol fließen. Die Verwendung eines Messgeräts zur Strommessung lässt auch diesen Schluss zu. Obwohl die damalige Annahme widerlegt wurde, hat man die ursprüngliche (historische) Stromrichtung aus praktischen Gründen beibehalten →

Physikalische Stromrichtung (Elektronenstromrichtung)

In einem geschlossenen Stromkreis werden freie Ladungsträger (Elektronen) vom negativen Pol abgestoßen und vom positiven Pol angezogen. Dadurch entsteht ein Elektronenstrom vom negativen Pol zum positiven Pol. Diese Stromrichtung ist die physikalische Stromrichtung, die auch Elektronenstromrichtung genannt wird.

Messen des elektrischen Stroms



- Das Strommessgerät wird immer in Reihe zum Verbraucher angeschlossen.
- Dazu muss die Leitung des Stromkreises aufgetrennt werden, um das Messgerät in den Stromkreis einfügen zu können (Ausnahme: Strommesszange).
- Während der Messung muss der Strom durch das Messgerät fließen (Messgerät ist vernachlässigbar niederohmig).

Elektrischer Widerstand $R [\Omega]$

- Die Bewegung freier Ladungsträger im Inneren eines Leiters hat zur Folge, dass die freien Ladungsträger gegen Atome stoßen und in ihrem Fluss gestört werden.
- Diesen Effekt nennt man einen Widerstand. Durch diesen Effekt hat der Widerstand die Eigenschaft, den Strom in einer Schaltung zu begrenzen.
- Der elektrische Widerstand wird auch als ohmscher Widerstand bezeichnet. In der Elektronik spielen Widerstände eine sehr große Rolle.
- Neben den klassischen Widerständen hat jedes andere Bauteil einen Widerstandswert, der Einfluss auf Spannungen und Ströme in Schaltungen nimmt.

Formelzeichen

Das Formelzeichen des elektrischen Widerstands ist das große **R**. Es steht für die englische Bezeichnung „Resistor“ (= Widerstand).

Elektrischer Widerstand $R [\Omega]$

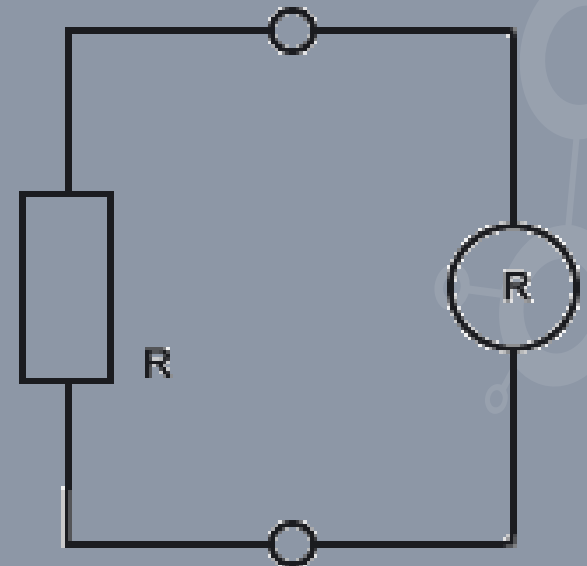
Maßeinheit

Die Maßeinheit für den elektrischen Widerstand ist Ohm mit dem Kurzzeichen Ω (Omega) aus dem griechischen Alphabet.

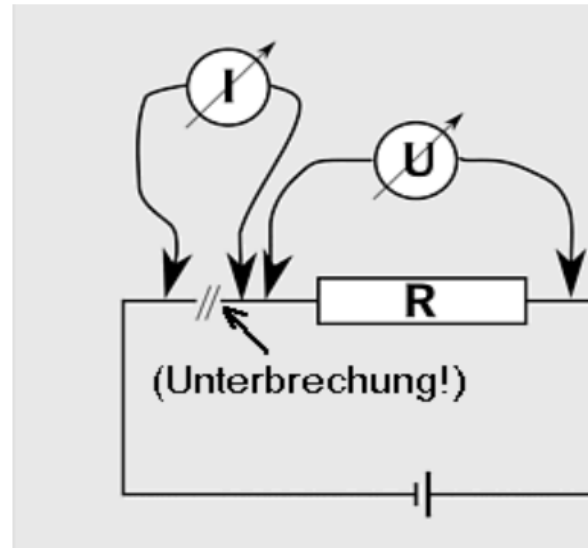
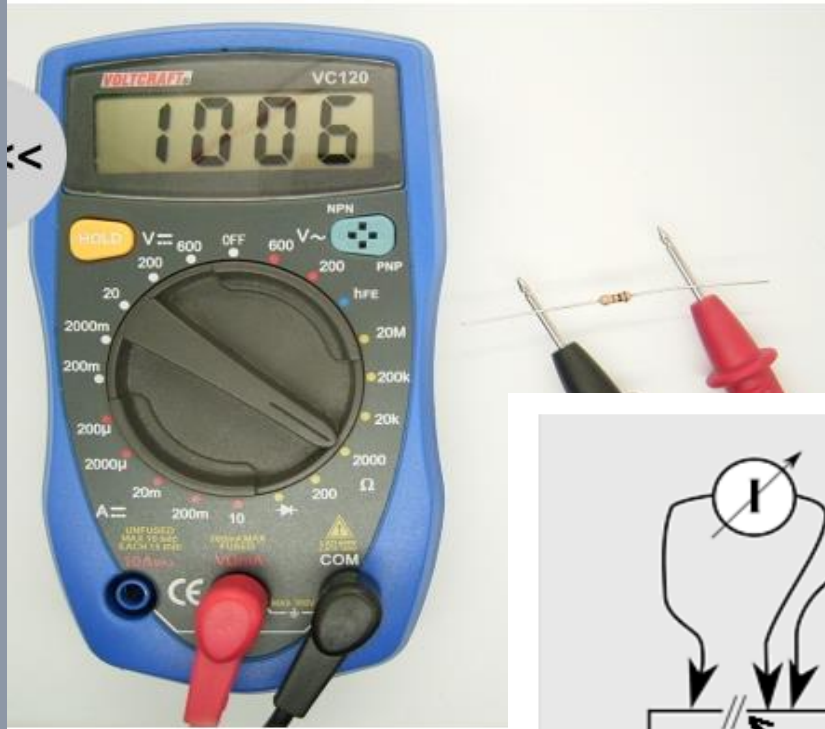
Megaohm	1 $M\Omega$	1 000 000 Ω	$10^6 \Omega$
Kiloohm	1 $k\Omega$	1 000 Ω	$10^3 \Omega$
Ohm	1 Ω	1 Ω	$10^0 \Omega$
Milliohm	1 $m\Omega$	0,001 Ω	$10^{-3} \Omega$

Messen des Ohmschen Widerstandes

- Der Wert des Ohmschen Widerstandes wird am besten mit einem digitalen Vielfachmessgerät (Multimeter) ermittelt, um Ablesefehler und Ungenauigkeiten zu verhindern.
- Beim Messen mit einem Widerstandsmesser darf das zu messende Bauteil während der Messung nicht an einer Spannungsquelle angeschlossen sein. Das zu messende Bauteil muss mindestens einseitig aus einer Schaltung ausgelötet werden. Ansonsten beeinflussen parallel liegende Bauteile das Messergebnis.

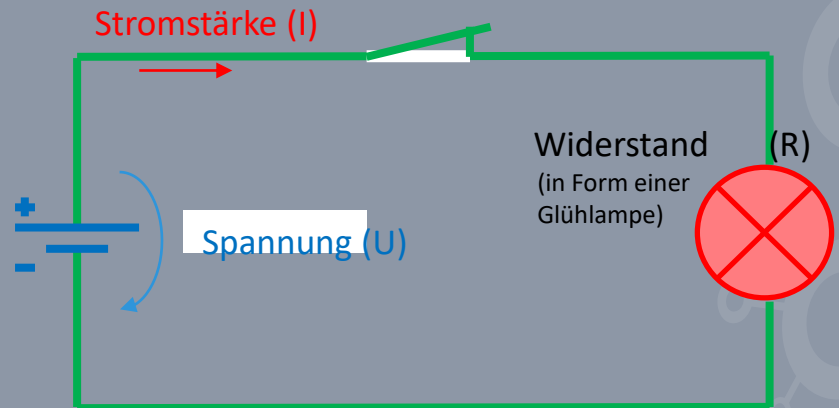
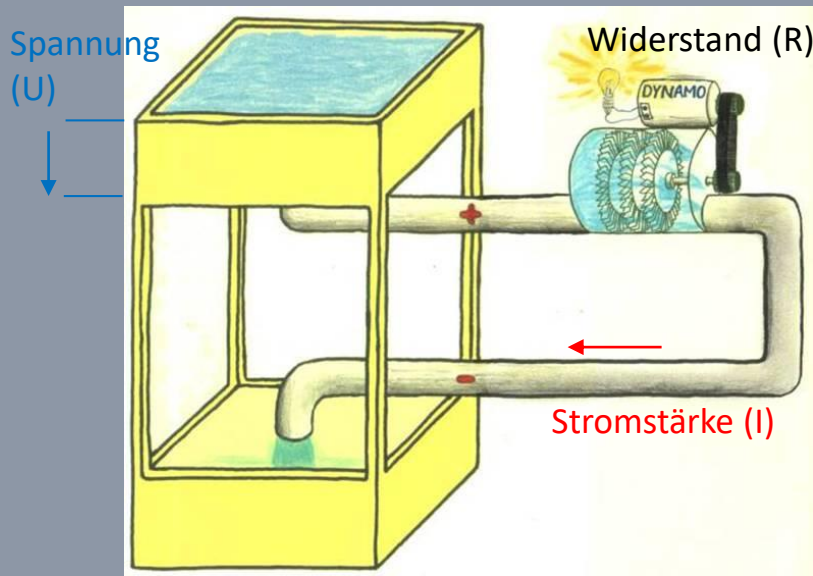


Messen des Ohmschen Widerstandes



Widerstand misst man, indem man die Spannung U über dem Bauteil und den Strom I durch das Bauteil feststellt und dann U durch I teilt.

Elektrischer Stromkreis – Ohmsches Gesetz



Überlegungen zum Verhältnis von **Spannung**, **Stromstärke** und Widerstand:

- Bei konstantem Widerstand: Wie verhält sich die Stromstärke (I), wenn die Spannung (U) geändert wird?
- Bei konstanter Spannung: Wie verhält sich die Stromstärke (I), wenn ein Verbraucher mit anderem Widerstandswert (R) in den Stromkreis eingesetzt wird?

$$I \sim U$$

$$I \sim 1/R$$

(keine, proportionale oder entgegengesetzte Änderung)

Elektrischer Stromkreis – Ohmsches Gesetz

$$I \sim U$$

$$I \sim 1/R$$



$$I = U/R$$

Je größer die elektrische Spannung (U)
bzw. je kleiner der elektrische Widerstand R ist,
umso größer ist die Stromstärke I .



$$I = U/R$$

$$R = U/I$$

$$U = R \times I$$

Ohmsches Gesetz: Wird an ein Objekt eine elektrische Spannung angelegt, so verändert sich der hindurchfließende elektrische Strom in seiner Stärke proportional zur Spannung.

Mit anderen Worten: Der als Quotient aus Spannung und Stromstärke definierte elektrische Widerstand ist konstant, also unabhängig von Spannung und Stromstärke.

Elektrischer Stromkreis – Ohmsches Gesetz

$$\text{Elektrischer Widerstand } R = \frac{\text{Elektrische Spannung } U}{\text{Elektrischer Strom } I}$$

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

$$\text{Elektr. Widerstand } R = \frac{\text{Spez. Widerstand } \rho \cdot \text{Leiterlänge } l}{\text{Leiterquerschnitt } q}$$

$$R = \frac{\rho \cdot l}{q}$$

Erst mit dem Einbinden eines elektrischen Widerstandes, und damit eines bestehenden Stromkreises, lässt sich der Zusammenhang zwischen Strom, Spannung und Widerstand berechnen.

Spezifischer Widerstand ρ (rho)

- Jedes Material hat einen eigenen Widerstand, der von der Atomdichte und Anzahl der freien Elektronen abhängig ist. Der Widerstand wird deshalb spezifischer Widerstand genannt.
- Je kürzer die Leitungslänge und je größer der Leitungsquerschnitt des Materials, desto geringer der ohmsche/elektrische Widerstand.
- Die Abhängigkeit von der Leitungslänge wird dadurch erklärt, dass die Elektronenbewegung auf einer größeren Strecke stärker gehemmt wird, als auf einer kürzeren Strecke.
- Durch eine Änderung der Leitungslänge und des Querschnitts ändert sich nur der ohmsche Widerstand.
Der spezifische Widerstand ist eine Materialkonstante und ist somit ein fest definierter Wert.

Definition

Der Widerstand eines Leiters von 1 m Länge und 1 mm² Querschnitt bei 20°C heißt spezifischer Widerstand.

Den Kehrwert des spezifischen Widerstands nennt man elektrische Leitfähigkeit.

Formelzeichen

Das Formelzeichen des spezifischen Widerstands ist ρ (rho) aus dem griechischen Alphabet.

Spezifischer Widerstand ρ

Maßeinheit

Der spezifische Widerstand wird auf der Basis von 1 m Länge, 1 mm² Querschnitt bei einer Temperatur von 20°C angegeben.

$$\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$$

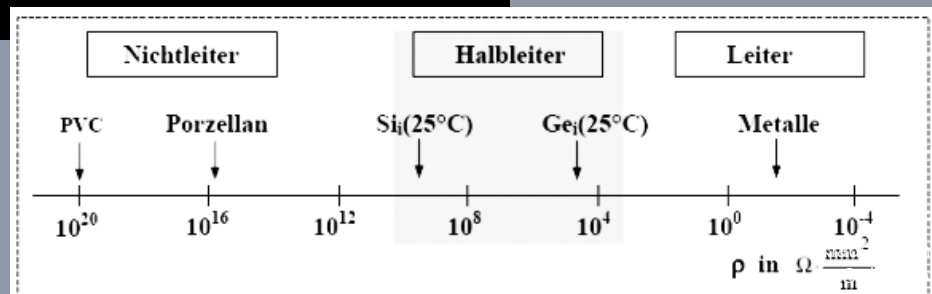
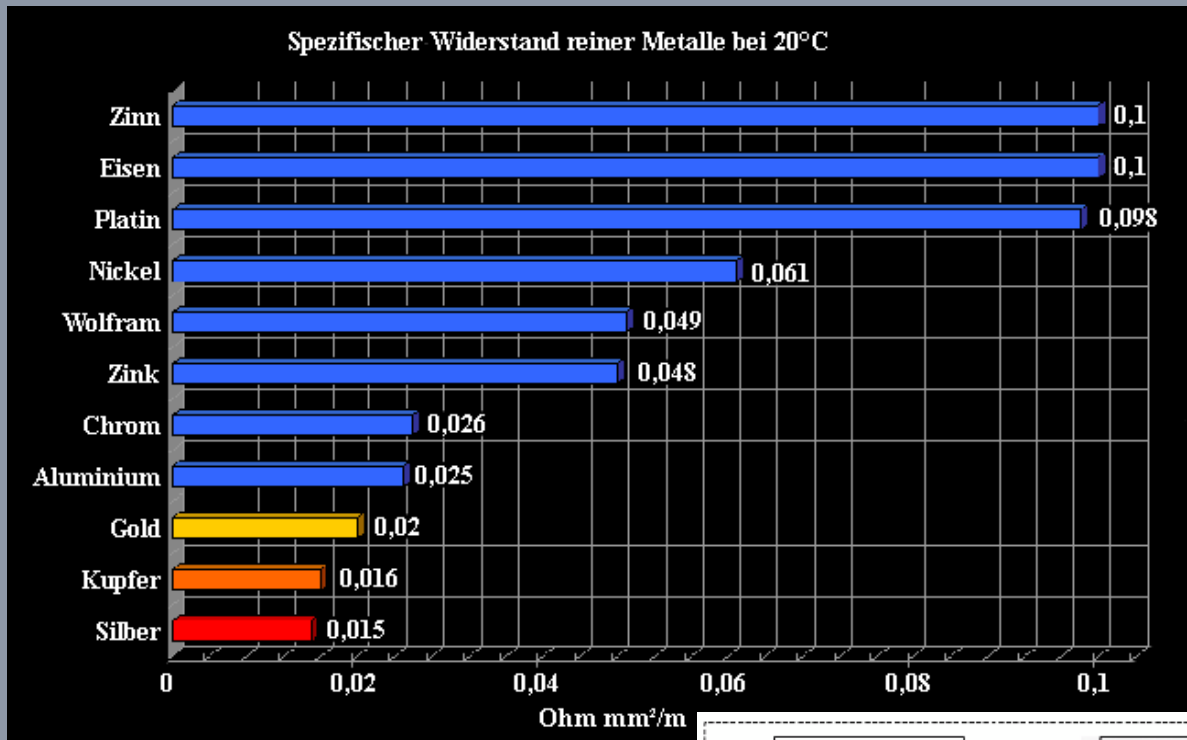
Formel zur Berechnung

$$\text{Spez. Widerstand } \rho = \frac{\text{Elektr. Widerstand } R \cdot \text{Leiterquerschnitt } q}{\text{Leiterlänge } l}$$

$$\rho = \frac{R \cdot q}{l}$$

Spezifischer Widerstand ρ

Beispiele für den spezifischen Widerstand

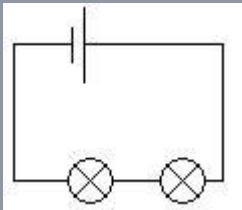


Elektrischer Stromkreis – Mehrere Widerstände

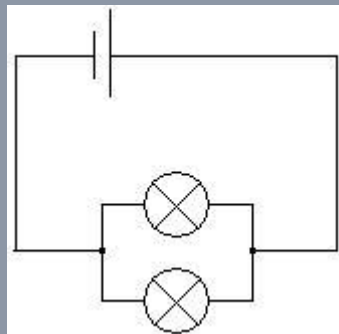
Problem:

Wie verhalten sich die Teilspannungen, Teilstromstärken und Einzelwiderstände zur Gesamtspannung, Gesamtstromstärke und zum Gesamtwiderstand, wenn ein Stromkreis mehrere Widerstände („Verbraucher“) enthält?

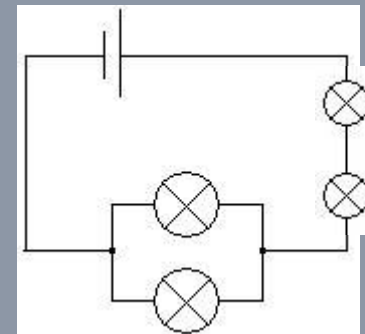
Mögliche Szenarien:



(unverzweigte)
Reihen- (Serien-) schaltung



(verzweigte)
Parallelschaltung



gemischte
Schaltung

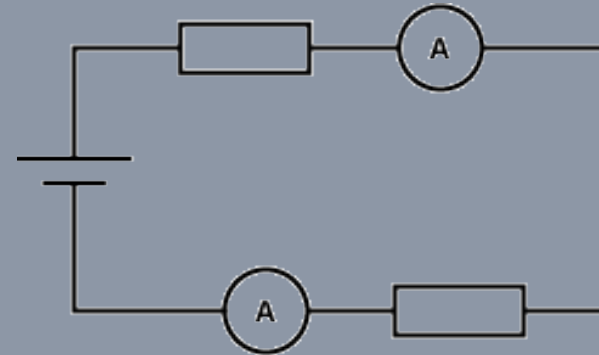
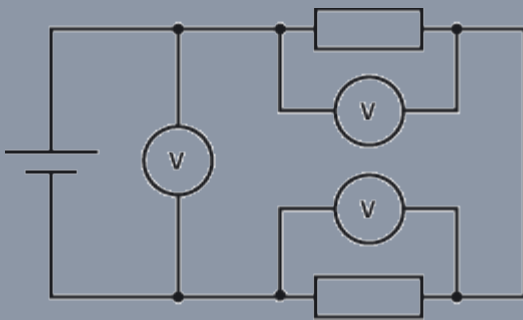
Elektrischer Stromkreis – Mehrere Widerstände

Vorbetrachtungen:

Wie misst man Spannung (V)

und

Stromstärke (A)?



Um die Spannung
(den Potentialunterschied)
zwischen zwei Punkten
(z.B. an beiden Enden eines Bauelements)
in einer Schaltung zu messen,
klemmt man das Messgerät über diese Punkte.

Die Schaltung muss dazu NICHT geöffnet
werden.

Um die Stromstärke,
die durch einen Leiter oder Pfad fließt,
zu messen, muss dazu der Leiter an dieser Stelle
geöffnet werden.

Das Messgerät wird direkt in diesen Pfad
eingebunden.

Die Schaltung muss dazu geöffnet werden.

Elektrischer Stromkreis – Mehrere Widerstände

Vorbetrachtungen:

Das Messen einer Spannung ist gleichzusetzen mit dem Messen einer Potentialdifferenz.

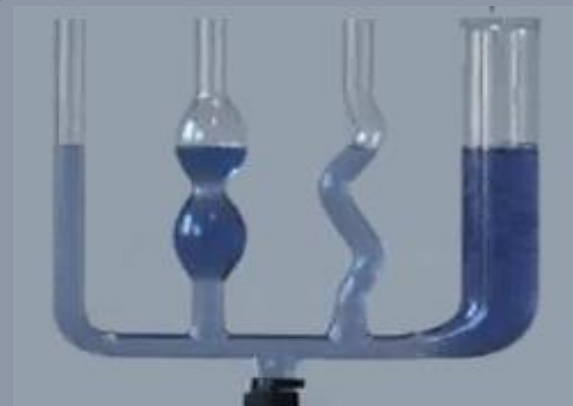
Diese Potentialdifferenz entsteht über Bauelementen, die einen Widerstand besitzen:

- Glühlampen, Motoren, geöffnete Schalter (Widerstand „unendlich“) ...

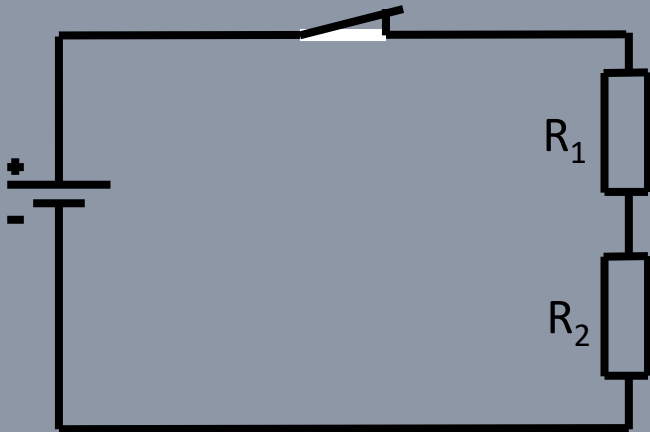
Die bloße Verbindung der Bauelemente wird als widerstandslos angesehen

Kein Widerstand – keine Potentialdifferenz

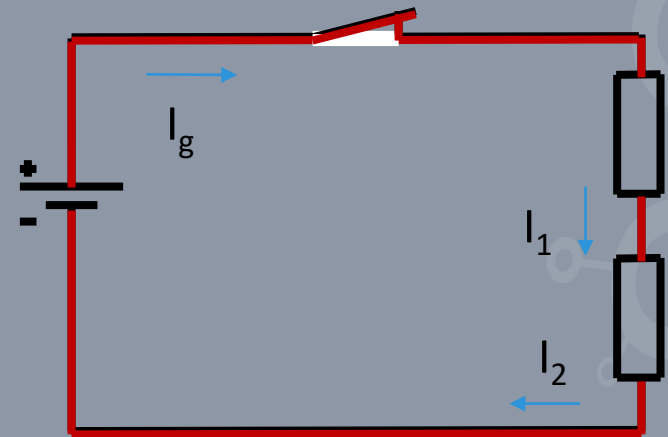
Veranschaulichung: Schlauchwaage oder „Kommunizierende Röhren“



Elektrischer Stromkreis – Reihenschaltung



gleiche
Stromstärke



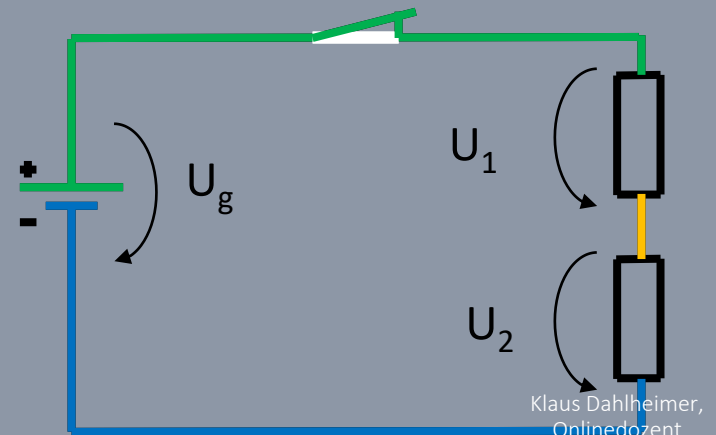
Die Stromstärke durch alle
in Reihe geschalteten Verbraucher
ist gleich der Gesamtstromstärke
 $I_g = I_1 = I_2$

Die Summe der Spannungen über allen
in Reihe geschalteten Verbrauchern
ist gleich der Gesamtspannung
 $U_g = U_1 + U_2$

Die Widerstände addieren sich zum Gesamtwiderstand:

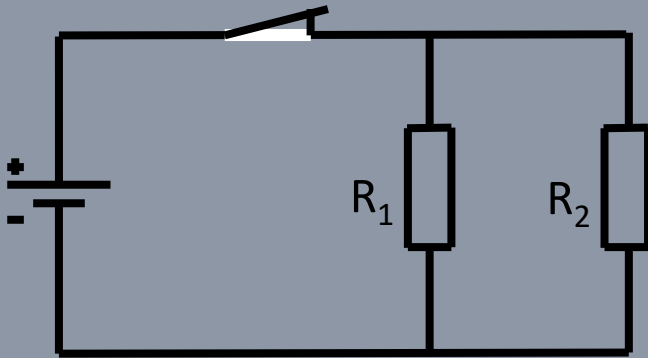
49 $R_g = R_1 + R_2$

gleiches
Potential
(Test mit der
Schlauchwaage ☺)



Klaus Dahlheimer,
OnlineDozent

Elektrischer Stromkreis – Parallelschaltung



Die Summe der Stromstärke durch alle parallel geschalteten Verbraucher ist gleich der Gesamtstromstärke

$$I_g = I_1 + I_2$$

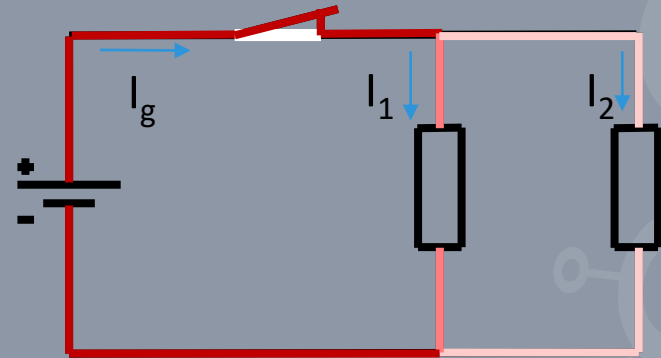
Die Spannungen über allen parallel geschalteten Verbrauchern sind gleich der Gesamtspannung

$$U_g = U_1 = U_2$$

Die Leitwerte (G) addieren sich zum Gesamtleitwert:

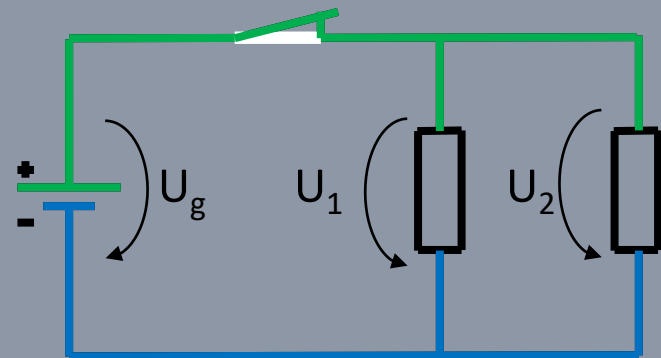
$$G_g = G_1 + G_2 \quad (R = 1 / G)$$

gleiche
Stromstärke



gleiches
Potential

(Test mit der
Schlauchwaage
☺)



Elektrischer Leitwert

Der elektrische Leitwert ist der Kehrwert des ohmschen Widerstandes und damit die Kenngröße eines elektrischen Bauelements. Er ist nicht zu verwechseln mit der elektrischen Leitfähigkeit, einer Materialkonstante. Das Formelzeichen des elektrischen Leitwerts ist **G**, seine Maßeinheit Siemens mit dem Einheitenzeichen **S**.

$$G = \frac{1}{R} = \frac{I}{U}$$

Die physikalische Größe Leitwert kann jederzeit aus dem ohmschen Widerstand **R** eines konkreten Bauelementes bzw. den Werten der Stromstärke **I** und Spannung **U** errechnet werden.

Wenn ein Verbraucher elektrischen Strom gut leitet, so hat er einen hohen Leitwert und einen geringen Widerstand. Der Leitwert eines Körpers hängt ab von seinen geometrischen Abmessungen und einer materialspezifischen Konstante, der elektrischen Leitfähigkeit. Diese ist der Kehrwert des spezifischen Widerstandes.

Elektrische Leistung P [W]

- Die elektrische Leistung ist ein Wert, den wir in der Elektronik und Elektrotechnik in den unterschiedlichsten Definitionsausprägungen vorfinden. Die Gemeinsamkeit aller Leistungen (bei Gleichspannungen) ist die Maßeinheit und das Formelzeichen.

Formelzeichen

Das Formelzeichen der elektrischen Leistung ist das große P .

Maßeinheit

Die Grundeinheit der elektrischen Leistung ist das Watt (W) oder auch Voltampere (VA). Letzteres ergibt sich aus der Berechnung durch Spannung und Strom.

- Die Angabe der Maßeinheit VA findet man häufig auf Transformatoren und Elektromotoren.

Elektrische Leistung P

Megawatt	1 MW	1 000 000 W	10^6 W
Kilowatt	1 kW	1 000 W	10^3 W
Watt	1 W	1 W	10^0 W
Milliwatt	1 mW	0,001 W	10^{-3} W
Mikrowatt	1 μW	0,000 001 W	10^{-6} W

Verfügbare allgemeine Leistung

- Die verfügbare Leistung ist die Leistung, die eine Strom- bzw. Spannungsquelle liefern kann bzw. an einem Widerstand als Wärme, Licht, Antrieb, Arbeit umgesetzt wird.
- Sie errechnet sich deshalb aus dem Produkt von Strom und Spannung: $P = U \cdot I$
- Ein Gleichspannungsnetzteil mit den Maximalwerten 30 V und 2 A hat z.B. eine Ausgangsleistung von maximal 60 W.

Elektrische Leistung P

Nutzleistung

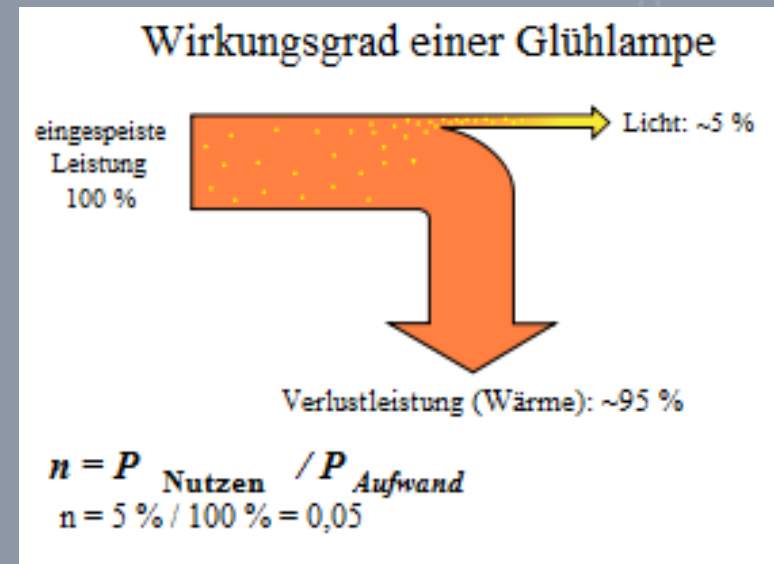
- Die Nutzleistung ist die Leistung, die ein Verbraucher im Normalbetrieb benötigt bzw. verbraucht. Durch eine Glühlampe mit **60 W**, die in einer Lampe an **230 V** betrieben wird, fließt ein Wechselstrom von **0,261 A**.

Leistung P_{tot}

- Elektronische Bauelemente und vor allem Halbleiter, haben Maximalwerte innerhalb denen sie betrieben werden dürfen. Werden diese Werte nicht berücksichtigt, so führt das zur Zerstörung des Bauelementes.
- Die Leistung P_{tot} gibt an, ab welcher Leistung das Bauelement zerstört wird. Fällt an einem Widerstand eine Spannung von **10 V** ab und fließt ein Strom von **0,5 A** durch ihn hindurch, dann muss er eine Leistung von **5 W** vertragen können (eher mehr).
- Bei der Dimensionierung von Schaltungen und Bauelementen ist auf eine ausreichende Reserve bis zur Leistung P_{tot} zu sorgen.

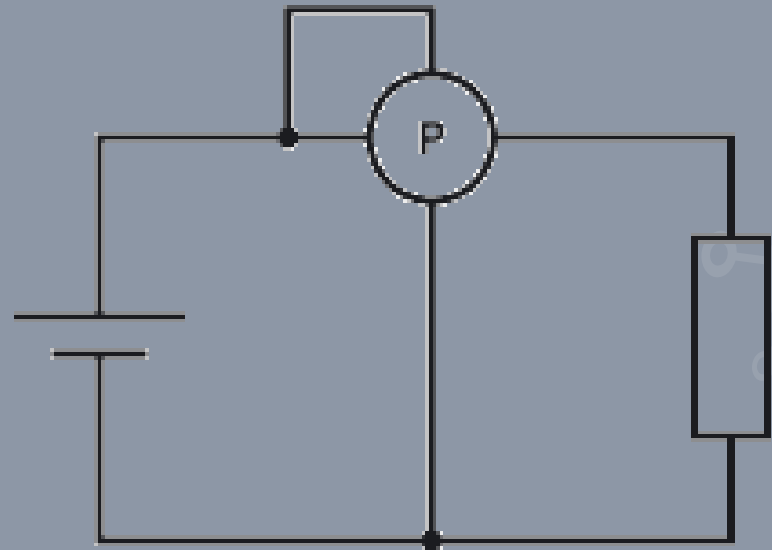
Verlustleistung

- Die Verlustleistung ist die in einem Bauelement unerwünscht in Wärme umgesetzte Leistung.
- Die Verlustleistung spielt hauptsächlich in Halbleiterbauelementen, wie z.B. dem Transistor, CPUs eine Rolle.
- Es ist deshalb bei einer großen Wärmeentwicklung für ausreichende Kühlung durch Kühlbleche oder Kühlkörper zu sorgen. Bei Prozessoren wird aktiv, mit Lüfter, gekühlt.



Messen der elektrischen Leistung

- Durch separates Messen des Stromes und der Spannung kann indirekt die elektrische Leistung eines Bauelementes innerhalb einer Schaltung bestimmt (berechnet) werden.



Formeln zur Berechnung

- Die elektrische Leistung ist rechnerisch ein Produkt aus elektrischer Spannung und elektrischem Strom. Je größer die Spannung oder der Strom ist, desto größer ist die Leistung. Ähnlich, wie die Größe „Fläche“ durch Längen- und Breitenangaben beeinflusst wird.

$$\text{Elektr. Leistung } P = \text{Elektr. Spannung } U \cdot \text{Elektr. Strom } I$$

$$P = U \cdot I$$

- Die Leistung **P** wächst proportional zum Quadrat des Stromes **I**.
Das bedeutet: Wird der Strom verdoppelt, vervierfacht sich die Leistung.

$$\text{Elektr. Leistung } P = \text{Elektr. Widerstand } R \cdot \text{Elektr. Strom } I^2$$

$$P = R \cdot I^2$$

- Die Leistung **P** wächst proportional zum Quadrat der Spannung **U**.
Das bedeutet: Wird die Spannung verdoppelt, vervierfacht sich die Leistung.

$$\text{Elektrische Leistung } P = \frac{\text{Elektrische Spannung } U^2}{\text{Elektrischer Widerstand } R}$$

$$P = \frac{U^2}{R}$$

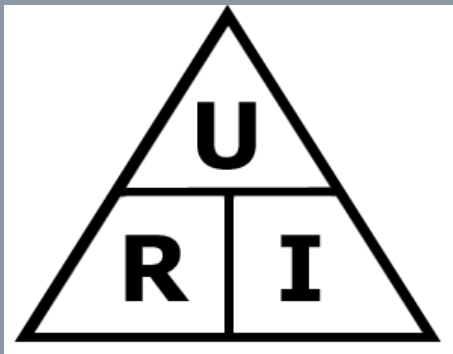
- und zuletzt noch:

kWh (kW/h) ist die Einheit für Energie = Leistung in Zeiteinheit

1 kW/h ist die Erbringung einer Leistung von 1000 W pro Stunde

Elektrischer Stromkreis – Ohmsches Gesetz

die Zusammenhänge in Formeln zusammengefasst:



weitere Merkhilfen für die Formel:

"RUdI" für "R = U durch I"

"URI" (Kanton in der Schweiz) für

"U = R · I"

OHMS LAW:

R = resistance in ohm, U = voltage in Volt

I = current in Ampere, P = power in Watt

