

## Elektrische Grundgrößen

### ELEKTRIZITÄTSLEHRE

Elektrische Größen

#### Motivation für die Verwendung von Größen

Wenn du eine Wanderung machst und einen Einheimischen fragst, wie weit es noch zu deinem geplanten Ziel ist und er gibt dir zur Antwort "Die Strecke ist noch lang." so hat diese Information für dich schon einen gewissen Wert. Mit einer präziseren Angabe wie "Es sind noch 8 km." wäre dir mehr geholfen.

- In der Elektrizitätslehre haben wir bisher von großen und kleinen Strömen gesprochen, genaue Angaben haben wir aber nicht gemacht.
- Wir wissen inzwischen, dass man sich den elektrischen Strom als das Fließen von Ladungen vorstellen kann, einen "zahlenmäßigen" (quantitativen) Zusammenhang zwischen Ladung und Strom kennen wir noch nicht.
- Bei der Charakterisierung von elektrischen Quellen sprachen wir - etwas nebulös - von deren "Stärke" oder "Voltzahl", aber genauer haben wir diese Begriffe nicht geklärt.

In diesem Abschnitt soll nun etwas Licht ins Dunkel gebracht werden. Du wirst mehr über elektrische Größen erfahren, wenngleich eine ganz genaue Festlegung erst in einer späteren Stufe erfolgen wird.

#### Stromfluss hängt vom Stromkreis ab

Welchen Strom ein und die selbe Quelle (mit fester Spannung  $U$ ) bewirkt, hängt vom angeschlossenen Stromkreis ab. In folgenden drei Versuchen wird eine elektrische Quelle mit stets gleicher Stärke verwendet.

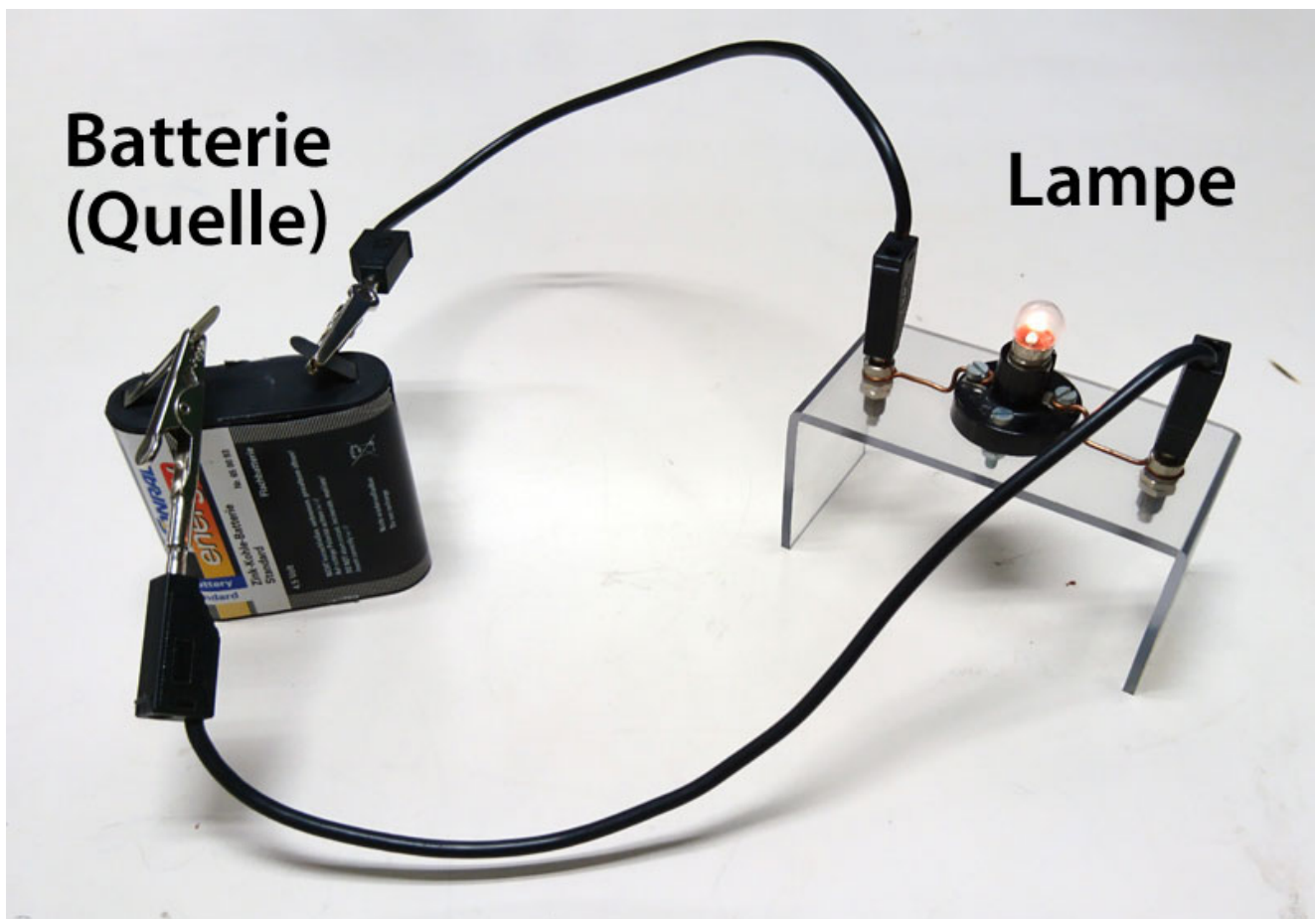


Abb. 2 Stromkreis mit leuchtender Lampe

- Im ersten Versuch leuchtet das Lämpchen mit normaler Helligkeit.

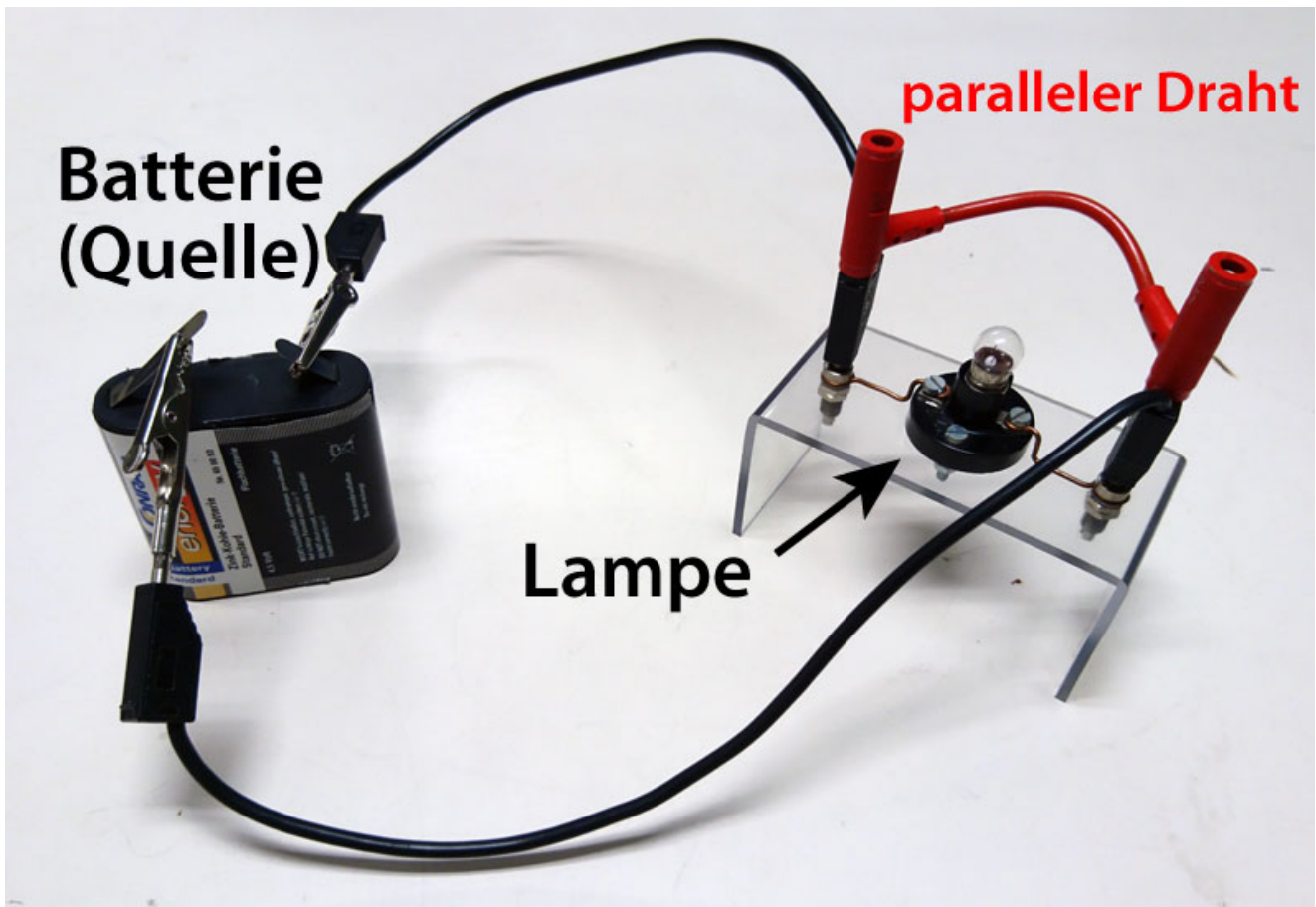


Abb. 3 Kurzgeschlossene Lampe

- Im zweiten Versuch leuchtet das Lämpchen nicht, da zu ihm **parallel** ein Draht geschaltet ist (Kurzschluss). Der Draht hemmt den Elektronenfluss weniger als das Lämpchen, so dass nahezu alle Elektronen über diesen Draht vom Minus- zum Pluspol fließen.

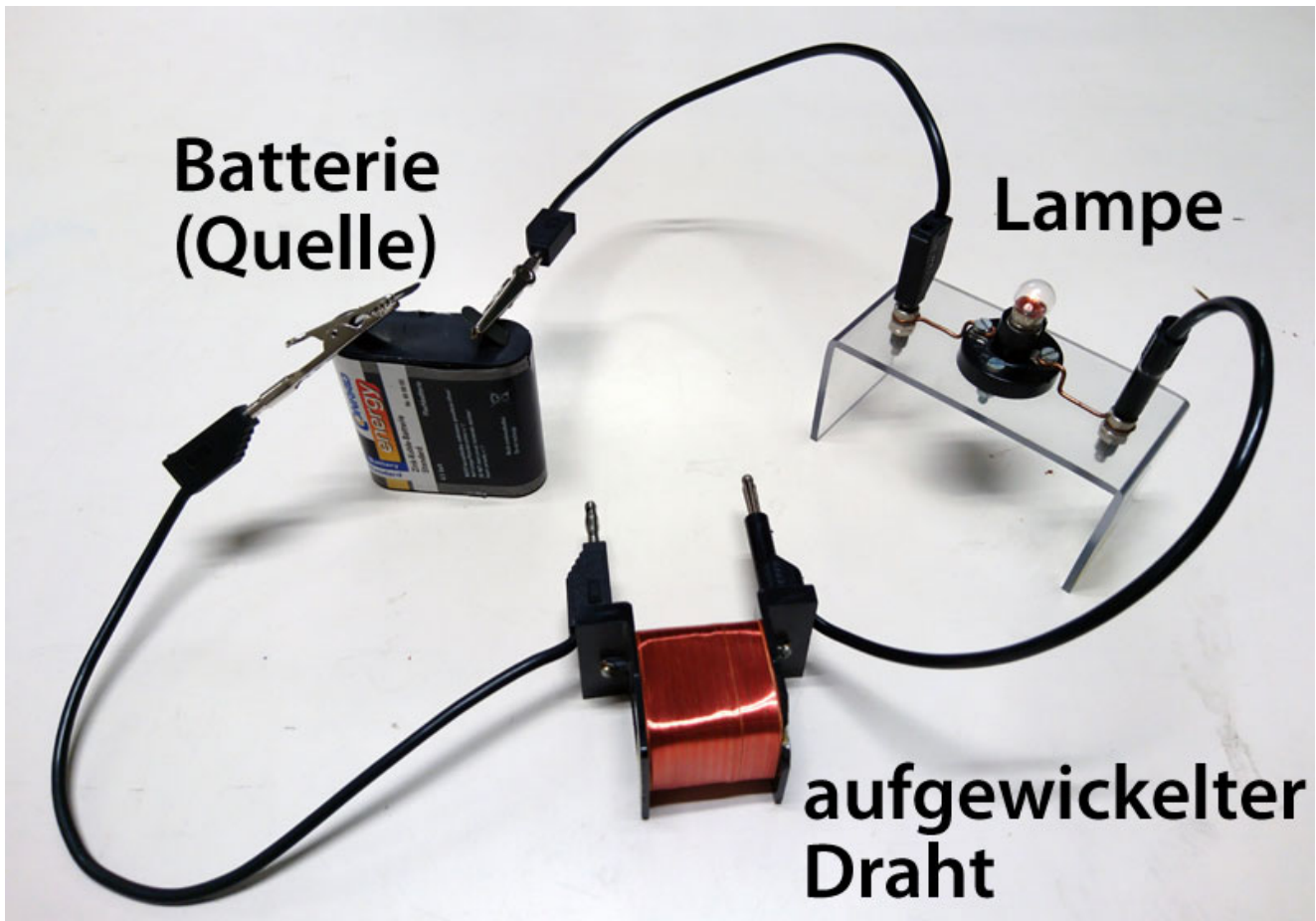


Abb. 4 Mit langem Draht und Lampe

- Der lange Draht (aufgewickelt auf einer Spule), der **in Reihe** zum Lämpchen geschaltet wurde, hemmt - wie das Lämpchen - den Elektronenfluss, so dass eine geringere Helligkeit wie beim ersten Versuch festzustellen ist.

### Widerstand eines Stromkreises

Um das "Hemmungsvermögen" eines Stromkreises (oder eines Elementes davon) charakterisieren zu können, hat man die physikalische Größe **Widerstand** eingeführt. Dem Widerstand wird der Großbuchstaben  $R$  zugeordnet.

#### Eigenschaften von physikalischen Größen

- 1) Für jede physikalische Größe muss entweder eine Messvorschrift festgelegt sein<sup>1</sup> oder eine Rechenvorschrift bestehen, wie die Größe aus anderen physikalischen Größen zu bestimmen ist<sup>2</sup>.  
<sup>1</sup>z.B. muss klar definiert sein, wie die physikalische Größe Länge (die Länge einer Strecke) zu messen ist.  
<sup>2</sup> z.B. ist die Fläche  $A$  eines Rechtecks nach der Formel  $A = \ell \cdot b$  genau festgelegt ( $\ell$ : Länge des Rechtecks;  $b$ : Breite des Rechtecks)
- 2) Jeder physikalischen Größe wird ein Symbol zugeordnet (z.B. für die Streckenlänge ein  $\ell$ , welches kursiv geschrieben werden sollte).  
 Die Längenangabe  $\ell = 8\text{km}$  enthält die **Maßzahl** 8 und die **Maßeinheit** km.

### Weiterführende Artikel

>

Ladung und Strom - Einführung

Den Zusammenhang zwischen der Größe "elektrische Ladung" (Formelzeichen  $Q$ ) und der Größe "elektrische Stromstärke" (Formelzeichen  $I$ ) erkennt man gut, wenn man zunächst zwei mechanische Analogien betrachtet.

#### Verkehrsanalogie

#### Wasseranalogie

Man könnte ähnlich wie bei der Verkehrsanalogie die elektrische Stromstärke feststellen, indem man die Elektronen zählt, die pro Zeiteinheit durch einen Testfläche treten. Da dies in der Praxis nicht möglich ist (einzelne Elektronen sind nur mit einem Riesenaufwand registrierbar), geht man bei der Definition der elektrischen Stromstärke wie bei der Wasseranalogie vor.

#### Definition der elektrischen Stromstärke

Im elektrischen Stromkreis ist die Stromstärke umso größer, je mehr Ladungen pro Zeiteinheit durch eine gedachte Testfläche im Leiter fließen. Man legt fest:

$$\text{elektrische Stromstärke} = \frac{\text{Ladung durch Testfläche}}{\text{Messzeit}}$$

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \Leftrightarrow \Delta Q = I \cdot \Delta t$$

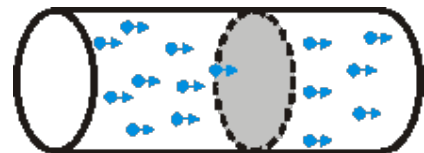


Abb. 4 Definition der elektrischen Stromstärke

**Beachte:** Gleiche Stromstärke heißt nicht gleiche Geschwindigkeit der Ladungsträger.

### Weiterführende Artikel

>

Zur Festlegung der physikalischen Größe "Stromstärke" muss in erster Linie die Einheit festgelegt werden:

**Einheit der Stromstärke: 1 A**

Die Einheit der Stromstärke ist das Ampere. Ein Ampere wird heute durch die magnetische Kraft zwischen zwei geraden, von konstantem Strom durchflossenen Leitern festgelegt (vgl. hierzu auch "Magnetische Wirkungen des Stroms").

Will man in Kurzschreibweise ausdrücken, dass die Einheit der physikalischen Größe *I* das Ampere ist, so kann man schreiben:

$$[I] = 1 \text{ A}$$

Wenn du an Details der Einheitenfestlegung interessiert sind, so lies die Seite über die **Stromstärkeneinheit** durch.

**Ober- und Untereinheiten**

Um kleinere Ströme bequem beschreiben zu können, führt man Untereinheiten der Stromstärke ein. Beispiele:

$$1 \text{ Millampere: } 1 \text{ mA} = 1/1000 \text{ A} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

$$1 \text{ Mikroampere: } 1 \mu\text{A} = 1/1000\,000 \text{ A} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ A}$$

Um größere Ströme bequem beschreiben zu können, führt man Obereinheiten der Stromstärke ein. Beispiel:

$$1 \text{ Kiloampere: } 1 \text{ kA} = 1000 \text{ A} = 1 \cdot 10^3 \text{ A}$$



André Marie AMPÈRE  
(1775 - 1836)  
von Ambrose Tardieu [Public domain], via Wikimedia Commons

**Einheit der Ladung: 1 As = 1 C**

Über den Zusammenhang zwischen Ladung und Stromstärke kann nun die Einheit der Ladung erschlossen werden:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \Leftrightarrow \Delta Q = I \cdot \Delta t$$

Damit folgt als Ladungseinheit

$$[Q] = [I] \cdot [t] = 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ s} = 1 \text{ As (Amperesekunde)} = 1 \text{ C (Coulomb)}$$

C (Coulomb) ist eine ältere Ladungseinheit und erinnert an den Physiker COULOMB, der sich intensiv mit Ladungen beschäftigte.

Eine Obereinheit der Amperesekunde ist die Amperestunde (Ah). Diese Einheit wird oft benutzt, wenn man angeben will wie viel elektrische Ladung in einer Batterie enthalten ist.

Mitteilung zur Ladung eines Elektrons (Elementarladung)

Ein Elektron ist negativ geladen und besitzt die Elementarladung  $e = - 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As}$ . Es gibt nur Vielfache dieser kleinsten Ladungseinheit.



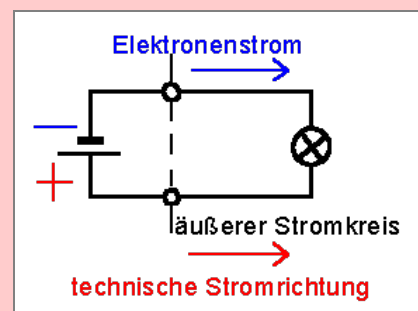
Charles Augustin de COULOMB  
(1736 - 1806)  
unbekannter Autor [Public domain], via Wikimedia Commons

**Technische Stromrichtung - Elektronenstromrichtung / Richtung des Elektronenstroms**

Ampère hat die Stromrichtung vom Pluspol zum Minuspol festgelegt (technische Stromrichtung).

**Hinweis:** Wie es zu dieser Festlegung der Stromrichtung gekommen ist, wird auf der Seite "Stromrichtung" näher erläutert.

Die Elektronen in metallischen Leitern hingegen fließen vom Minuspol zum Pluspol (Elektronenstromrichtung)



## Hinweise für Wissbegierige

Da die elektrische Stromstärke im internationalen Einheitensystem (SI-System) eine **Basisgröße** ist, muss man neben der Einheit auch noch festlegen, wie man die Gleichheit und die Vielfachheit zweier Ströme feststellen kann.

Gleichheit der Stromstärke

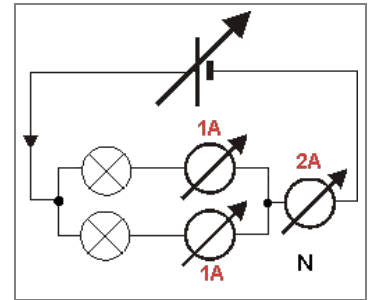
Zwei elektrische Ströme sind gleich groß, wenn sie am gleichen Messinstrument (z.B. Drehspulinstrument) den gleichen Ausschlag hervorrufen.

Vielfachheit der Stromstärke

**⚠** Fälschlicherweise wird von manchen Schülern die Vielfachheit der Stromstärke dadurch festgelegt, dass sie z. B. sagen: "Der doppelte Strom fließt dann, wenn der Ausschlag des Messinstrumentes doppelt so hoch ist wie beim einfachen Strom. Diese Festlegung wäre nur bei speziell präparierten Messgeräten richtig. Viele Strommessgeräte haben keine lineare Skala. Um unabhängig von speziellen Messgeräten zu sein, wählt man eine Festlegung der Vielfachheit der Stromstärke, die auf die Modellvorstellung vom Strom zurückgeht.

Will man z.B. die 2A-Marke bei einem Messgerät N festlegen, bei dem die 0A- und die 1A-Marke schon vorhanden ist, so sagt man:

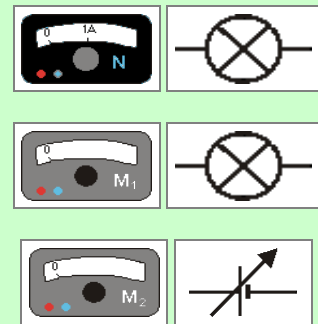
Fließt in jeder Zweigleitung z. B. der Strom 1A, so soll der Strom in der Hauptleitung 2A betragen.



Gegeben ist ein "Normmessinstrument" N mit den Marken 0A und 1A. Außerdem stehen zwei Messinstrumente  $M_1$  und  $M_2$  zur Verfügung, welche nur die Marke 0A besitzen. Zusätzlich kannst du auf baugleiche, geeignete Lämpchen, eine einstellbare Stromquelle und Schaltmaterial zurückgreifen.

Wie muss man experimentell vorgehen, damit man am Normmessinstrument N die Marke 2 A findet?

Lösung einblenden



## Weiterführende Artikel

>

Elektrische Spannung

## Rückblick

Zur Festlegung der physikalischen Größe Spannung muss in erster Linie die Einheit festgelegt werden:

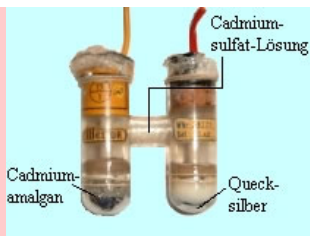
Einheit der Spannung: 1V

Die Einheit der Spannung ist das Volt. Eine speziell aufgebaute Batterie (Normalelement) hat genau die Spannung 1V.

Will man in Kurzschreibweise ausdrücken, dass die Einheit der physikalischen Größe  $U$  das Volt ist, so kann man schreiben:

$[U] = 1V$

**Ober- und Untereinheiten**



Um kleinere Spannungen bequem beschreiben zu können, führt man Untereinheiten ein. Beispiele:

$$1 \text{ Millivolt: } 1 \text{ mV} = 1/1000 \text{ V} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ V}$$

$$1 \text{ Mikrovolt: } 1 \mu\text{V} = 1/1000 \text{ 000 V} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ V}$$

Um größere Spannungen bequem beschreiben zu können, führt man Obereinheiten ein. Beispiele:

$$1 \text{ Kilovolt: } 1 \text{ kV} = 1000 \text{ V} = 1 \cdot 10^3 \text{ V}$$

$$1 \text{ Megavolt: } 1 \text{ MV} = 1000 \text{ 000 V} = 1 \cdot 10^6 \text{ V}$$

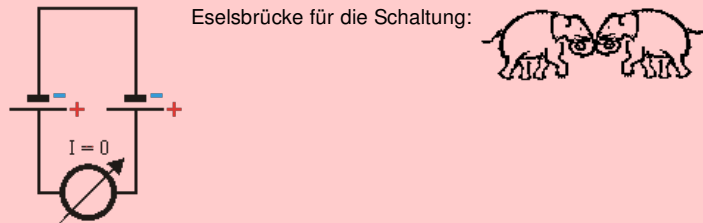


Alessandro VOLTA (1745 - 1827)  
 von Dr. Manuel at de.wikipedia [Public domain], vom Wikimedia Commons

### Hinweise für Wissbegierige

Wie stellt man die Gleichheit von Spannungen fest?

Zwei Quellen haben gleiche Spannung, wenn sie entweder a) im gleichen Stromkreis die gleiche Stromstärke hervorrufen oder b) beim Gegeneinanderschalten im Stromkreis den Strom Null erzeugen.



Wie erhält man Vielfache von 1V?

Durch Hintereinanderschalten von n gleichen Stromquellen der Spannung 1 V erhält man eine Spannung von n Volt.

### Weiterführende Artikel

>

### Elektrische Spannung und Energie

Im Anfangsunterricht hast Du den Spannungsbegriff bereits kennen gelernt. Die wichtigsten Ergebnisse sind hier nochmals zusammengestellt:

- Zur Charakterisierung der "Stärke" der elektrischen Quelle führt man die Größe "elektrische Spannung  $U$ " ein. Die **Spannung  $U$**  kennzeichnet die Fähigkeit der Quelle, in einem angeschlossenen äußeren Stromkreis einen Strom aufrechtzuerhalten, sie ist also **die Ursache für den Strom**.
- Durch Vergleich mit einem mechanischen Modell bezeichneten wir die Spannung auch als "**elektrischen Höhenunterschied**".
- Die Spannung führten wir als physikalische Basisgröße ein, bei der eine Messvorschrift für die Einheit, Gleichheit und Vielfachheit angegeben wurde.

Im weiteren wollen wir den energetischen Aspekt der elektrischen Spannung, der auch schon im Begriff "elektrischer Höhenunterschied" anklingt, näher betrachten. Dabei wird sich herausstellen, dass die Einführung der Spannung als Basisgröße nicht mehr notwendig ist.

### Vergleich mit einem offenen Wasserkreislauf

Wir vergleichen zunächst einen Wasserkreis mit einem elektrischen Stromkreis und gelangen zu den folgenden Entsprechungen:

Wasserkreis	Stromkreis
Quelle: Pumpe + Wasserbassin	Batterie
potentielle Energie des Wassers im oberen Becken	potentielle Energie der freien Elektronen am Minuspol
Höhenunterschied-Ortsbeschleunigung*	Spannung
Wasserstrom	Elektronenstrom
"Verbraucher": Turbine	"Verbraucher": Glühlampe
Masse des Wassers	Ladung des Elektrons

\* = Es ist sinnvoll, statt der zunächst naheliegenden Entsprechung  $\Delta h \rightarrow U$  die Entsprechung  $g \cdot \Delta h \rightarrow U$  zu verwenden. Dabei bedeutet  $g$  die Erdbeschleunigung am jeweiligen Ort. Sie ist an ein und demselben Ort eine Konstante, so dass nach wie vor gilt:  $\Delta h \sim U$ .

#### Hinweise:

- Aus den obigen Bildern kann auch abgeleitet werden: Ist der Kreis unterbrochen, dann besteht im Wassermodell trotzdem der Höhenunterschied  $\Delta h$  und die potentielle Energie des Wassers im obigen Becken ist auch vorhanden. Im elektrischen Kreis besteht analog auch bei Unterbrechung des Kreises die elektrische Spannung und die potentielle Energie der freien Elektronen am Minuspol. Kurz: **Die Spannung der Quelle besteht auch ohne Stromfluss.**
- Das der Masse  $m$  des Wassers die elektrische Ladung  $Q$  entspricht ist naheliegend, da die Erdanziehungskraft auf Massen wirkt und die elektrische Kraft auf Ladungen. Durch einen Vergleich der beiden Bilder gelangen wir mit dieser Entsprechung zu einer neuen Definition der Spannung als abgeleitete Größe:

#### Spannung als abgeleitete Größe

Wasserkreis	entspricht	Stromkreis
Masse $m$		Ladung $Q$
$g \cdot \Delta h$		Spannung $U$
-----		
Für die potentielle Energie gilt:		Für die potentielle Energie gilt:
$E_{\text{pot,Wasser}} = m \cdot g \cdot \Delta h$		$E_{\text{pot,Elektron}} = Q \cdot U$
		$\Rightarrow U = \frac{E_{\text{pot,Elektron}}}{Q}$

Abb. 2 Abgeleitete Definition der Spannung

#### Definition der elektrischen Spannung

Die Spannung einer elektrischen Quelle ist der Quotient aus der potentiellen Energie einer Ladung und dem Ladungsbetrag oder anders ausgedrückt, der Energiebetrag pro Ladungseinheit:

$$U = \frac{E_{\text{pot}}}{Q} \Rightarrow [U] = 1 \frac{\text{J}}{\text{As}} = 1\text{V}$$

Aus dieser Festlegung erkennst du, dass nun die Spannung eine aus den Größen Energie und Ladung abgeleitete Größe ist. Jetzt erkennt man auch den Sinn der oben verwendeten Analogie zur Mechanik, denn wegen

$$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot \Delta h \Rightarrow g \cdot \Delta h = \frac{E_{\text{pot}}}{m}$$

ist  $g \cdot \Delta h$  die potentielle Energie pro Masseneinheit.

## Zunehmende Spannung

### Strom und Elektronen werden nicht verbraucht!

Im Sprachgebrauch hört man oft Sätze wie "*das Gerät verbraucht viel Strom*". Als physikalisch vorgebildeter Mensch weißt du inzwischen, dass Strom nicht verbraucht wird. Die Elektronen werden von der elektrischen Quelle angetrieben kehren aber in ihrer Gesamtzahl wieder zu ihr zurück. Wenn am Ende eines Monats die Stromrechnung kommt bezahlen wir nicht für "verbrauchte Elektronen" sondern für die Energie, welche die Elektronen mit sich führten. Der Elektronenkreislauf bildet lediglich das Transportmittel für die elektrische Energie, die von der Quelle zum "Verbraucher" gelangt (ähnlich wie die Lastwägen, die als Transportmittel von Gütern dienen). Die elektrische Spannung ist ein Maß für die Energie, welche die Quelle bei Fließen der Ladung  $Q$  abgibt.

In der folgenden Abbildung, die auf einen Vorschlag von Prof. Heinz Muckenfuß zurückgeht, kommt zum Ausdruck, dass die Elektronen in einem Kreis strömen (also wieder zur Quelle zurückkehren), während die Energie einen linearen Verlauf von der Energiequelle zum "Energieverbraucher" aufweist.

### Weiterführende Artikel

---

>

---