

Eine Einführung in die Elektrizitätslehre mit Potenzial



Eine Einführung in die Elektrizitätslehre mit Potenzial

Stand: 22.10.2018

entwickelt und erstellt von

Dr. Jan-Philipp Burde

basierend auf einem Promotionsprojekt betreut von

Prof. Dr. Thomas Wilhelm

unter Mitarbeit von

- Prof. Dr. Martin Hopf
- Prof'in. Dr. Claudia Haagen-Schützenhöfer
- Prof'in. Dr. Verena Spatz
- Dr. Lana Ivanjek
- StR'in Liza Dopatka
- Mag. Thomas Schubatzky

Mehr Informationen und Begleitmaterial unter

www.einfache-elehre.de

ISBN

978-3-00-061201-5

finanziell gefördert durch die

Deutsche Telekom Stiftung

Lizenz



veröffentlicht unter der Creative Commons Lizenz CC BY-NC-SA 3.0 DE

Namensnennung – nicht kommerziell – Weitergabe unter gleichen Bedingungen

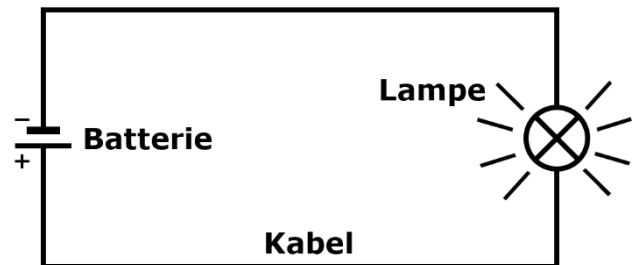
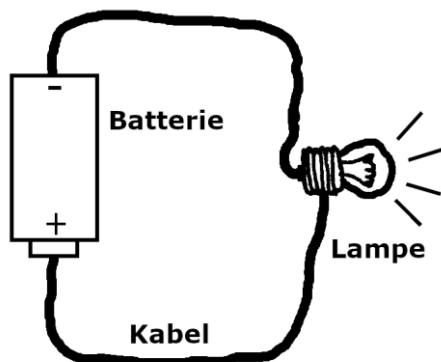
Inhaltsverzeichnis

1) Energieübertragung mit Hilfe von Stromkreisen	1
2) Luftströmungen in Folge von Druckunterschieden.....	4
3) Der elektrische Druck	7
4) Der elektrische Druckunterschied	9
5) Der elektrische Stromkreis	13
6) Der elektrische Widerstand.....	19
7) Die Parallelschaltung	24
8) Die Reihenschaltung.....	30
9) Das Ohm'sche Gesetz	38
10) Übungen zur Wiederholung und Vertiefung.....	42

1) Energieübertragung mit Hilfe von Stromkreisen



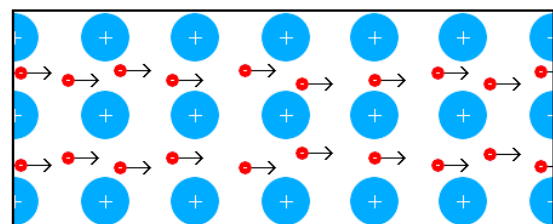
Kaum eine Entdeckung hat unser Leben so nachhaltig verändert wie die Entdeckung der Elektrizität. Wir nutzen Elektrizität heute vor allem zur Übertragung von Informationen und Energie. So wird z.B. Energie von einem Windpark in der Nordsee zu einer Großstadt übertragen, um dort nachts die Lampen zum Leuchten zu bringen. Im Folgenden wollen wir eine Modellvorstellung davon entwickeln, wie man sich die Vorgänge in elektrischen Stromkreisen vorstellen kann.



Ein Lämpchen leuchtet nur in einem **geschlossenen Stromkreis**, d.h. wenn beide Kontakte des Lämpchens mit dem Plus- bzw. Minuspol der Batterie verbunden sind.

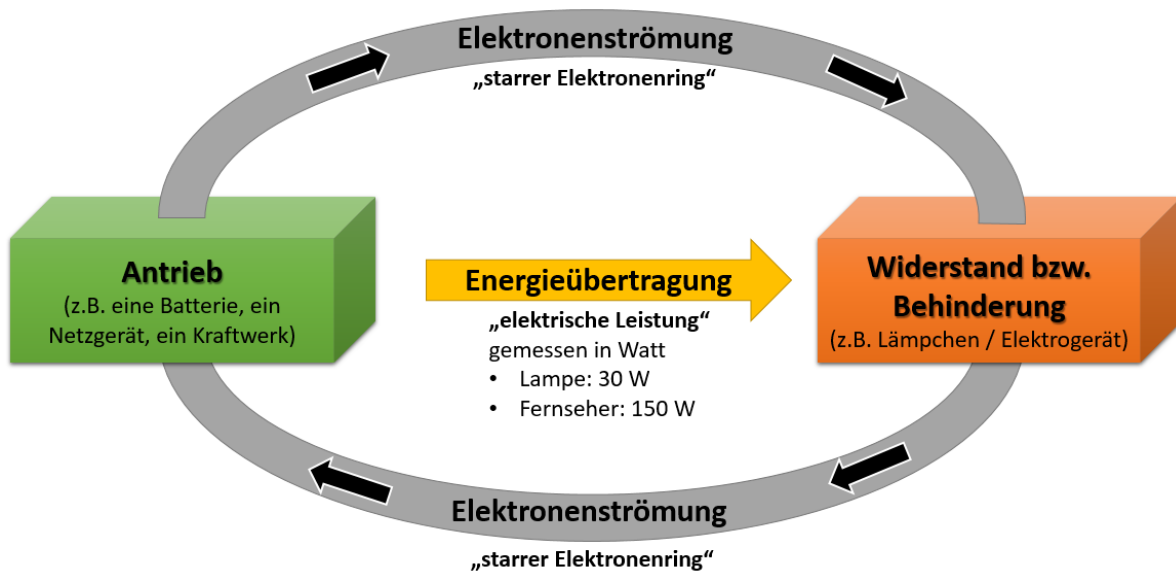
Um Stromkreise übersichtlich darzustellen, verwenden wir in der Physik sogenannte Schaltpläne. Für die Batterie, das Kabel und die Lampe werden dabei bestimmte Symbole verwendet, wie du im Schaltplan oben sehen kannst.

Aber warum brauchen wir einen geschlossenen Stromkreis, um Energie von der Batterie zum Lämpchen zu übertragen? Um das zu verstehen, musst du zunächst einmal eine Vorstellung davon haben, wie das Kupfer im Kabel atomar aufgebaut ist.



Das Kupfer besteht aus ortsfesten Atomrümpfen (blau), die sich nicht fortbewegen können, und freien Elektronen (rot), die gemeinsam durch das Metall strömen können. Diese Elektronen werden in Stromkreisen auch Leitungselektronen genannt und verteilen sich immer gleichmäßig über den gesamten Stromkreis. Ähnlich eines Hula-Hoop-Reifens oder einer Fahrradkette bilden sie aufgrund ihrer gegenseitigen Abstoßung einen „starrten Elektronenring“. Dieser „starre Elektronenring“ wird von der Batterie im Kreis bewegt.


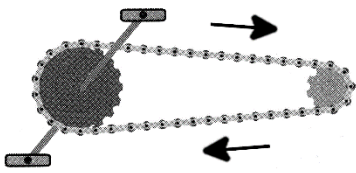
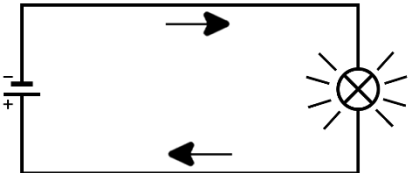
Mit einer Fahrradkette kannst du Energie von deinen Beinen an das Hinterrad übertragen, um das Fahrrad anzutreiben. Ganz ähnlich kann die Batterie mit Hilfe des „starrten Elektronenrings“ im Kupfer Energie zum Lämpchen übertragen, um dieses zum Leuchten zu bringen. Die Elektronen fangen an sich gemeinsam im Kreis zu bewegen, weil die Batterie den „starrten Elektronenring“ am Minuspol anschiebt und am Pluspol an ihm zieht.



Ein elektrisches Gerät wie eine Lampe stellt einen Widerstand also ein Hemmnis bzw. eine Behinderung für die Elektronenströmung dar. Stell dir z.B. eine Lampe vor: Hier müssen sich alle Elektronen durch den engen Glühdraht „quetschen“. Man sagt: Je stärker der „starre Elektronenring“ vom Lämpchen behindert bzw. gebremst wird, desto größer ist dessen elektrischer Widerstand (siehe Darstellung oben).

Mit Hilfe der im Kreis strömenden Elektronen wird in einem Stromkreis Energie von der Batterie (Antrieb) zum Lämpchen (Widerstand) übertragen. Dabei werden im Lämpchen keine Elektronen verbraucht. Die pro Sekunde übertragene Energie wird elektrische Leistung genannt und in der Einheit „Watt“ gemessen, abgekürzt W. Durch das Drehen eines Handkurbelgenerators mit einer Hand schafft man beispielsweise eine Energieübertragung von ca. 30 W. Das reicht aus, um eine Lampe zum Leuchten zu bringen.

Es ist ganz wichtig zu erkennen, dass sich die Energieübertragung bei Stromkreisen fundamental von anderen Formen der Energieübertragung unterscheidet, z.B. von der mit Kohle, Öl, Gas oder Benzin: Kohle und Benzin werden als Überträgermedien der Energie verbraucht, z.B. durch Verbrennung im Motor. Bei den im Kreis strömenden Elektronen ist das hingegen nicht der Fall. Sie sind eher mit den Gliedern einer Fahrradkette zu vergleichen.

Überträgermedium wird verbraucht	Überträgermedium wird nicht verbraucht	
		
<p>Benzin als Überträgermedium der Energie wird abgebaut (z.B. Ölfeld), transportiert (Pipeline, Tankschiff) und im Motor eines Autos verbraucht.</p>	<p>Die Fahradkette als Überträgermedium der Energie zirkuliert vom Antrieb (Pedale) zum Widerstand (Hinterrad) und überträgt so Energie. Dabei werden die Kettenglieder selbst nicht verbraucht.</p>	<p>Die Elektronen im Leiter („starrer Elektronenring“) als Überträgermedium der Energie zirkulieren vom Antrieb (Batterie) zum Widerstand (Lampe) und übertragen so Energie. Dabei werden die strömenden Elektronen (d.h. der elektrische Strom) nicht verbraucht.</p>

Vorsicht



- Die Elektronen des „starrten Elektronenrings“ befinden sich schon im Leiter, bevor die Batterie angeschlossen wird. Grund: Sie sind ein fester Bestandteil von Metallen (genauso wie eine Fahrradkette aus Kettengliedern besteht).
- Eine Batterie „speichert“ keine zusätzlichen Elektronen (wie z.B. Öl in einem Fass gelagert wird), sondern treibt nur den „starrten Elektronenring“ an.
- Genauso wie bei der Fahrradkette alle Kettenglieder im Kreislauf verbleiben, gehen auch im Stromkreis keine Elektronen verloren.
- So wie die Fahrradkette selbst keine Energie besitzt, sondern nur überträgt, besitzt auch der „starre Elektronenring“ selbst keine Energie.

Übungsaufgaben

① Welche elektrischen Geräte nutzt du im Haushalt, in deiner Freizeit oder im öffentlichen Raum? Beschreibe wie dein Leben ohne Elektrizität aussehen würde.

② Beschreibe die Aufgabe eines Kraftwerks oder einer Batterie in einem Stromkreis.

③ Erläutere, wie sich die Energieübertragung bei einem elektrischen Stromkreis von der Energieübertragung bei einer Öl-Pipeline unterscheidet.

④ Zeichne einen Stromkreis bestehend aus einer Batterie und einem Lämpchen. Begründe, warum das Lämpchen nicht leuchtet, wenn du es mit nur einem einzigen Kabel an die Batterie anschließt.

⑤ Elektronen bewegen sich in Kupferdrähten nur sehr langsam. In einer Sekunde legen sie nur etwa 1 Millimeter zurück. Um ein 2 m langes Kabel zu durchströmen, bräuchte ein Elektron also mehr als 30 Minuten. Erkläre, warum ein Lämpchen in einem Stromkreis im Prinzip trotzdem sofort anfängt zu leuchten (egal wie lang die Kabel sind).

⑥ Johannes glaubt, dass in einer Batterie zusätzliche Elektronen gespeichert werden, so wie z.B. Öl in einem Ölfass gelagert wird. Wenn dann ein Stromkreis mit einem Lämpchen an die Batterie angeschlossen wird, strömen die Elektronen vom Minuspol in den zuvor elektronenfreien Leiter in Rich-

tung Lämpchen. Im Lämpchen wird dann ein Teil der Elektronen verbraucht und die restlichen Elektronen strömen zurück zum Pluspol. Erkläre, was an dieser weit verbreiteten Vorstellung alles falsch ist.

⑦ Maria versteht nicht, warum im Physikunterricht behauptet wird, dass Elektrogeräte nur in einem Stromkreis funktionieren. Zu Hause steckt sie doch nur ein einziges Kabel in die Steckdose, damit z.B. ihre Stehlampe funktioniert. Eine Rückleitung braucht man ihrer Meinung nach auch nicht, schließlich würde der Strom bzw. die Elektronen ja in der Lampe verbraucht werden. Erläutere, worin Marias Denkfehler bestehen.

⑧ Finde heraus, welche Energieübertragung (d.h. welche elektrische Leistung) typische Elektrogeräte benötigen: z.B. ein Computer, ein Toaster, eine Mikrowelle, ein Föhn oder ein Wasserkocher. Wie viele Menschen müssten an einem Kurbelgenerator drehen, um das jeweilige Gerät mit genügend elektrischer Energie versorgen zu können? Erinnerung dich, ein Mensch schafft ca. 30 W.

⑨ Im Alltag hört man oft Aussagen wie „Wir müssen Strom sparen.“ oder „Klimaanlagen brauchen viel Strom.“. Erläutere, warum mit dem alltäglichen „Strombegriff“ die Energie und nicht die „Elektronenströmung“ im Leiter gemeint ist.

2) Luftströmungen in Folge von Druckunterschieden

Unsere bisherige Modellvorstellung lässt eine Reihe von Fragen offen: Wie „funktionieren“ elektrische Stromkreise mit mehreren Lämpchen? Von welchen Faktoren hängt die Energieübertragung in Stromkreisen ab? Was ist „elektrische Spannung“ eigentlich?

Um eine bessere Modellvorstellung zu entwickeln, müssen wir zunächst einmal verstehen, was die Ursache für eine Luftströmung ist. Im Alltag hast du sicherlich schon einmal eine Luftmatratze oder einen Fahrradreifen aufgepumpt. Durch das Pumpen sorgst du dafür, dass immer mehr Luftteilchen aus der Umgebungsluft in den Fahrradreifen gepumpt werden. In dem aufgepumpten Fahrradreifen befindet sich dann mehr Luft als normal. Man sagt, die Luft ist zusammengepresst bzw. komprimiert.

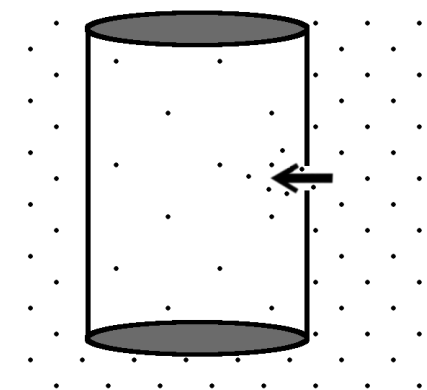
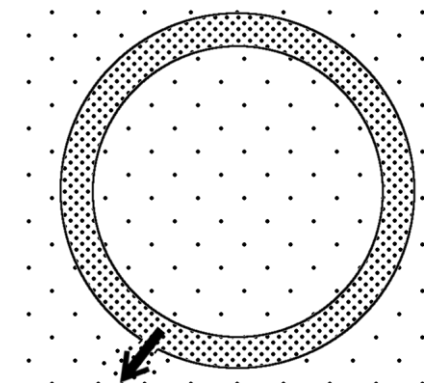
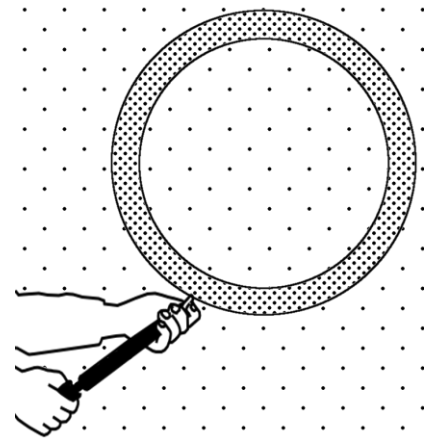
Abhängig davon, wie stark die Luft komprimiert wird, herrscht ein unterschiedlich großer Luftdruck. Je stärker die Luft komprimiert wird, desto größer ist der Luftdruck, d.h. desto stärker drückt die Luft gegen die Wände des Fahrradreifens.

Weil im Fahrradreifen ein höherer Luftdruck herrscht als in der Umgebungsluft, sagt man, im Fahrradreifen herrscht ein Überdruck. Genauso ist es bei Fußbällen: Ein stark aufgeblasener Fußball ist relativ hart, weil die stark komprimierte Luft im Inneren stark gegen die Wände drückt. Im Fußball herrscht also ein Überdruck.

Wenn man nun das Ventil des Reifens bzw. der Luftmatratze öffnet, so kommt es zu einer Luftströmung: Die Luftteilchen strömen aus dem Bereich mit Überdruck (im Reifen) in den Bereich mit Normaldruck (Umgebung).

Ganz ähnlich ist es, wenn z.B. aus einem Fass zunächst Luft gesaugt wurde. Dann befindet sich im Fass ein Unterdruck, d.h. weniger Luftteilchen als in der Umgebung (Bild rechts). Macht man ein Loch in das Fass, so kommt es zu einer Luftströmung von der Umgebung (Bereich mit Normaldruck) in das Fass (Bereich mit Unterdruck).

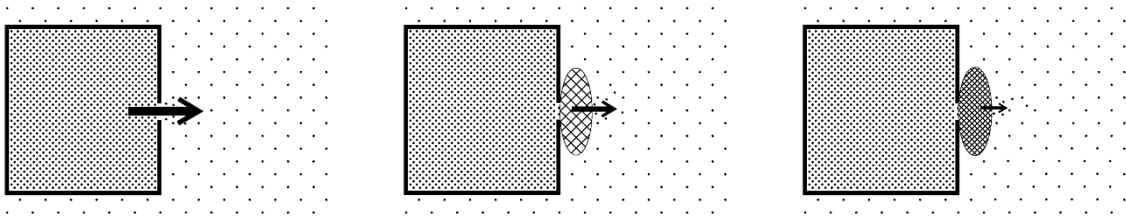
Wir können also festhalten: Komprimierte Luft steht unter Druck, drückt gegen die Wände und hat das Bestreben sich auszudehnen. Druck ist ein Zustand des „Gepresstseins“, je stärker die Luft zusammengepresst ist, desto höher ist der Luftdruck.



Der Grund für eine Strömung ist immer ein Druckunterschied, d.h. ohne Druckunterschied gibt es keine Strömung. Luft strömt immer von Bereichen höheren Drucks zu Bereichen niedrigeren Drucks. Je größer der Druckunterschied, desto größer die Intensität der Luftströmung. Ohne Druckunterschied gibt es keine Strömung!

Der (Stoff-)Widerstand

In einem Gefäß herrscht ein hoher Luftdruck. Durch eine Öffnung in der Gefäßwand strömt Luft nach draußen. Vor die Öffnung wird ein Stück Stoff als Widerstand platziert. Das Stück Stoff wirkt dabei hemmend auf die (Luft-)Strömung, da die (Luft-)Teilchen auf ihrem Weg durch den Stoff immer wieder gegen Stofffasern stoßen und so abgebremst werden. Die Luftströmung ist deshalb umso kleiner, je dichter bzw. dicker der (Stoff-)Widerstand ist.

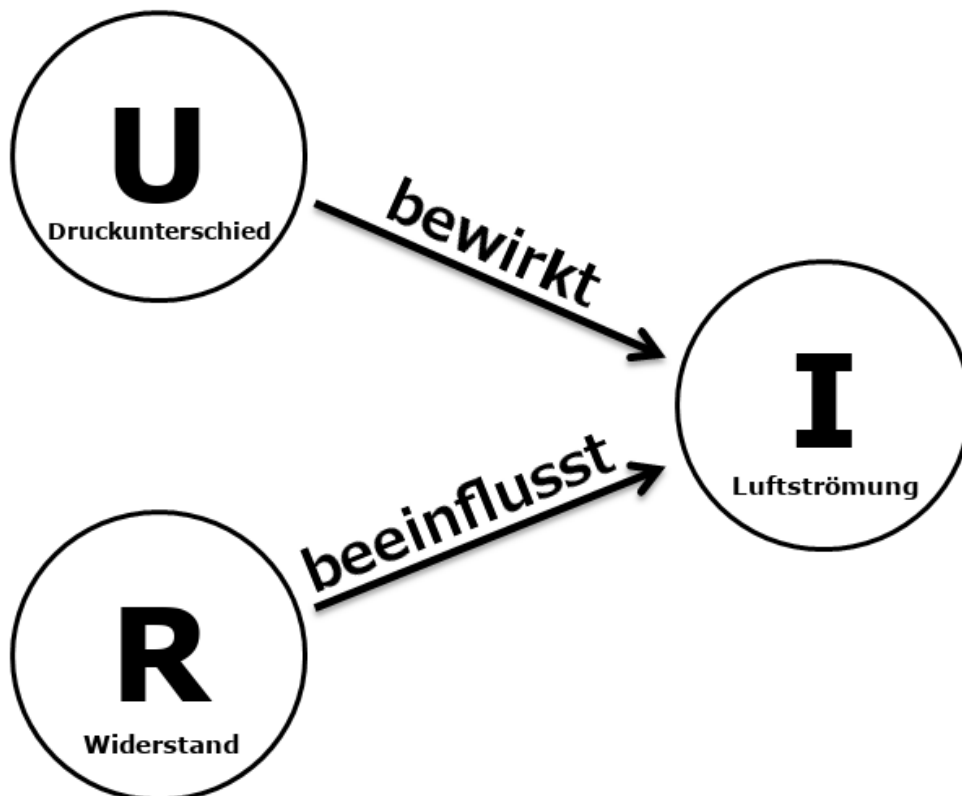


Die Öffnung des Gefäßes ist frei, das heißt der Luftströmung ist kein Widerstand im Weg und sie wird somit durch nichts gehemmt bzw. behindert. Die Intensität der Luftströmung ist damit groß.

Wird ein Stoffkissen aus wenig dichtem Stoff vor die Öffnung des Gefäßes platziert, so stellt dieses Stoffkissen einen kleinen Widerstand für die Luftströmung dar. Die Intensität der Luftströmung wird daher etwas kleiner.

Wird ein Stoffkissen aus sehr dichtem Stoff vor der Öffnung des Gefäßes platziert, so stellt dieses Stoffkissen einen großen Widerstand für die Luftströmung dar. Die Intensität der Luftströmung wird daher viel kleiner.

Darstellung des Wirkungszusammenhangs bei Luftströmungen



U = Unterschied des Drucks **R** = Resistance **I** = Intensität der Luftströmung

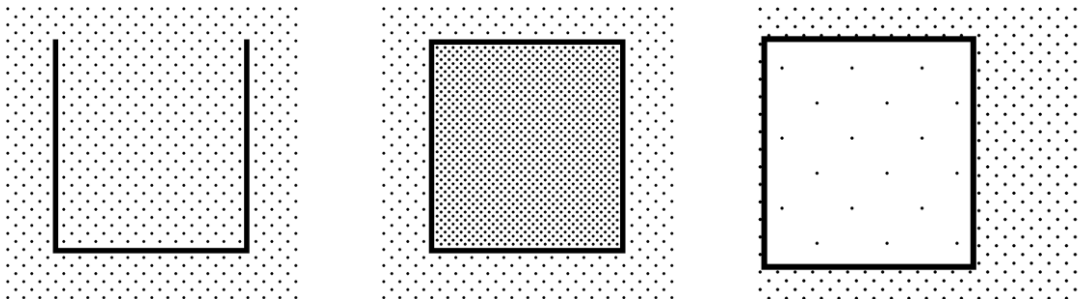
Vorsicht



- Luft strömt nicht „einfach so“: Eine (Luft-)Strömung ist immer die Folge eines Druckunterschieds.
- Es ist ganz wichtig, zwischen Druck und Druck**unterschied** zu unterscheiden. Ist in einem Gefäß und der Umgebung z.B. ein gleich hoher Luftdruck, so würde keine Luft durch die Öffnung nach draußen strömen. Es kommt nur dann zu einer Luftströmung aus dem Gefäß, wenn der Luftdruck in der Umgebung geringer ist als im Gefäß. Zu einer Strömung kommt es also nur, wenn ein Druck**unterschied** vorliegt.

Übungsaufgaben

① Betrachte die untenstehenden Darstellungen. Färbe die Bereiche mit Überdruck rot, die Bereiche mit Unterdruck blau und die Bereiche mit Normaldruck gelb ein.

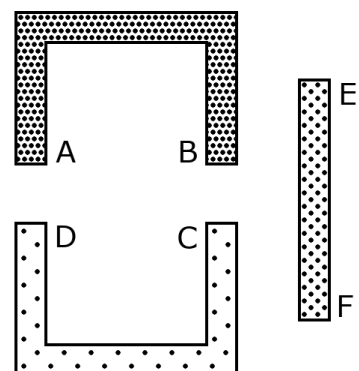


② Beschreibe in deinen eigenen Worten, a) was die Voraussetzung für eine Luftströmung ist und b) von welchen Faktoren es abhängt, ob eine Luftströmung stark oder schwach ist.

③ In einer ungeöffneten Cola-Dose herrscht oben ein Luft-Überdruck, in der Umgebung der Dose ein Normaldruck. a) Erkläre was passiert, wenn die Dose geöffnet wird. b) Erläutere, bei welchem Druck in der Cola-Dose die Luftströmung aufhört.

④ In den drei abgeschlossenen Rohren herrscht jeweils ein unterschiedlicher Luftdruck (siehe Darstellung rechts).

a) Betrachte die Darstellung rechts. Färbe Bereiche mit Überdruck rot, Bereiche mit Unterdruck blau und Bereiche mit Normaldruck gelb ein.



b) Wie ist der Druckunterschied zwischen ...

Punkt A und D (*groß*)

Punkt A und B

Punkt B und C

Punkt B und E

Punkt E und F

Punkt F und C

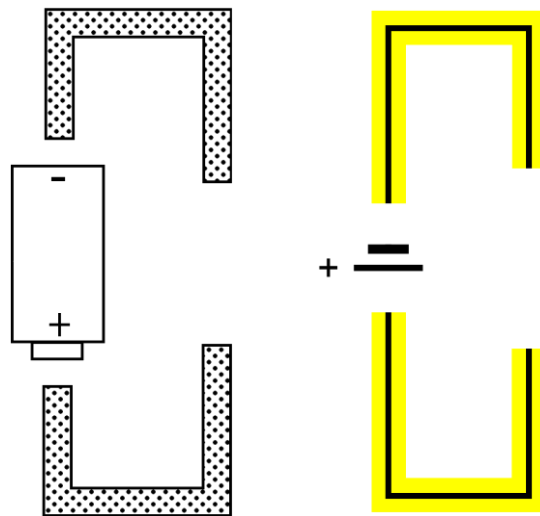
Punkt C und D

c) Ergänze in Aufgabenteil b), in welche Richtung die Luft jeweils strömt, wenn man zwei Rohre an den jeweiligen Punkten miteinander verbindet.

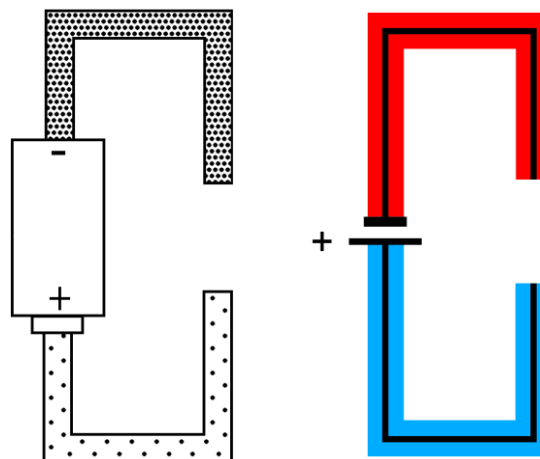
3) Der elektrische Druck

In metallischen Leitern wie Kupfer befinden sich Elektronen, die sich frei durch das Metall bewegen können. Solange ein metallischer Leiter wie z.B. ein Kupferdraht nicht mit der Batterie verbunden ist, enthält er normal-viele Elektronen (siehe Punktedarstellung rechts).

Man sagt dann, dass im Leiter ein elektrischer Normaldruck herrscht. Leiterabschnitte, in denen ein **elektrischer Normaldruck** herrscht, wollen wir mit der Farbe Gelb einfärben (siehe Farbdarstellung rechts).

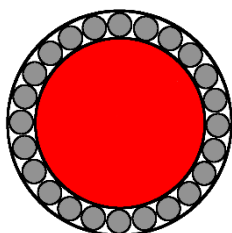


Nun werden die beiden Leiterstücke mit den Polen der Batterie verbunden. Sobald der Kontakt hergestellt ist, pumpt die Batterie einige Elektronen aus dem Leiterstück, das mit dem Pluspol verbunden ist, in das Leiterstück, das mit dem Minuspol verbunden ist. Dadurch entsteht im Leiterstück, das mit dem Minuspol verbunden ist, ein **elektrischer Überdruck** und im Leiterstück, das mit dem Pluspol verbunden ist, ein **elektrischer Unterdruck**.

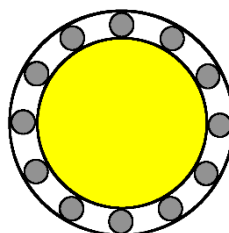


Eine Batterie sorgt für einen konstanten elektrischen **Über-** bzw. **Unterdruck** in den direkt mit ihren Polen verbundenen Leiterstücken. Wird ein Leiterstück an einen Batteriepol angeschlossen, so stellt sich der elektrische Druck im Leiterstück im Prinzip sofort ein.

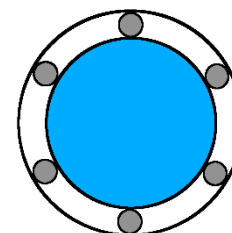
Information für Interessierte: Durch das Pumpen der Batterie ändert sich nicht die Anzahl der Elektronen im Inneren vom Leiter, sondern lediglich an dessen Oberfläche. Dies reicht aber aus, um den „elektrischen Druck“ (in der Physik „elektrisches Potenzial“ genannt) im Inneren zu verändern:



Viele Oberflächenelektronen bedeuten einen „elektrischen Überdruck“ im Leiter (rot).



Normal-viele Oberflächenelektronen bedeuten einen „elektrischen Normaldruck“ im Leiter (gelb).



Wenige Oberflächenelektronen bedeuten einen „elektrischen Unterdruck“ im Leiter (blau).

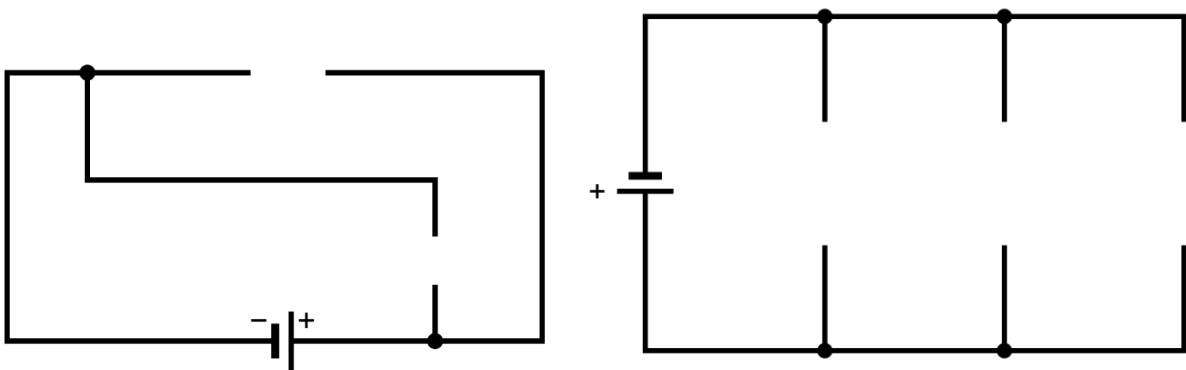
Vorsicht



- Der elektrische Druck in den Leiterstücken hängt nur von der verwendeten Batterie ab – nicht von der Länge oder Breite der Leiterstücke.
- Sobald ein Leiterstück mit dem Pol einer Batterie verbunden wird, überträgt sich der elektrische Druck im Prinzip sofort auf das gesamte Leiterstück.
- Der elektrische Druck an den Polen der Batterie ändert sich nicht durch das Anschließen eines Leiterstücks.

Übungsaufgaben

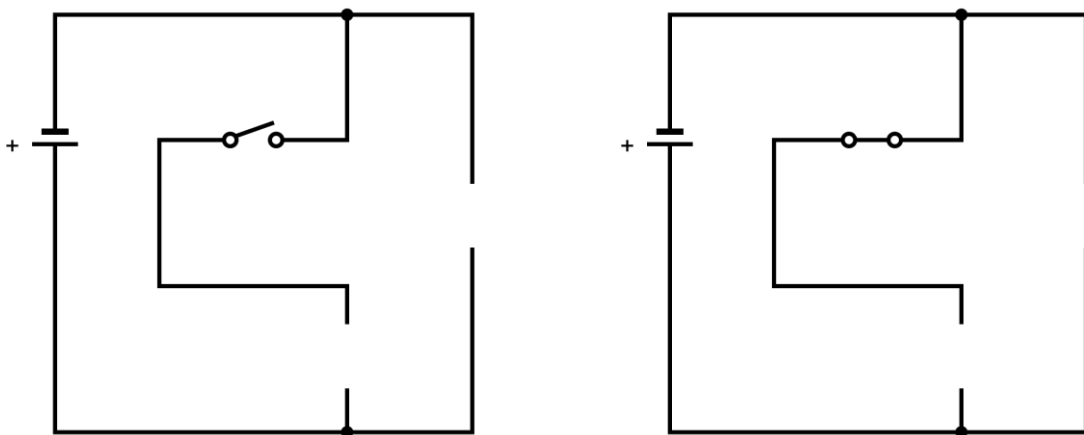
① Betrachte die unten dargestellten Schaltpläne und zeichne den elektrischen Druck mit Hilfe der Farbdarstellung ein.



② Beschreibe mit deinen eigenen Worten, was passiert, wenn man ein Leiterstück mit dem Plus- bzw. Minuspol einer Batterie verbindet? Wie lange dauert dieser Prozess?

③ Ein kurzes Leiterstück ist mit dem Minuspol einer Batterie verbunden. Im nächsten Schritt wird an das kurze Leiterstück ein weiteres langes Leiterstück angeschlossen. Erläutere, inwiefern sich hierdurch der elektrische Druck im zuvor kurzen Leiterabschnitt ändert.

④ Betrachte die unten dargestellten Schaltpläne. Zeichne den elektrischen Druck mit Hilfe der Farbdarstellung ein. Beachte, dass der Schalter einmal offen und einmal geschlossen ist!

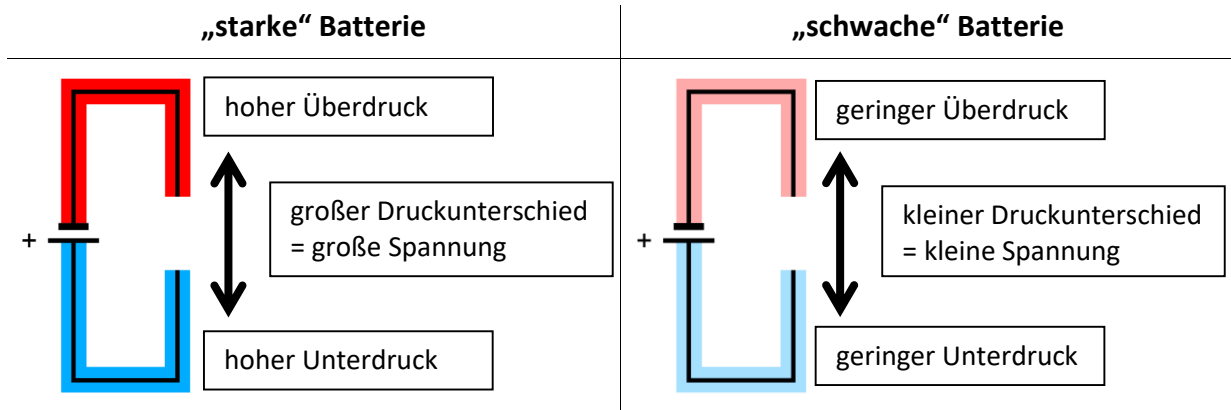


Schalter offen

Schalter geschlossen

4) Der elektrische Druckunterschied

Die Aufgabe eines elektrischen Antriebs wie einer Batterie ist es, einen bestimmten elektrischen Druckunterschied zu erzeugen. Je stärker beispielsweise eine Batterie ist, desto größer ist der von ihr erzeugte elektrische Druckunterschied. Der Fachbegriff für den elektrischen Druckunterschied lautet „elektrische Spannung“.




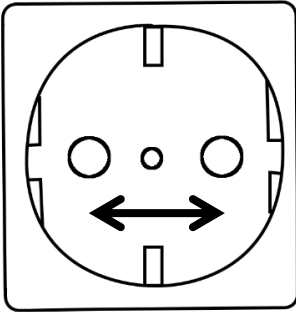
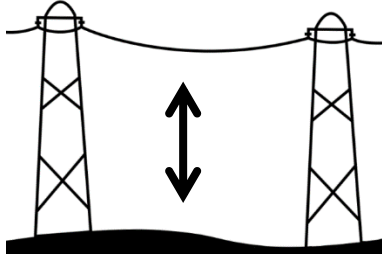
Die elektrische Spannung

... gibt den Unterschied des elektrischen Drucks zwischen zwei Punkten im Stromkreis an.

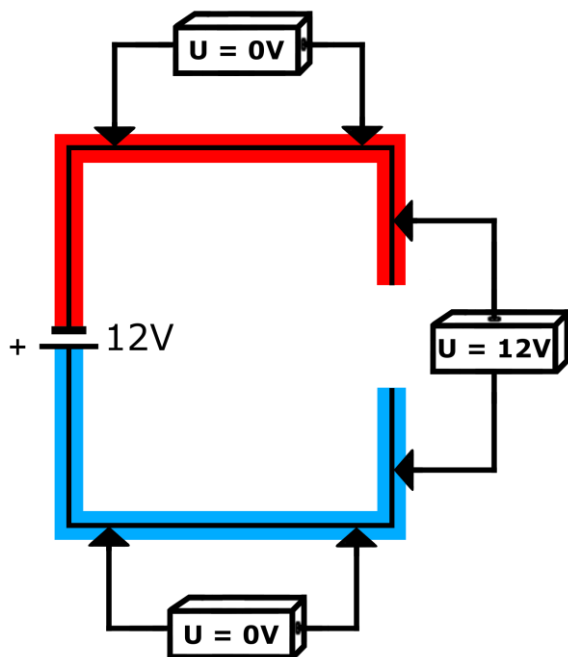
Formelzeichen **U** (wie **U**nterschied des elektrischen Drucks)

Einheit Volt, abgekürzt V

Batterien und Steckdosen werden Spannungsquellen genannt, weil sie für einen festen „elektrischen Druckunterschied“ sorgen:

		
Batterie	Steckdose	Hochspannungsleitung
Druckunterschied zwischen den Polen der Batterie: U = 1,5 V Der elektrische Druck am Minuspol ist also um 1,5 V höher als am Pluspol.	Druckunterschied zwischen den beiden Löchern: U = 230 V Der elektrische Druck am einen Loch ist also um 230 V höher als am anderen Loch.	Druckunterschied zwischen Leitung und Boden: U = 380 000 V Der elektrische Druck in der Leitung ist um 380 000 V höher als am Erdboden.

Wie kann der elektrische Druckunterschied (= Spannung) gemessen werden?



Die Spannung, also der **Unterschied** des elektrischen Drucks zwischen zwei Punkten, wird mit Hilfe eines Voltmeters gemessen. Das Voltmeter besitzt hierzu zwei Messkabel, mit denen es den elektrischen Druck an zwei Punkten im Stromkreis feststellen kann. Das Voltmeter zeigt dann den elektrischen Druckunterschied (= elektrische Spannung) zwischen den beiden Punkten im Stromkreis an, mit denen die Messkabel verbunden wurden.

Im linken Schaltplan kannst du sehen, dass das rechte Voltmeter einen elektrischen Druckunterschied von 12 V zwischen den beiden Leiterstücken anzeigt. Dies ist nicht überraschend, weil eine Batterie mit einer Spannung von 12 V verwendet wird. Zwischen zwei Punkten des gleichen Leiterstücks herrscht jedoch kein elektrischer Druckunterschied. Das obere und untere Voltmeter zeigen deshalb jeweils 0 V an.



VORSICHT

Ab einer elektrischen Spannung von 24 V besteht Lebensgefahr für den Menschen!

Vorsicht

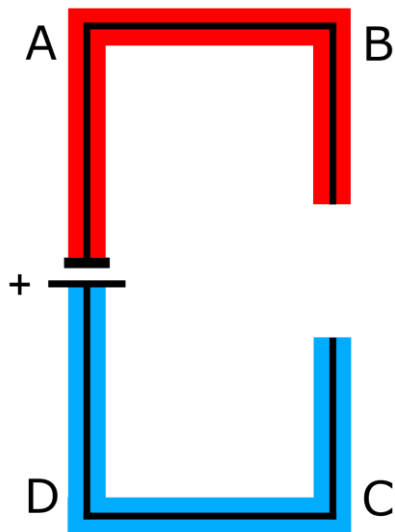


- Die Spannung (elektrischer Druckunterschied) ist eine Größe, die sich auf zwei Punkte bezieht („Spannung zwischen...“). An einem einzigen Punkt kann es deshalb keine Spannung geben.
- Zwischen zwei beliebigen Punkten des gleichen Leiterstücks existiert kein Druckunterschied, also keine Spannung. Der Grund ist einfach: Innerhalb des gleichen Leiterstücks herrscht überall der gleiche elektrische Druck.
- Werden die Messkabel des Voltmeters mit dem Stromkreis verbunden, herrscht in ihnen der gleiche elektrische Druck wie in den jeweiligen Leiterstücken des Stromkreises. Auf eine Einfärbung der Messkabel verzichten wir aber, damit der eigentliche Stromkreis gut erkennbar bleibt.

Übungsaufgaben

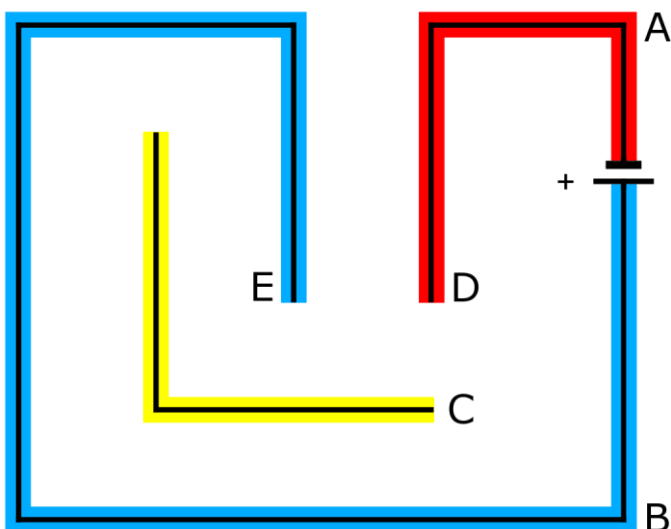
① In den beiden unteren Schaltplänen sind die elektrischen Drücke mit Hilfe der Farbdarstellung bereits eingezeichnet.

- a) Beschreibe woran deutlich wird, dass es sich jeweils um „starke“ Batterien handelt.
- b) Was für ein elektrischer Druckunterschied – also was für eine elektrische Spannung – besteht zwischen den verschiedenen mit Buchstaben gekennzeichneten Punkten?
(Mögliche Antworten: kein Druckunterschied, kleiner Druckunterschied oder großer Druckunterschied)



Druckunterschied zwischen Punkt...

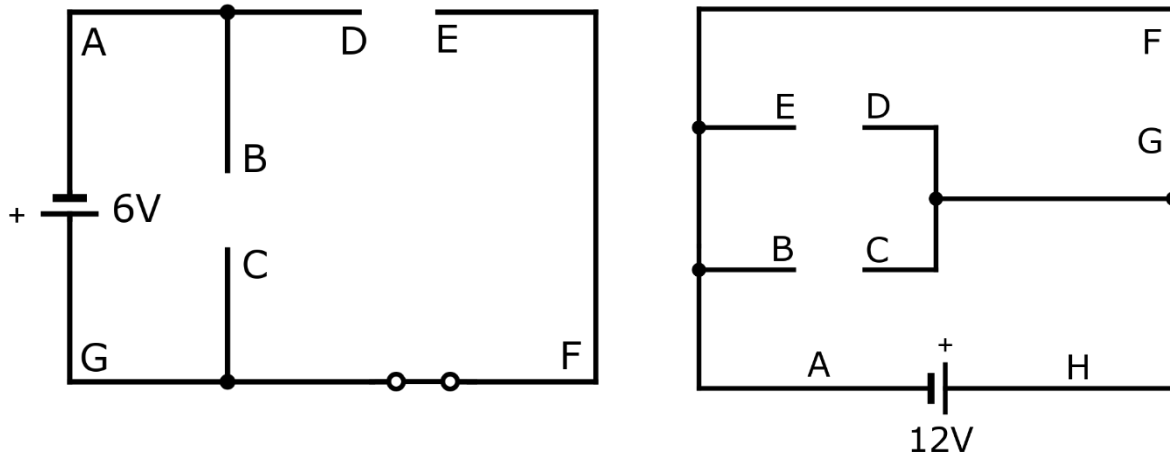
- A und B
- B und C
- C und D
- D und A



Druckunterschied zwischen Punkt...

- A und B
- B und C
- C und D
- E und B
- D und A
- C und E

② Betrachte die beiden unten dargestellten Schaltpläne und zeichne den elektrischen Druck mit Hilfe der Farbdarstellung ein. Beachte, dass einmal eine schwache Batterie (links) und einmal eine starke Batterie (rechts) verwendet wird.



③ Was für ein elektrischer Druckunterschied – also was für eine elektrische Spannung – besteht zwischen den verschiedenen mit Buchstaben gekennzeichneten Punkten? Gib jeweils die elektrische Spannung in Volt an.

Elektrische Spannung zwischen Punkten ...

- A und B
- B und C
- B und D
- D und E
- E und F
- F und C
- C und G

Elektrische Spannung zwischen Punkten ...

- A und B
- B und C
- C und D
- D und E
- E und F
- F und G
- G und C
- D und H

④ Im Schaltplan oben links (6 V Batterie) soll die elektrische Spannung zwischen den Punkten (D und E), (B und C) sowie (F und G) gemessen werden. Zeichne im Schaltplan ein, wie ein Voltmeter hierzu angeschlossen werden muss.

⑤ Im Schaltplan oben rechts (12 V Batterie) soll die elektrische Spannung zwischen den Punkten (F und G) sowie (A und H) gemessen werden. Zeichne im Schaltplan ein, wie ein Voltmeter hierzu angeschlossen werden muss.

5) Der elektrische Stromkreis

So wie ein Luftdruckunterschied die Ursache für eine Luftströmung (z.B. durch ein Stück Stoff) ist, führt der elektrische Druckunterschied am Lämpchen zu einer Elektronenströmung durch das Lämpchen. Dabei strömen die Elektronen immer vom **Überdruck** zum **Unterdruck**.

Die Batterie hält den Druckunterschied aufrecht

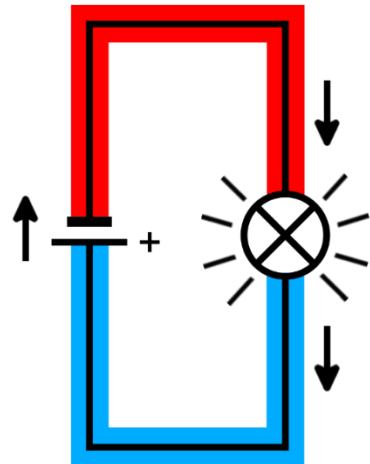
Trotz der Elektronenströmung durch das Lämpchen hält die Batterie den elektrischen Über- bzw. Unterdruck in den Leiterstücken aufrecht.

Wie macht sie das?

Für jedes Elektron, das vom Überdruck durch die Lampe zum Unterdruck strömt, pumpt die Batterie (durch chemische Prozesse) ein anderes Elektron vom Unterdruck in den Überdruck.

Ergebnis

Es kommt zu einer dauerhaften Elektronenströmung, da die Batterie den elektrischen Druckunterschied am Lämpchen über eine lange Zeit aufrecht hält.



Dabei gilt: So wie ein Stück Stoff einen Widerstand für eine Luftströmung darstellt, stellt das Lämpchen einen Widerstand für die Elektronenströmung dar. Das liegt daran, dass sich die Elektronen durch den engen Glühdraht „quetschen“ müssen. Die Elektronen werden dabei aber nicht verbraucht!

ACHTUNG: Die Batterie ist eine „merkwürdige“ Elektronenpumpe



Anders als viele Pumpen aus dem Alltag sorgt eine Batterie (genauso wie z.B. eine Steckdose) für einen bestimmten elektrischen Druckunterschied und nicht für eine bestimmte Elektronenströmung. Auf der Batterie rechts steht z.B. 1,5 V, d.h. sie verursacht einen konstanten elektrischen Druckunterschied bzw. eine konstante elektrische Spannung von 1,5 V.



**Die Batterie verursacht den Druckunterschied.
Der Druckunterschied verursacht die Elektronenströmung!**

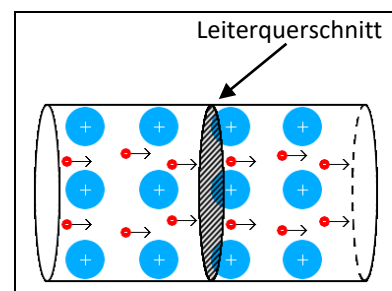
Die Intensität der Elektronenströmung

... gibt an, wie viele Elektronen pro Sekunde durch den Querschnitt eines Leiters strömen.

Formelzeichen I (wie Intensität der Elektronenströmung)

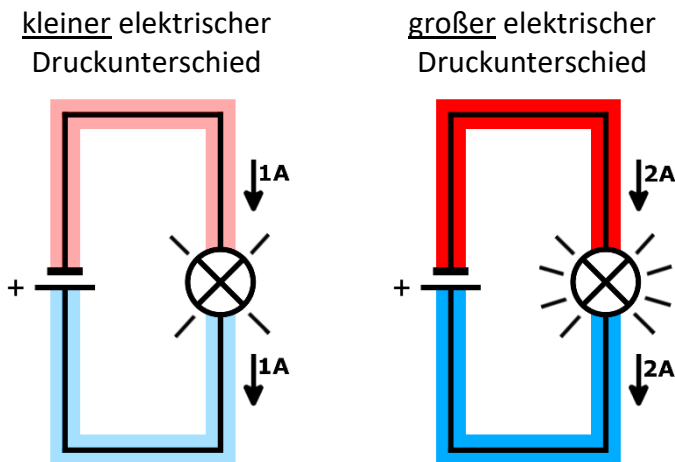
Einheit Ampere, abgekürzt A

Beispiel Die Intensität der Elektronenströmung durch die Lampe beträgt $I = 2 \text{ A}$.



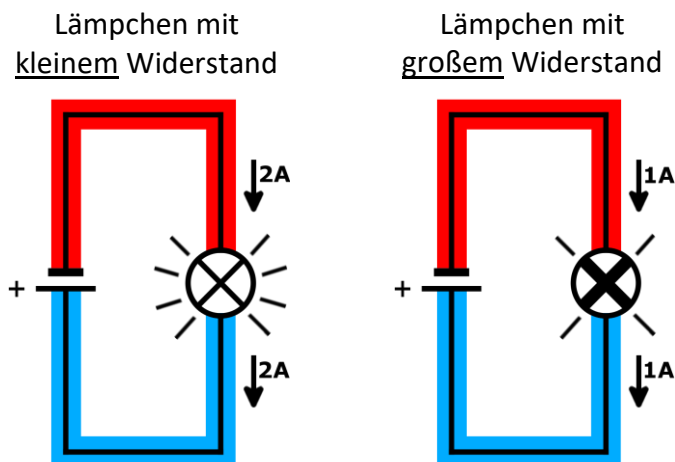
Der Einfluss von Spannung und Widerstand auf die Intensität der Elektronenströmung

Die Intensität der Elektronenströmung hängt vom elektrischen Druckunterschied (= Spannung) am Lämpchen und vom Widerstand des verwendeten Lämpchens ab.



Merke:

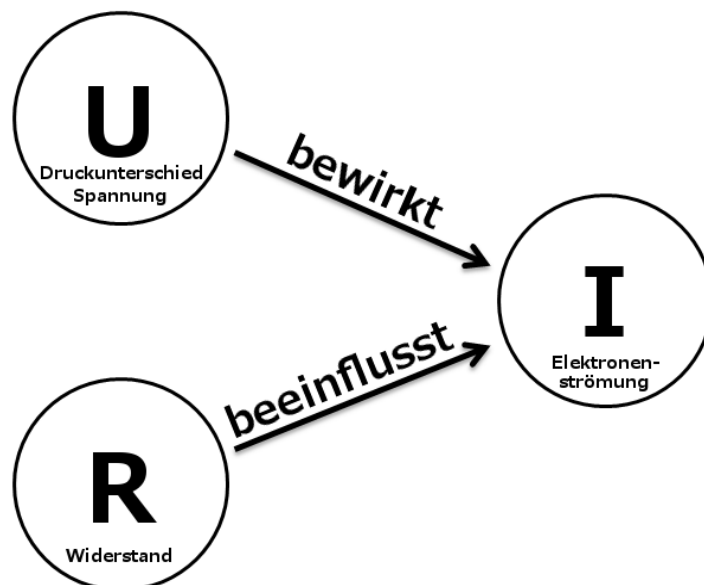
Je **größer** der elektrische Druckunterschied ist, desto **größer** ist die Intensität der Elektronenströmung durch das Lämpchen.



Merke:

Je **größer** der Widerstand des Lämpchens ist, desto **kleiner** ist die Intensität der Elektronenströmung durch das Lämpchen.

Der Wirkungszusammenhang zwischen Spannung, Widerstand und Elektronenströmung

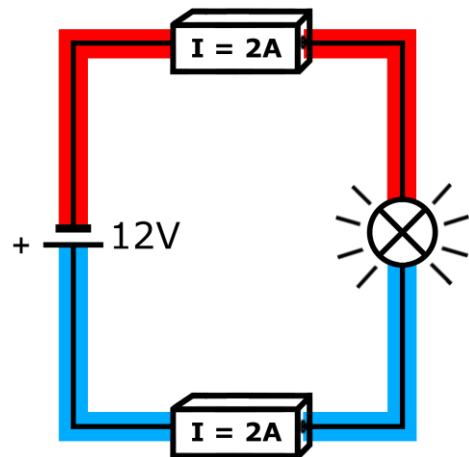


U = Unterschied des elektrischen Drucks **R** = Resistance **I** = Intensität der Elektronenströmung

Wie kann die Intensität der Elektronenströmung gemessen werden?

Die Intensität der Elektronenströmung wird in einem Stromkreis mit Hilfe eines Amperemeters gemessen. Damit ein Amperemeter die Intensität der Elektronenströmung messen kann, muss es so in den Stromkreis eingebaut werden, dass die Elektronen auf ihrem Weg durch den Stromkreis durch das Amperemeter hindurchströmen (siehe Schaltung rechts).

Da ein Amperemeter selbst nur einen sehr geringen Widerstand hat, ist der elektrische Druck vor und nach dem Amperemeter gleich hoch.



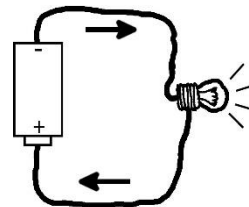
Warum ist die Farbkodierung des elektrischen Drucks oftmals vertauscht?



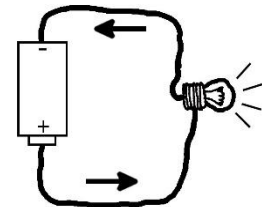
Bei Netzgeräten und anderen Spannungsquellen wird der Pluspol oft rot und der Minuspol blau eingefärbt (siehe Bild links). Das liegt daran, dass man früher nicht wusste, wie Atome aufgebaut sind und deshalb dachte, „positiv geladene Teilchen“ würden vom Plus- zum Minuspol strömen. Dementsprechend ging man von einem „elektrischen Überdruck“ positiv geladener Teilchen am Pluspol aus und färbte ihn rot ein, während man beim Minuspol von einem „elektrischen Unterdruck“ ausging und ihn deshalb blau einfärbte. Trotz besseren Wissens hat sich an dieser Konvention bis heute nichts geändert.

Aus demselben historischen Grund wird auch die Stromrichtung in der Regel nicht so angegeben, wie die Elektronen in Metallen physikalisch gesehen strömen, sondern wie „positiv geladene Teilchen“ vom Plus- zum Minuspol strömen würden. Man unterscheidet deshalb:

- physikalische Stromrichtung: vom Minus- zum Pluspol (Elektronenbewegung)
- konventionelle bzw. technische Stromrichtung: vom Plus- zum Minuspol



physikalische Stromrichtung



konventionelle bzw. technische Stromrichtung

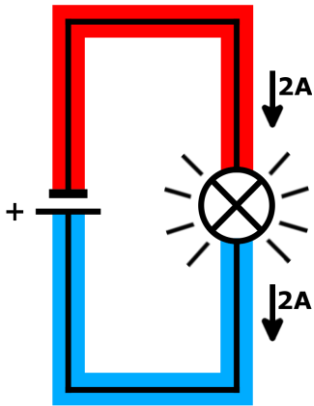
Vorsicht



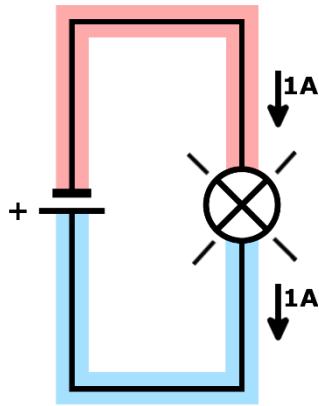
- Eine Batterie und andere Spannungsquellen sorgen für einen festen elektrischen Druckunterschied (z.B. 12 V) und nicht für eine feste Elektronenströmung (z.B. 2 A). Deshalb heißen sie Spannungs- und nicht Stromquellen.
- Im Lämpchen werden keine Elektronen verbraucht oder bleiben dort hängen. Deshalb ist die Intensität der Elektronenströmung vor und nach dem Lämpchen gleich groß (vgl. die beiden Amperemeter in der Schaltung oben).
- So wie bei Luft die Luftteilchen von Bereichen mit Überdruck zu Bereichen mit Unterdruck strömen, strömen auch die Elektronen von Bereichen mit elektrischem Überdruck zu Bereichen mit elektrischem Unterdruck. Wichtig: Es strömt dabei nicht der Überdruck selbst zum Unterdruck.

Übungsaufgaben

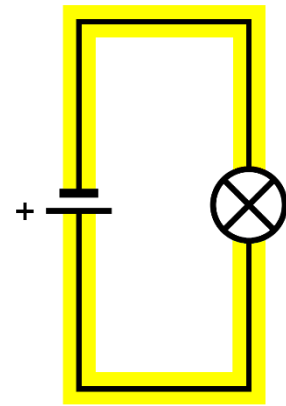
① Entscheide bei jeder Schaltung, wie groß die Spannung (der elektrische Druckunterschied) ist.



Spannung: groß

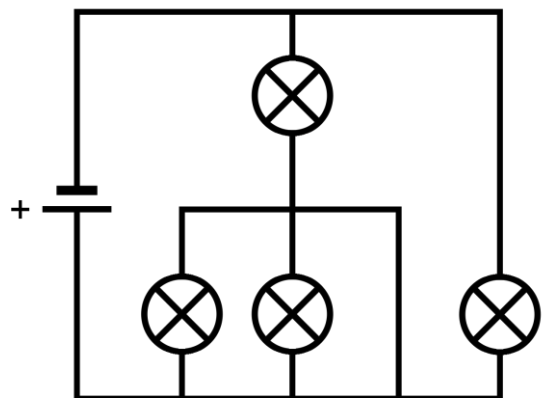
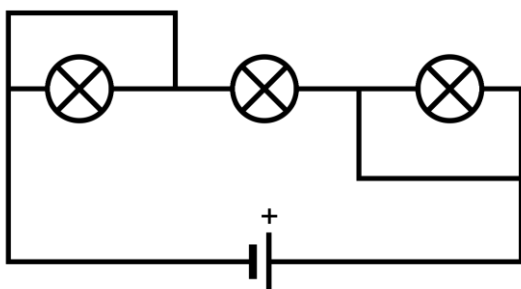
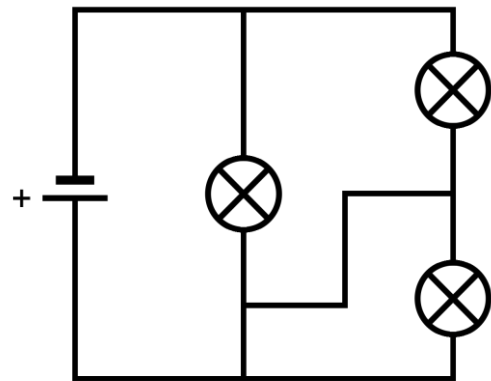
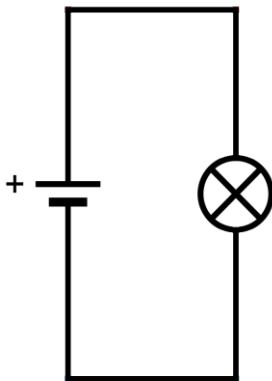


Spannung: _____

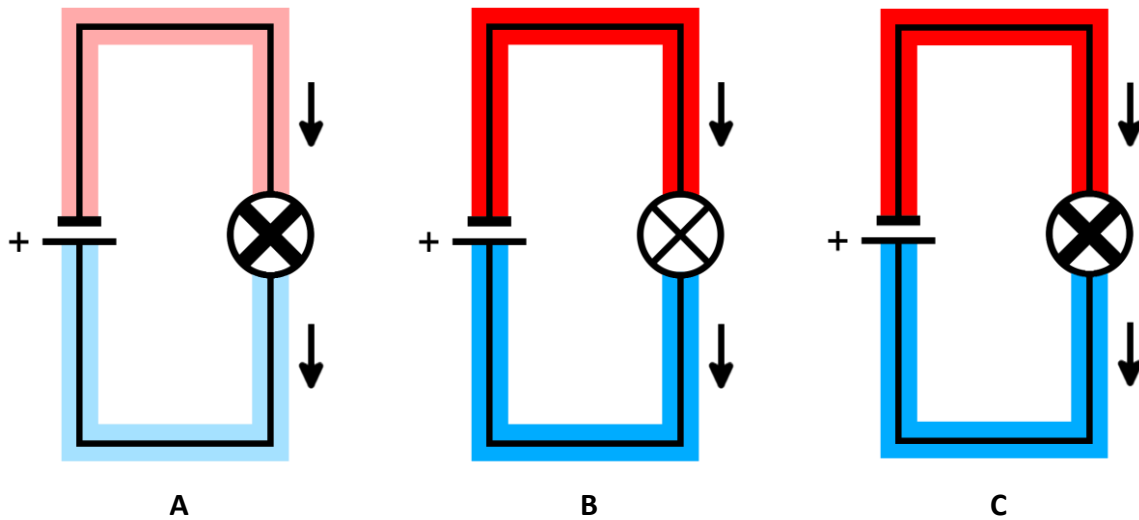


Spannung: _____

② Betrachte die unten dargestellten Schaltpläne und zeichne die elektrischen Drücke ein. Überlege dir dann, welche Lämpchen in Folge der an ihnen anliegenden elektrischen Druckunterschiede leuchten und welche nicht. Zeichne hierzu Lichtstrahlen bei den entsprechenden Lämpchen ein. (Es handelt sich in allen vier Fällen um „starke“ Batterien!)



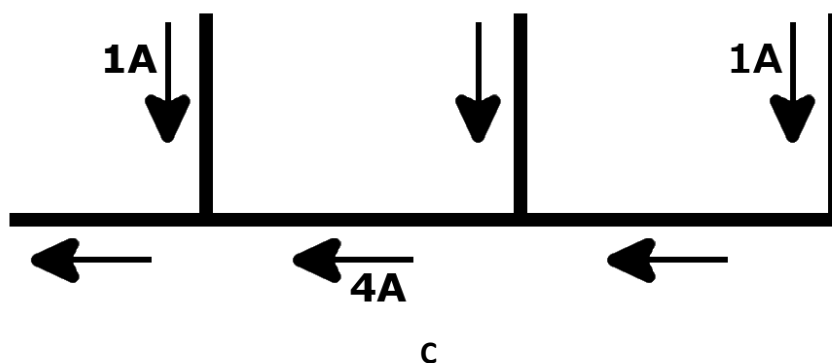
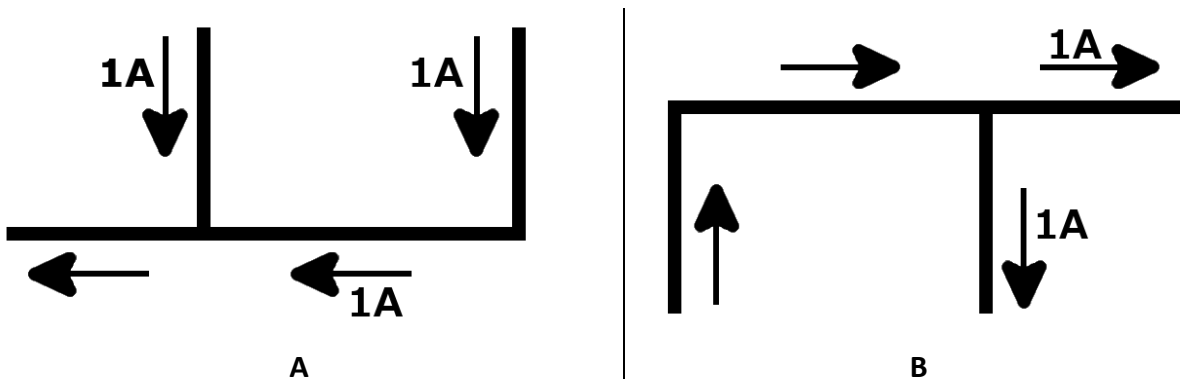
③ Ordne die untenstehenden Stromkreise A, B und C nach der Größe der Intensität der Elektronenströmung. Begründe deine Reihenfolge.



④ Lisa sagt, dass ein Lämpchen mit einem größeren Widerstand zu einem größeren Elektronenstau und damit größeren elektrischen Druck im Leiter zwischen Minuspol und Lämpchen führt. Was ist Lisas Denkfehler?

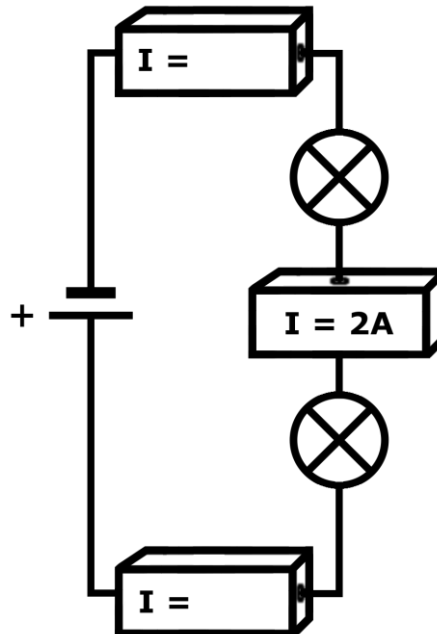
⑤ Erkläre mit deinen eigenen Worten, was für einen Einfluss Spannung und Widerstand auf die Elektronenströmung in einem Stromkreis haben.

⑥ Unten siehst du drei Darstellungen A, B und C, die Ausschnitte aus Schaltungen zeigen. Bei diesen Ausschnitten fließen Elektronenströmungen unterschiedlicher Leiter zusammen. Trage bei den Pfeilen die jeweils fehlenden Intensitäten der Elektronenströmung ein.



⑦ Im unteren Stromkreis sind drei Amperemeter eingebaut, um die Stromstärke (= Intensität der Elektronenströmung) an der jeweiligen Stelle zu messen.

- Welche Intensität der Elektronenströmung I zeigt das obere und untere Amperemeter an?
- Zeichne einmal die technische und einmal die physikalische Stromrichtung ein.
- Begründe, warum es für die Lämpchen keinen Unterschied macht, von welcher Stromrichtung man ausgeht.



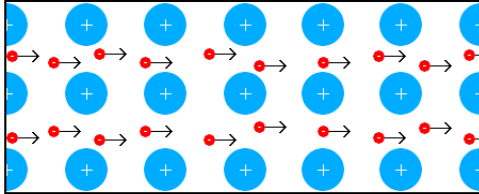
⑧ Fertige einen eigenen Schaltplan zu einem einfachen Stromkreis bestehend aus einer (starken) 12 V-Batterie und einem Lämpchen an.

- Markiere die elektrischen Drücke im Stromkreis mit Hilfe der Farbdarstellung.
- Zeichne ein, wie mit Hilfe eines Voltmeters die elektrische Spannung am Lämpchen gemessen werden kann.
- Zeichne ein, wie mit Hilfe eines Amperemeters die Intensität der Elektronenströmung durch das Lämpchen gemessen werden kann.
- Erläutere, inwiefern es eine Rolle spielt, ob das Amperemeter vor oder nach dem Lämpchen eingebaut wird.

6) Der elektrische Widerstand

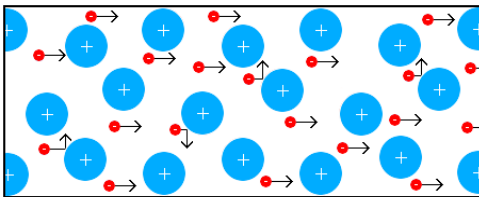
Warum leiten manche Materialien den elektrischen Strom besser als andere?

Die Elektronenströmung wird von unterschiedlichen Materialien unterschiedlich stark gebremst bzw. behindert. Je stärker die Elektronenströmung von einem Material gebremst bzw. behindert wird, desto größer ist der elektrische Widerstand des Materials. Wir unterscheiden grob drei Kategorien:



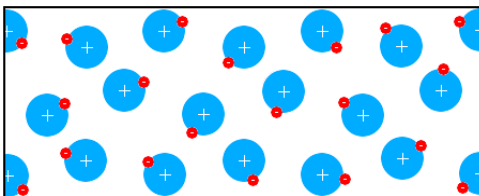
Ideale Leiter

Metalle wie Kupfer, Silber und Gold sind nahezu ideale Leiter, da sie so beschaffen sind, dass die Elektronen sehr selten mit den Atomrümpfen zusammenstoßen. Der elektrische Widerstand ist daher äußerst gering und die Elektronen können fast ungehindert durch das Metall strömen.



Leiter mit Widerstand („Widerstände“)

Bei vielen Materialien sind die Atomrümpfe unregelmäßig angeordnet, weshalb die strömenden Elektronen oft mit den Atomrümpfen zusammenstoßen. Durch die Stöße mit den Atomrümpfen fangen diese an immer stärker zu schwingen. Dadurch steigt die Temperatur des Materials. Nach dem Stoß bewegen sich die Elektronen in Strömungsrichtung weiter.



Nicht-Leiter („Isolatoren“)

Bei Nicht-Leitern können sich die Elektronen nicht frei bewegen, sondern „kleben“ an den Atomrümpfen. Es kann daher zu keiner Elektronenströmung kommen. Der elektrische Widerstand ist somit extrem groß. Nicht-Leiter werden oft auch Isolatoren genannt. Typische Isolatoren sind z.B. Porzellan, Kunststoff, Gummi und Holz.

Wie kann man den Widerstandswert R eines Materials bzw. Bauteils bestimmen?

Um ein Maß dafür zu haben, wie stark die Elektronenströmung durch einen Widerstand (z.B. ein Lämpchen) gebremst bzw. behindert wird, bestimmt man den Widerstandswert R . Dieser Wert gibt an, welcher elektrische Druckunterschied nötig ist, um eine Elektronenströmung von 1 A durch den Widerstand zu verursachen. Je größer der Widerstandswert R , desto größer muss die elektrische Spannung (d.h. der elektrische Druckunterschied) sein, damit es zu einer Elektronenströmung von 1 A kommt.

Der Widerstandswert R

... gibt an, wie stark die Elektronen durch den Widerstand gebremst bzw. behindert werden.

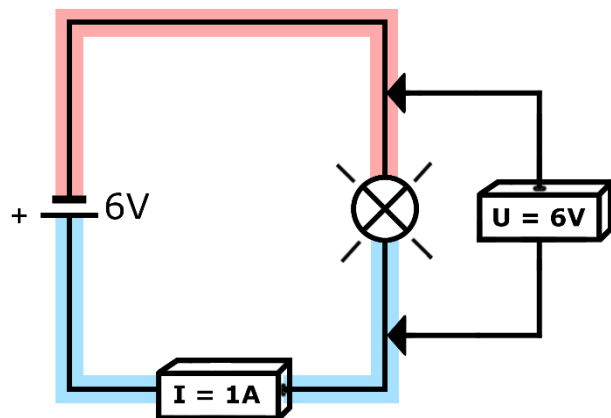
Formelzeichen R (aus dem Englischen „Resistance“ = Widerstand)

Einheit Ohm, abgekürzt Ω

Beispiel Das Lämpchen hat einen Widerstand von $R = 6 \Omega$, d.h. man benötigt einen Druckunterschied von 6 V, damit es zu einer Elektronenströmung von 1 A durch das Lämpchen kommt (siehe Schaltung unten).

Um den Widerstandswert R zu bestimmen, muss man

- den am Widerstand anliegenden Druckunterschied (= Spannung) mit einem Voltmeter und
- die Intensität der Elektronenströmung durch den Widerstand mit einem Amperemeter messen.



Der Widerstandswert R wird dann bestimmt, indem man den am Lämpchen anliegenden elektrischen Druckunterschied U durch die Intensität der Elektronenströmung I teilt:

Definition des Widerstandswerts R

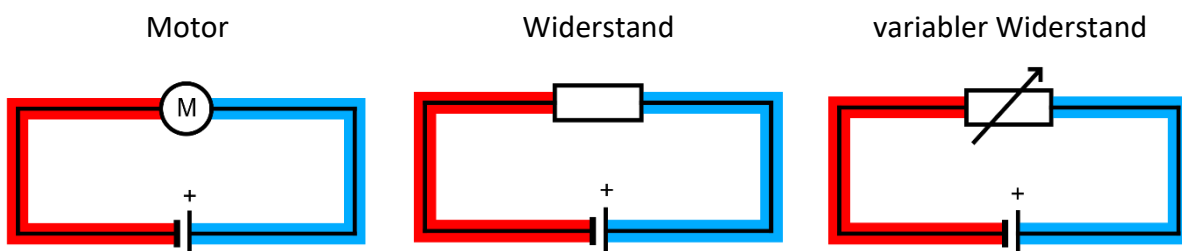
$$R := \frac{U}{I}$$

Beispielrechnung zur obigen Schaltung

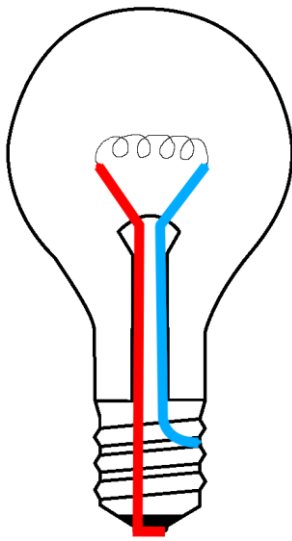
$$R = \frac{U}{I} = \frac{6 \text{ V}}{1 \text{ A}} = 6 \Omega$$

Weitere Bauteile mit elektrischem Widerstand

Wir wissen bereits, dass ein Lämpchen die Elektronenströmung bremst, also einen Widerstand für die Elektronenströmung darstellt. Auch andere elektrische Geräte wie z.B. ein Motor (Schaltung unten links) stellen einen Widerstand für die Elektronenströmung dar. Außerdem gibt es extra angefertigte „Widerstandselemente“. Diese machen nichts anderes, als die Elektronenströmung zu behindern. Ein solches Widerstandselement wird häufig einfach nur „Widerstand“ genannt (Schaltung in der Mitte unten). Bei manchen Widerständen kann zudem der Widerstandswert R verändert werden; sie stellen also einen veränderbaren bzw. variablen Widerstand dar (Schaltung unten rechts).

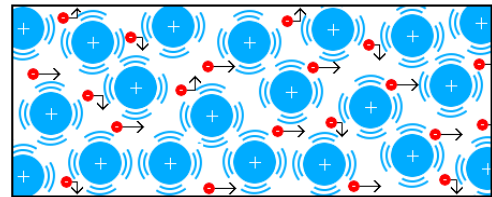


Wie ist eine Glühlampe aufgebaut und warum leuchtet sie?



Wie in der schematischen Darstellung links zu sehen ist, befindet sich in der Glühlampe ein dünner, aufgewickelter Glühdraht. Dieser ist deutlich dünner als die beiden Leiterstücke, an denen er befestigt ist. Wird an den Glühdraht ein elektrischer Druckunterschied angelegt, fangen die Elektronen an, durch den Glühdraht zu strömen. Da dieser sehr eng ist, müssen sich die Elektronen durch den Glühdraht „quetschen“. In der Folge stoßen sie häufig mit den Atomrümpfen im Glühdraht zusammen.

Die Atomrümpfe fangen deshalb an, stärker hin- und herzuschwingen. Der Draht wird dadurch sehr heiß und fängt deswegen an, Licht abzustrahlen.



Die Spannungsangabe auf einer Glühlampe gibt an, für welchen elektrischen Druckunterschied sie gebaut wurde. Wird eine Spannungsquelle mit geringerer Spannung an die Lampe angeschlossen, kommt es zu einer kleineren Elektronenströmung und die Lampe leuchtet einfach weniger hell. Bei einer höheren Spannung kann es zu einer für den Draht zu großen Elektronenströmung kommen, wodurch der Draht zu heiß wird und in der Folge womöglich durchglüht. Der Glühdraht ist dann unterbrochen und die Glühlampe somit kaputt.

Einfluss der Geometrie eines Materials auf den Widerstandswert R

- Einfluss des Querschnitts: Wie du am Beispiel des Glühdrahtes erkennen kannst, wird die Elektronenströmung durch die vielen Stöße mit den Atomrümpfen umso stärker gebremst bzw. behindert, je enger ein Widerstandselement ist. Allgemein gilt: Der Widerstandswert ist umso größer, je enger das Widerstandselement ist (in unserem Beispiel der Glühdraht). *Vergleich mit einem Strohhalm: Je enger der Strohhalm ist, desto schwerer lässt sich die Luft durch ihn blasen!*
- Einfluss der Länge: Du kannst dir auch überlegen, dass die Elektronen umso öfter mit den Atomrümpfen zusammenstoßen, je länger der Draht ist. Umso länger ein Draht also ist, desto stärker bremst er die Elektronenströmung. Allgemein gilt: Der Widerstandswert ist umso größer, je länger das Widerstandselement ist (in unserem Beispiel der Glühdraht). *Vergleich mit einem Strohhalm: Je länger der Strohhalm ist, desto schwerer lässt sich Luft durch ihn blasen!*

Information für Interessierte: Die Energieübertragung mit Stromkreisen

Wenn man den elektrischen Druckunterschied U an einem Lämpchen (d.h. die Spannung) und die Intensität der Elektronenströmung I durch ein Lämpchen bestimmt hat, kann man daraus leicht berechnen, wie viel Energie jede Sekunde zum Lämpchen übertragen wird. Hierzu muss man lediglich den Druckunterschied U mit der Intensität der Elektronenströmung I multiplizieren und erhält so die am Lämpchen umgesetzte elektrische Leistung P (= Power, engl. für Leistung), die in Watt (abgekürzt W) gemessen wird. Die elektrische Leistung P entspricht dabei genau der pro Sekunde umgesetzten Energie am Lämpchen:

$$P = U \cdot I$$

Im obigen Schaltplan findet also eine Energieübertragung von $P = U \cdot I = 6 \text{ V} \cdot 1 \text{ A} = 6 \text{ W}$ von der Batterie zum Lämpchen statt (vgl. erste Einheit zur Energieübertragung mit Stromkreisen).

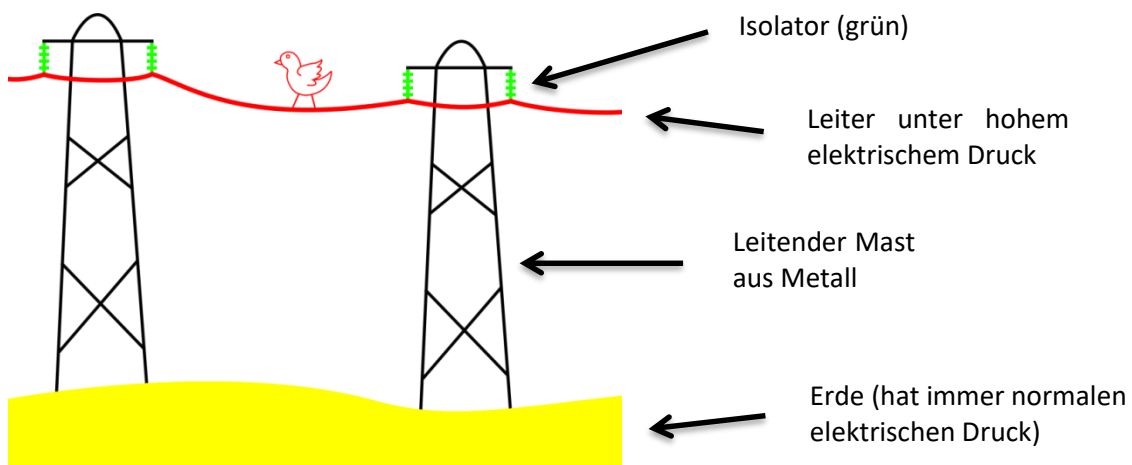
Vorsicht



- Die Elektronen prallen lediglich an den Atomrümpfen ab, sie werden nicht verbraucht und sie bleiben nicht im Lämpchen oder Widerstand stecken.
- Wenn man von einem großen Widerstand spricht, meint man damit nicht, dass es sich um ein großes Bauteil handelt, sondern dass der Widerstand die Elektronenströmung stark bremst bzw. behindert. Ein großer Widerstand hat also einen großen Widerstandswert R .

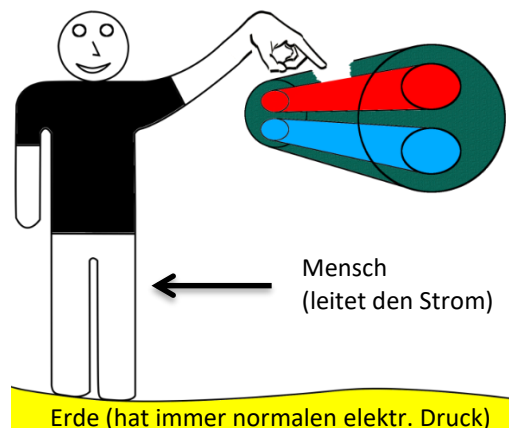
Übungsaufgaben

- ① Nicht alle Materialien leiten den elektrischen Strom gleich gut. Deshalb kann grob zwischen drei Kategorien unterschieden werden. Nenne die drei Kategorien und beschreibe mit deinen eigenen Worten, wie man sich jeweils die unterschiedliche Leitfähigkeit erklären kann.
- ② Isolatoren kommen auch bei Strommasten zum Einsatz. An den Isolatoren werden die Hochspannungsleitungen aufgehängt, die selbst sehr gut leitend sind. Erkläre mit Hilfe der unteren Darstellung, warum die Isolatoren unbedingt benötigt werden.

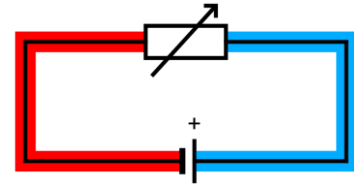


- ③ Der elektrische Druck selbst ist für Menschen und Tiere ungefährlich und man kann ihn auch nicht direkt spüren. Gefährlich kann hingegen die Elektronenströmung sein, die man in Form eines „elektrischen Schlags“ spürt. Erkläre anhand der oberen Darstellung, warum der Vogel auf der Hochspannungsleitung sitzen kann, ohne einen tödlichen elektrischen Schlag zu bekommen.

- ④ Jedes Stromkabel im Haushalt ist von einer Gummischicht umschlossen, die als Isolator dient. Erkläre mit Hilfe der Darstellung rechts, warum für den Menschen Lebensgefahr besteht, wenn die Isolationschicht eines an die Steckdose angeschlossenen Stromkabels beschädigt ist.



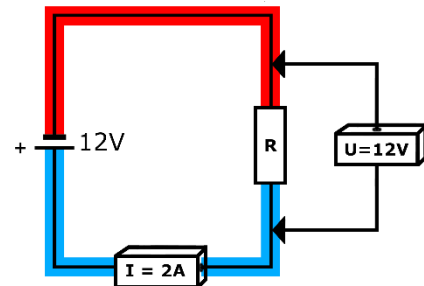
⑤ In einen Stromkreis ist ein variabler Widerstand eingebaut. Wie verändert sich die Intensität der Elektronenströmung, wenn bei gleicher Spannung der Widerstandswert R vergrößert wird?



⑥ Betrachte den Stromkreis auf der rechten Seite.

a) Bestimme den Widerstandswert R des Widerstands.

b) Beschreibe, was dieser Widerstandswert in Hinblick auf eine Elektronenströmung von 1 A angibt.



⑦ Verschiedene Elektrogeräte haben verschiedene elektrische Widerstandswerte. Die elektrische Spannung einer Steckdose von 230 V führt deshalb bei unterschiedlichen Elektrogeräten zu einer unterschiedlich hohen Intensität der Elektronenströmung, wie die Beispiele unten zeigen:

i) Kochplatte: $I = 6\text{ A}$; ii) Heizstrahler: $I = 5\text{ A}$; iii) Staubsauger: $I = 3\text{ A}$; iv) Bügeleisen: $I = 0,5\text{ A}$

a) Ordne die unterschiedlichen Elektrogeräte zunächst danach, wie groß ihr Widerstandswert R ist, ohne den Widerstandswert R zu berechnen (angefangen mit dem größten Widerstand). Begründe deine Reihenfolge.

b) Berechne nun den Widerstandswert R der obengenannten Elektrogeräte und erkläre, inwiefern die Werte mit deinen Überlegungen aus Teil a) vereinbar sind.

c) Bei Motor A führt eine Spannung von $U = 10\text{ V}$ zu einer Elektronenströmung von $I = 2\text{ A}$, bei Motor B führt eine Spannung von $U = 8\text{ V}$ zu einer Elektronenströmung von $I = 4\text{ A}$. Begründe, warum Motor A einen größeren Widerstandswert hat. Nutze hierzu die Begriffe „elektrischer Druckunterschied“, „Elektronenströmung“ und „Ampere“.

⑧ Entscheide jeweils, welches Widerstandselement den größeren Widerstandswert R hat. Begründe deine Antwort!

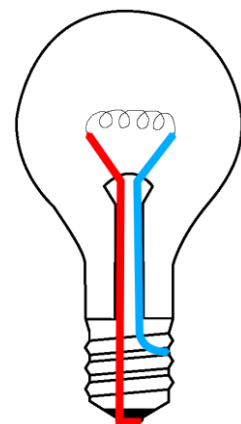
- Ein langes oder ein kurzes Widerstandselement?
- Ein dickes oder ein dünnes Widerstandselement?
- Ein kaltes oder ein heißes Widerstandselement?

⑨ Überlege dir zunächst an Hand der Darstellung rechts, wo du die mit einer Batterie verbundenen Drähte an das Lämpchen anschließen musst, damit es leuchtet.

a) Unterscheidet sich die Intensität der Elektronenströmung im Glühdraht und in den Leitern, mit denen er verbunden ist? Begründe deine Antwort!

b) Begründe mit Hilfe der Vorstellung von Elektronen und Atomrümpfen, warum der Glühdraht einer Lampe heißer wird als die beiden Leiter, an die er angeschlossen ist.

c) Was passiert, wenn man eine 3 V Glühlampe an eine $1,5\text{ V}$ Batterie anschließt? Was passiert, wenn man sie an eine 12 V Batterie anschließt?



7) Die Parallelschaltung

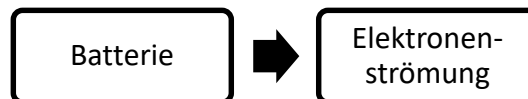
Die Anwendung der Modellvorstellung

Um Parallelschaltungen zu verstehen, ist es ganz wichtig, die in den vorherigen Kapiteln gelernte Modellvorstellung konsequent anzuwenden. Dies bedeutet vor allem, bei der Analyse von Stromkreisen immer erst den von der Batterie verursachten elektrischen Druckunterschied zu betrachten. Dieser verursacht wiederum die Elektronenströmung.

Diese Denkweise widerspricht oftmals der eigenen Intuition, den Stromkreis aus Sicht des elektrischen Stroms analysieren zu wollen. Überprüfe bei der Analyse von Stromkreisen deshalb immer dein eigenes Denken: Folgst du gerade dem falschen aber „intuitiven Gedankengang“ oder verwendest du die korrekte Modellvorstellung (siehe Darstellung unten)?

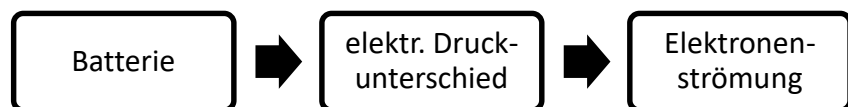
Intuitiver Gedankengang

Entgegen der Intuition können Stromkreise nicht aus Sicht einer Elektronenströmung analysiert werden, die von der Batterie ausgehend „einfach so“ den Stromkreis durchströmt.



Anwendung der Modellvorstellung

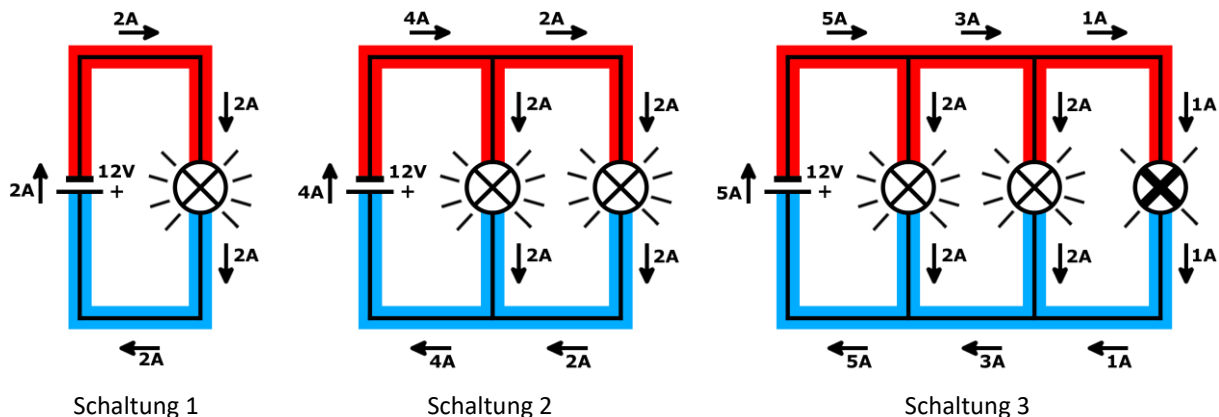
Stattdessen erzeugt die Batterie einen konstanten elektrischen Druckunterschied. Dieser Druckunterschied an den Lämpchen ist erst die Ursache für die Elektronenströmung.



Die Parallelschaltung

Damit du Parallelschaltungen korrekt analysieren kannst, musst du Folgendes verstehen:

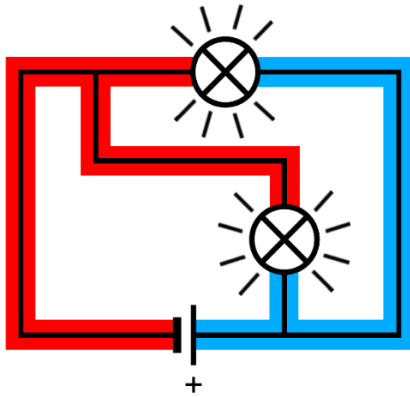
1. Die Batterie erzeugt zunächst einen festen elektrischen Druckunterschied.
2. Dieser elektrische Druckunterschied verursacht bei jedem einzelnen Lämpchen eine Elektronenströmung (in Abhängigkeit vom Widerstand des Lämpchens).
3. Die Elektronenströmungen an den einzelnen Lämpchen fließen an den unteren Verzweigungen zusammen bzw. müssen von der Batterie bereitgestellt werden.



Wenn ein Lämpchen einer Parallelschaltung kaputtgeht, leuchten die anderen einfach weiter, weil an ihnen weiterhin der gleiche elektrische Druckunterschied (= Spannung) anliegt.

Wie du anhand der Darstellung erkennen kannst, hält die Batterie den elektrischen Druckunterschied in den direkt mit ihren Polen verbundenen Leiterstücken konstant – unabhängig davon, wie viele Lämpchen parallelgeschaltet wurden. Abhängig von der Anzahl an parallelgeschalteten Lämpchen muss die Batterie jedoch eine unterschiedlich große Intensität der Elektronenströmung bereitstellen. Die Batterie ist also eine Spannungs- und keine Stromquelle (sie hält die Spannung konstant, nicht den Strom!).

Das Erkennen von Parallelschaltungen

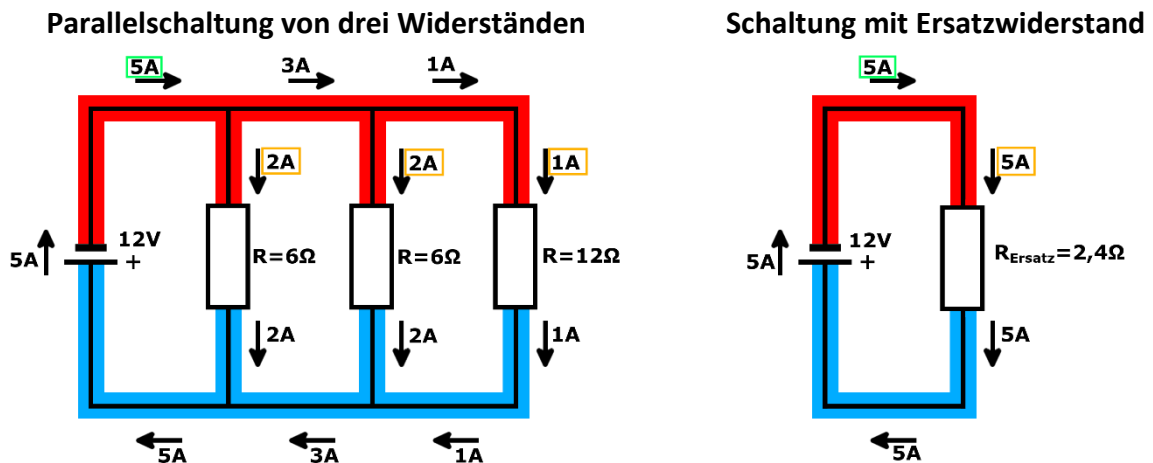


Häufig ist eine Parallelschaltung gar nicht so leicht zu erkennen, weil die Leiter in der Schaltung nicht parallel zueinander angeordnet sind (siehe Schaltung links). Ein Trick, um Parallelschaltungen dennoch zu erkennen, ist:

Eine Parallelschaltung liegt vor, wenn an den Lämpchen die gleichen elektrischen Drücke anliegen (hier jeweils der gleiche elektrische Über- und Unterdruck; dargestellt durch rot und blau).

Der Ersatzwiderstand einer Parallelschaltung

Manchmal möchte man die parallelgeschalteten Widerstände zu einem einzigen sogenannten „Ersatzwiderstand“ zusammenfassen. Der Ersatzwiderstand wird dann wie folgt gewählt: Die Elektronenströmung durch den Ersatzwiderstand soll der Summe der Elektronenströmungen durch die verschiedenen parallelgeschalteten Widerstände entsprechen.



Im Beispiel beträgt bei einer Spannung von $U = 12\text{ V}$ die Intensität der Elektronenströmung durch alle drei Widerstände zusammen $I = 5\text{ A}$. Ein einzelner Ersatzwiderstand, bei dem eine Spannung von $U = 12\text{ V}$ ebenfalls zu einer Elektronenströmung von $I = 5\text{ A}$ führt, muss also den folgenden Widerstandswert R besitzen:

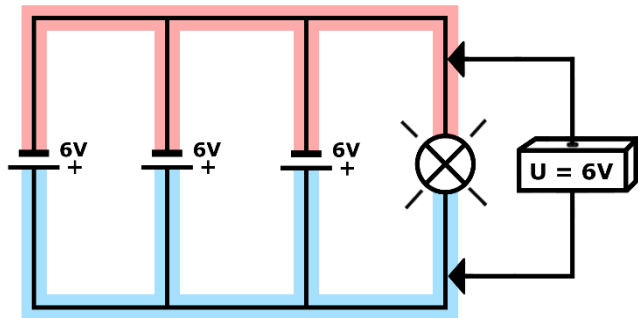
$$R = \frac{U}{I} = \frac{12\text{ V}}{5\text{ A}} = 2,4\ \Omega$$

Das ist ein bemerkenswertes Ergebnis: Der Ersatzwiderstand hat einen kleineren Widerstandswert R als jeder der ursprünglich parallelgeschalteten Widerstände. Dies liegt daran, dass jeder parallelgeschaltete Widerstand für eine zusätzliche Elektronenströmung sorgt. *Vergleich mit einem Strohhalm: Je mehr Strohhalme „parallel“ im Mund stecken, desto leichter lässt sich Luft durch sie blasen und desto geringer ist folglich ihr „Widerstand“.*

Parallelschaltung von Batterien

Eine Parallelschaltung von Batterien erhöht nicht die Gesamtspannung. Jede der drei 6 V-Batterien sorgt dafür, dass der elektrische Druck an ihrem Minuspol um 6 V höher ist als an ihrem Pluspol (ausgehend vom gleichen Ausgangsdruck am Pluspol).

Vorteil: Zusammen können die Batterien den elektrischen Druckunterschied auch bei großen Elektronenströmungen durch das Lämpchen noch konstant halten.



Information für Interessierte: Berechnung des Ersatzwiderstands

Der Ersatzwiderstand R_{Ersatz} bei Parallelschaltungen kann auch allein mit Hilfe der Widerstandswerte R_1, R_2, R_3 , usw. der einzelnen parallelgeschalteten Widerstände berechnet werden:

$$\frac{1}{R_{\text{Ersatz}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

Information für Interessierte: Die Energieübertragung bei Parallelschaltungen

Mit jedem zusätzlichen Lämpchen, das parallelgeschaltet wird, nimmt die Intensität der Elektronenströmung zu. Gleichzeitig erhöht sich auch die Energiemenge, die die Batterie jede Sekunde bereitstellen muss, damit alle Lämpchen leuchten können. Betrachten wir hierzu die Parallelschaltungen 1 - 3 vom Anfang dieses Kapitels:

- In Schaltung 1 findet eine Energieübertragung von $P = U \cdot I = 12 \text{ V} \cdot 2 \text{ A} = 24 \text{ W}$ von der Batterie zum Lämpchen statt.
- In Schaltung 2 findet eine Energieübertragung von $P = U \cdot I = 12 \text{ V} \cdot 4 \text{ A} = 48 \text{ W}$ von der Batterie zu den beiden Lämpchen statt.
- In Schaltung 3 findet eine Energieübertragung von $P = U \cdot I = 12 \text{ V} \cdot 5 \text{ A} = 60 \text{ W}$ von der Batterie zu den drei Lämpchen statt.

Vorsicht



- Eine Batterie hält die elektrischen Drücke in den mit ihren Polen verbundenen Leiterstücken konstant und nicht die Intensität der Elektronenströmung. Die Batterie passt ihre Pumpleistung also immer so an, dass die elektrischen Drücke konstant bleiben.
- Wird ein weiteres Lämpchen parallelgeschaltet, muss sich die bisherige Elektronenströmung nicht aufteilen. Vielmehr stellt die Batterie die zusätzliche Elektronenströmung für das neue Lämpchen bereit. Die bisherige Elektronenströmung steigt dadurch an. Die Batterie muss sich somit auch „mehr anstrengen“.
- Die Elektronenströmung muss sich an Verzweigungen (sogenannten „Knoten“) nicht aktiv entscheiden, wie sie sich aufteilt. Es ist vielmehr so, dass sich die von der Batterie kommende Elektronenströmung aus der Summe der einzelnen Elektronenströmungen ergibt, die durch die verschiedenen Lämpchen strömen.
- Trotz gleichen Drucks in einem Leiterabschnitt, können sich die Elektronenströmungen in diesem unterscheiden (siehe Parallelschaltungen weiter oben).

Übungsaufgaben

① Betrachte den Schaltplan rechts. Bedenke, dass die Elektronenströmung immer eine Folge des elektrischen Druckunterschieds ist.

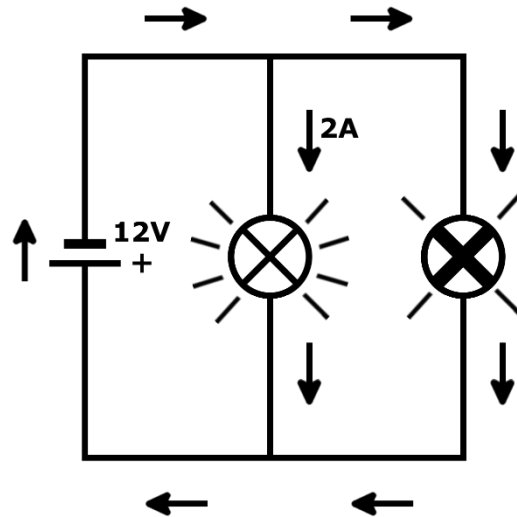
a) Zeichne mit Hilfe der Farbdarstellung zunächst die elektrischen Drücke ein.

b) Beschrifte die Strömungspfeile, indem du die Intensität der Elektronenströmung direkt vor und nach dem jeweiligen Lämpchen bestimmst.

c) Bestimme die Intensität der Elektronenströmung im unteren und oberen Leiter.

d) Nun wird die Batterie umgepolt (d.h. Plus- und Minuspol vertauscht). Beschreibe, was sich hierdurch ändert und was nicht.

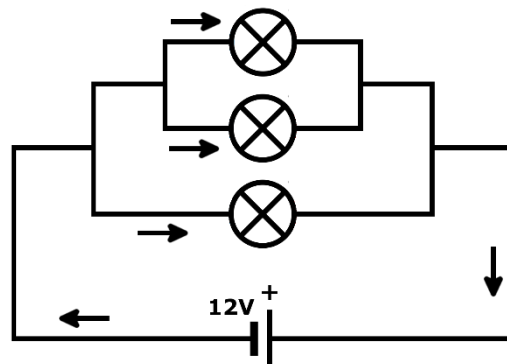
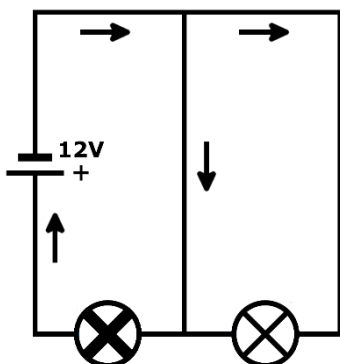
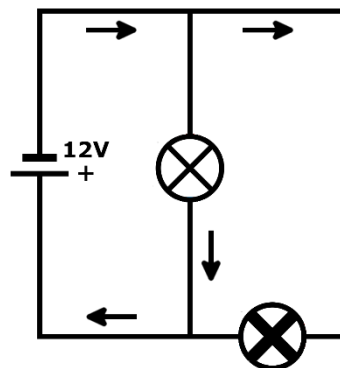
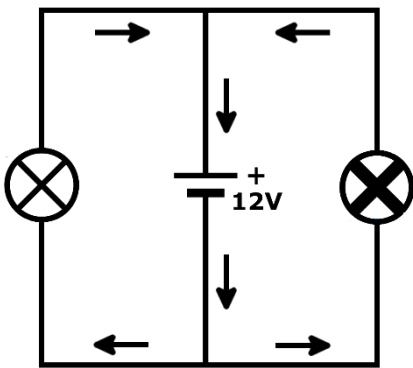
e) Bestimme die Widerstandswerte R der beiden Lämpchen und berechne den Ersatzwiderstand.



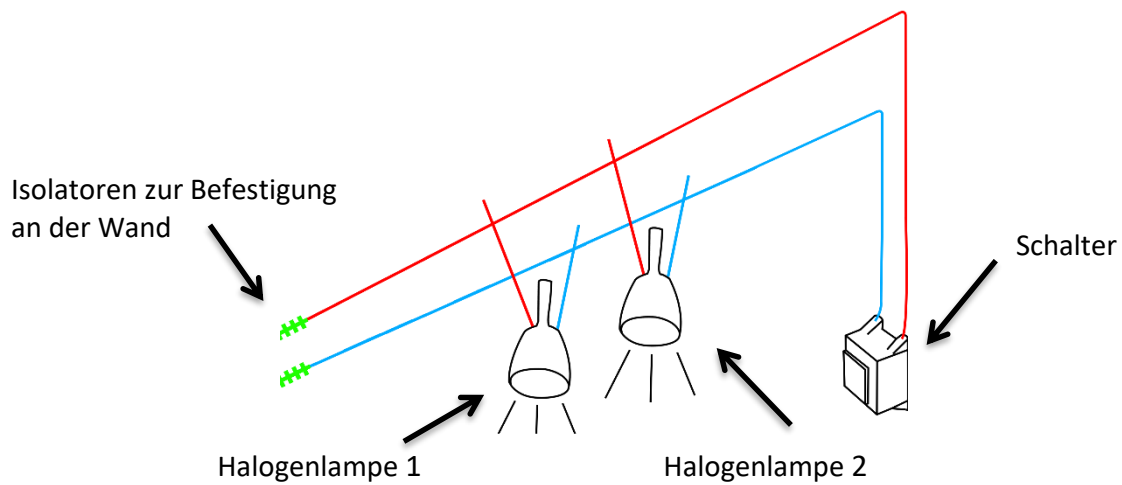
② Betrachte die unten dargestellten vier Schaltpläne.

a) Zeichne zunächst die elektrischen Drücke ein und erläutere, ob es sich um eine Parallelschaltung handelt.

b) Beschrifte die Strömungspfeile an den verschiedenen Stellen im Stromkreis, indem du die Intensität der Elektronenströmung bestimmst. Nimm dabei an, dass diese bei kleinen Widerständen 2 A und bei großen Widerständen 1 A beträgt.



③ Halogenlampen werden an Seilsysteme angeschlossen, die nahe der Decke eines Zimmers von Wand zu Wand gespannt werden. In der untenstehenden Abbildung verdeutlichen die Farben der Leitungen wie immer die elektrischen Drücke.



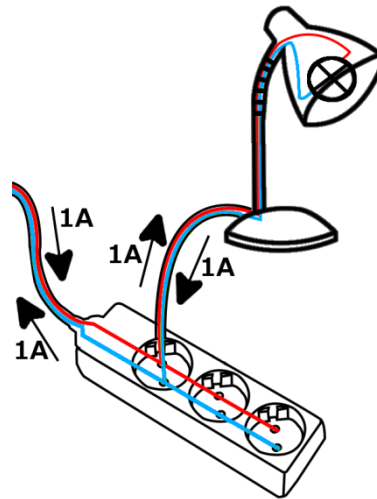
- Begründe, warum die beiden Halogenlampen parallelgeschaltet sind.
- Gib die Intensitäten der Elektronenströmungen an den Lampen und in den Leitungen nahe dem Schalter an. Gehe davon aus, dass durch jede Halogenlampe 2 A strömen.
- Beschreibe, wie sich die Elektronenströmungen verändern, wenn eine weitere Halogenlampe zwischen Halogenlampe 1 und den Isolatoren an der Wand eingebaut wird.
- Begründe, ob die bisherigen zwei Halogenlampen nach Einbau der neuen Halogenlampe weniger hell leuchten.
- Eine der drei Halogenlampen geht kaputt. Erkläre, inwiefern sich dadurch die Helligkeit der restlichen Halogenlampen ändert.

④ Stimmt's oder stimmt's nicht? Begründe jeweils deine Antwort!

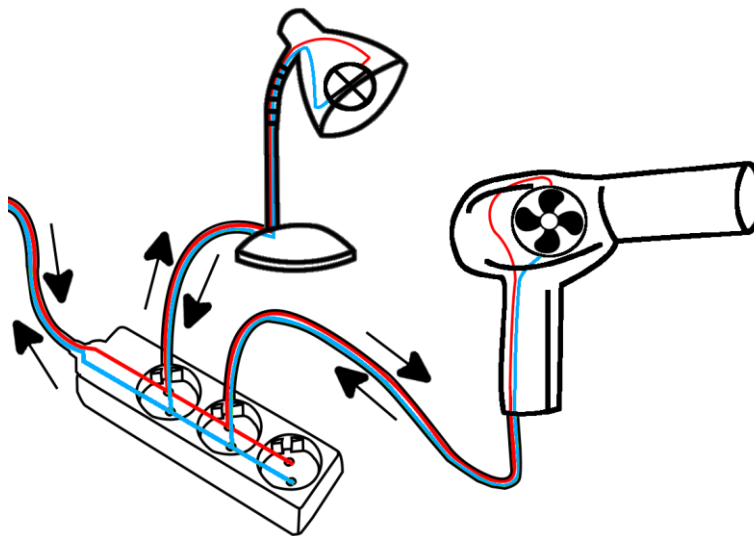
- „Die Intensität der Elektronenströmung in den Leitern, die direkt mit den Polen der Batterie verbunden sind, hängt von der Anzahl der parallelgeschalteten Lämpchen ab. Die Batterie hält nur den elektrischen Druck in diesen Leitern konstant. Deshalb ist eine Batterie auch eine Spannungsquelle und keine Stromquelle.“
- „Herrscht in einem Leiter ein gleicher elektrischer Druck, ist auch die Intensität der Elektronenströmung in diesem Leiter überall gleich groß.“
Tipp: Denk an zwei parallelgeschaltete Lämpchen!
- „Zwei Lämpchen sind dann parallelgeschaltet, wenn sie parallel nebeneinander angeordnet sind.“

⑤ Die Physik der Mehrfachsteckdosen

Eine Tischlampe wird an eine Mehrfachsteckdose angeschlossen. Aufgrund der Spannung (= elektrischer Druckunterschied) zwischen den Löchern der Mehrfachsteckdose, kommt es zu einer Elektronenströmung von 1 A (siehe Bild rechts).



- a) Nun wird zusätzlich ein Föhn mit einer Elektronenströmung von 7 A an die Mehrfachsteckdose angeschlossen (siehe Bild unten). Schreibe die Intensitäten der Elektronenströmungen bei Föhn, Lampe und Mehrfachsteckdose an die Pfeile.



- b) Begründe, warum der Föhn nicht ausgeht, wenn der Glühdraht der Lampe durchbrennt, die Lampe also kaputtgeht.
- c) Angela schließt an die noch freie Steckdose der Mehrfachdose eine weitere Mehrfachsteckdose mit neun Steckdosen an, um damit weitere Elektrogeräte zu betreiben (z.B. einen Wasserkocher). Beschreibe, wie sich hierdurch die Elektronenströmung durch die Zuführungskabel der ursprünglichen Mehrfachsteckdose ändert und begründe, warum das gefährlich ist!

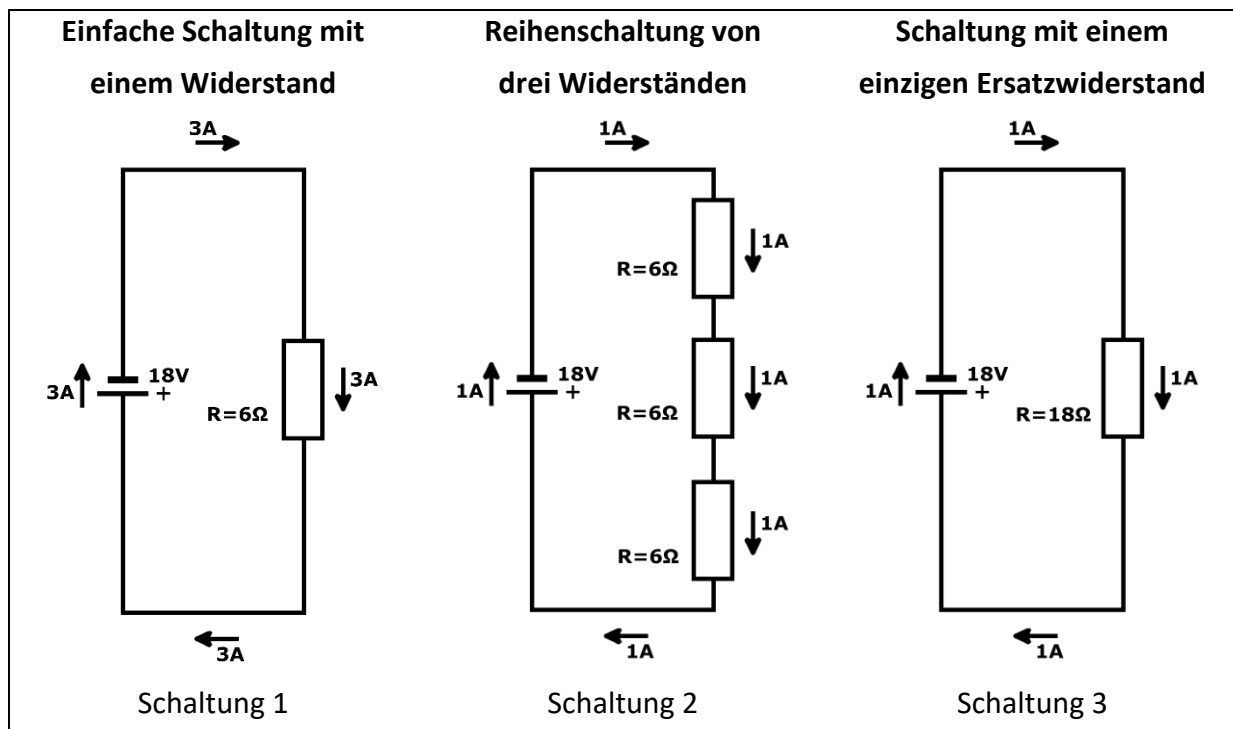
Bedenke: Je höher die Intensität der Elektronenströmung ist, desto wärmer wird ein Stromkabel, weil die Elektronen auch in guten Leitern hin und wieder gegen die Atomrümpfe stoßen.

8) Die Reihenschaltung

Der Gesamtwiderstand einer Reihenschaltung

Bei einer Reihenschaltung sind mehrere Widerstände oder Lämpchen hintereinandergeschaltet. Wie du am unten dargestellten Beispiel sehen kannst, behindern drei gleiche in Reihe geschaltete Widerstände die Elektronenströmung dreimal so stark wie ein einzelner solcher Widerstand: Die Elektronenströmung geht von 3 A (in Schaltung 1) auf 1 A (in Schaltung 2) zurück. Bei einer Reihenschaltung macht es deshalb Sinn, von einem Gesamtwiderstand zu sprechen. Der Gesamtwiderstand R_{Gesamt} stellt dabei die Summe der Einzelwiderstände R_1, R_2, R_3 , usw. dar (hier 18Ω):

$$R_{Gesamt} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$



Manchmal möchte man die in Reihe geschalteten Widerstände zu einem einzigen sogenannten „Ersatzwiderstand“ zusammenfassen (Schaltung 3). Der Ersatzwiderstand soll dabei so gewählt werden, dass sich die Intensität der Elektronenströmung im Vergleich zu den drei in Reihe geschalteten Widerständen nicht ändert. Dies ist dann der Fall, wenn der Ersatzwiderstand dem Gesamtwiderstand der Einzelwiderstände entspricht (hier also $R = 18 \Omega$).

Die Intensität der Elektronenströmung bei einer Reihenschaltung

Bei einem Widerstand gilt:

Umso **größer der Widerstand**, desto **kleiner die Elektronenströmung**.

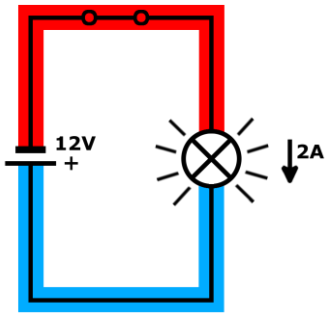
Bei einer Reihenschaltung von Widerständen gilt:

Umso **größer der Gesamtwiderstand**, desto **kleiner die Elektronenströmung**.

Vergleich mit einem Strohhalm: Je mehr Strohhalme hintereinander „zusammengesteckt“ werden, desto schwerer lässt sich Luft durch sie blasen und desto größer ist folglich ihr „Gesamtwiderstand“.

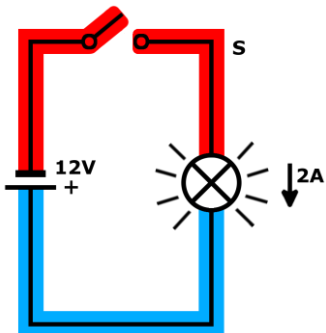
Die Spannung an einem Schalter

Wenn ein Schalter in einem Stromkreis geöffnet wird, liegt die volle elektrische Spannung der Batterie an ihm an. Um dies zu verstehen, schauen wir uns die Veränderung der elektrischen Drücke unmittelbar nach dem Öffnen des Schalters an.



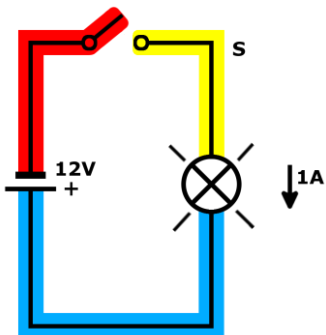
Schalter noch geschlossen

Der Schalter hat keinen Widerstand. Deshalb liegt an ihm kein elektrischer Druckunterschied an.



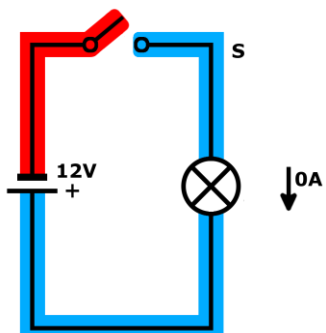
Schalter geöffnet (Anfangszustand)

Der Schalter wurde geöffnet. Im ersten Moment herrscht noch ein Überdruck im Leiterstück S. Durch den zunächst unverändert hohen Druckunterschied am Lämpchen wird dieses im ersten Moment noch von 2 A durchströmt.



Schalter geöffnet (Übergangszustand)

Aufgrund des Druckunterschiedes am Lämpchen strömen weiterhin Elektronen aus dem Leiterstück S durch das Lämpchen. Wegen des offenen Schalters können aber keine Elektronen mehr in das Leiterstück S hineinströmen. Der elektrische Druck im Leiterstück S sinkt dadurch, wodurch auch der elektrische Druckunterschied am Lämpchen kleiner wird. Dies hat zur Folge, dass die Elektronenströmung immer kleiner wird.

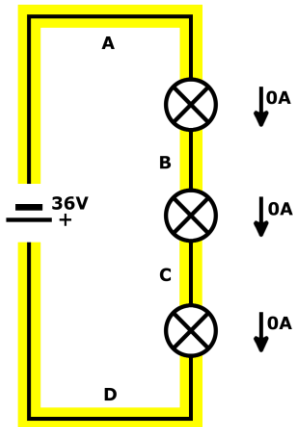


Schalter geöffnet (Endzustand)

Irgendwann sind so viele Elektronen aus dem Leiterstück S geströmt, dass dort ein elektrischer Unterdruck herrscht. Da dann am Lämpchen kein Druckunterschied mehr anliegt, strömen auch keine Elektronen mehr durch das Lämpchen. Stattdessen liegt nun am Schalter der volle von der Batterie erzeugte elektrische Druckunterschied an.

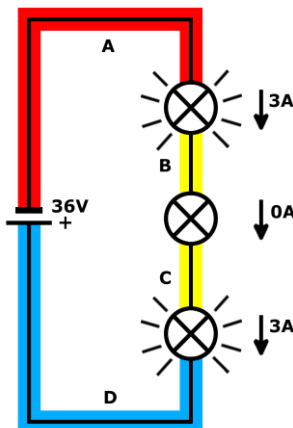
Die Spannung bei Reihenschaltungen von gleichen Widerständen

Bei in Reihe geschalteten Lampen oder anderen Widerständen teilt sich der von der Batterie erzeugte elektrische Druckunterschied (= elektrische Spannung) auf die Lämpchen auf. Um dies zu verstehen, schauen wir uns die Veränderung der elektrischen Drücke in den einzelnen Leiterabschnitten unmittelbar nach Anschluss der Batterie an.



Anfangszustand

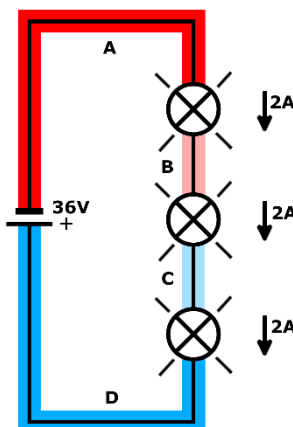
So lange der Stromkreis noch nicht an die Batterie angeschlossen ist, herrscht in allen Leiterabschnitten ein elektrischer Normaldruck. Da nirgendwo ein elektrischer Druckunterschied anliegt, fließt kein Strom.



Übergangszustand

Im ersten Moment, nachdem der Stromkreis mit der Batterie verbunden wurde, herrscht im oberen Leiterstück A ein Überdruck und im unteren Leiterstück D ein Unterdruck. In den beiden mittleren Leiterstücken B und C herrscht zunächst noch ein Normaldruck.

Aufgrund der nun am oberen und unteren Lämpchen anliegenden Druckunterschiede, strömen nun aber Elektronen in das Leiterstück B rein bzw. aus dem Leiterstück C raus. Dadurch steigt der elektrische Druck in Leiterstück B, während er in Leiterstück C sinkt.



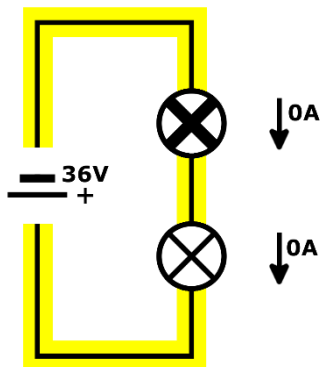
Endzustand

Aufgrund des angestiegenen Drucks in Leiterstück B und des abgesunkenen Drucks in Leiterstück C liegt nun auch am mittleren Lämpchen ein Druckunterschied an. Dadurch kommt es zu einer Elektronenströmung durch das mittlere Lämpchen. Die Elektronenströmung durch das obere und untere Lämpchen nimmt von 3 A auf 2 A ab, weil der jeweils anliegende Druckunterschied durch die veränderten Drücke in B und C kleiner geworden ist.

Wenn die Elektronenströmung durch alle Lämpchen gleich groß ist, strömen in Leiterabschnitte B und C genauso viele Elektronen rein wie raus. Dann ändern sich auch die elektrischen Drücke in B und C nicht mehr und der stabile Endzustand ist erreicht.

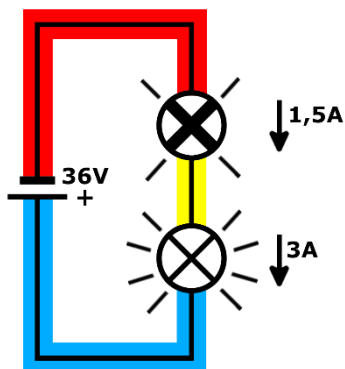
**Der Endzustand einer Reihenschaltung stellt sich im Prinzip sofort ein.
Die Übergangszustände erklären nur, wie dieser Endzustand erreicht wird.**

Die Spannung bei Reihenschaltungen von ungleichen Widerständen



Anfangszustand

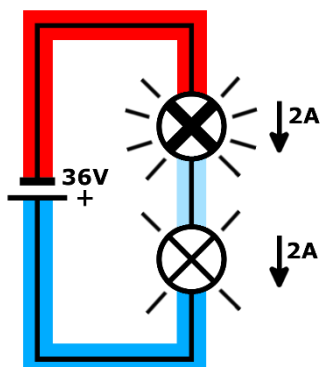
So lange der Stromkreis noch nicht an die Batterie angeschlossen ist, herrscht in allen Leiterabschnitten ein elektrischer Normaldruck. Da nirgendwo ein elektrischer Druckunterschied anliegt, fließt kein Strom.



Übergangszustand

Im ersten Moment, nachdem der Stromkreis mit der Batterie verbunden wurde, herrscht im oberen Leiterstück ein Überdruck und im unteren Leiterstück ein Unterdruck. Im mittleren Leiterstück herrscht zunächst noch ein Normaldruck, weil noch keine Elektronen durch das obere oder untere Lämpchen geströmt sind.

An beiden Lämpchen liegt zunächst der gleiche Druckunterschied an. Da das obere Lämpchen aber einen doppelt so großen Widerstand hat wie das untere, führt dieser gleiche Druckunterschied beim oberen Lämpchen nur zu einer halb so großen Elektronenströmung.



Endzustand

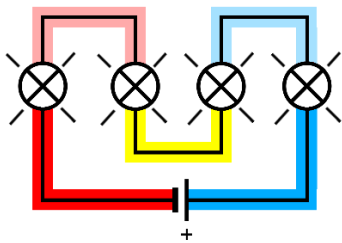
Da dann mehr Elektronen aus dem mittleren Leiterstück rausströmen als reinströmen, sinkt der elektrische Druck in diesem Leiterstück. Hierdurch steigt der Druckunterschied am oberen Lämpchen, während der Druckunterschied am unteren Lämpchen abnimmt.

Im Endzustand ist der Druckunterschied am oberen Lämpchen (mit großem Widerstand) so hoch bzw. der Druckunterschied am unteren Lämpchen (mit kleinem Widerstand) so gering, dass die Elektronenströmung durch beide Lämpchen gleich groß ist.

Zusammenfassung der wesentlichen Erkenntnisse

- Der von der Batterie erzeugte elektrische Druckunterschied teilt sich in einer Reihenschaltung auf die verschiedenen Lämpchen bzw. Widerstände auf.
- Je mehr Lämpchen bzw. Widerstände in Reihe geschaltet werden, desto geringer ist folglich der an jedem einzelnen Lämpchen anliegende Druckunterschied.
- Die elektrischen Drücke in den einzelnen Leiterabschnitten stellen sich dabei immer so ein, dass die Elektronenströmung im Endzustand überall gleich groß ist. Es gilt:
 - An einem großen Widerstand stellt sich immer ein großer Druckunterschied ein.
 - An einem kleinen Widerstand stellt sich immer ein kleiner Druckunterschied ein.
 - An gleichen Widerständen stellt sich immer der gleiche Druckunterschied ein.

Das Erkennen von Reihenschaltungen



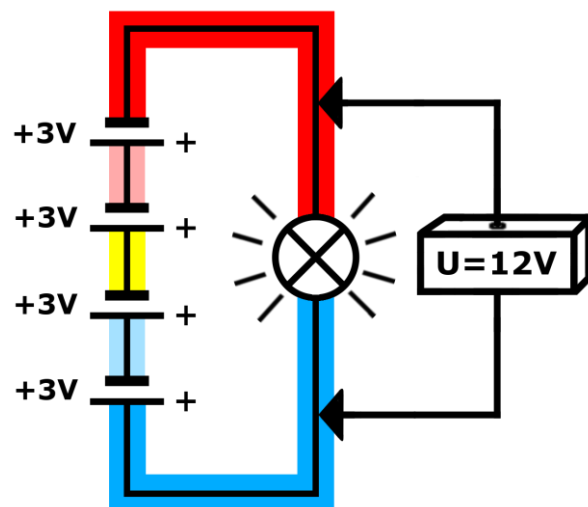
Bei einer Reihenschaltung liegen an den verschiedenen Lämpchen unterschiedliche elektrische Drücke an. Dies ist ein wesentlicher Unterschied zu einer Parallelschaltung, bei der an allen Lämpchen die gleichen Drücke anliegen.

Auch wenn die Lämpchen in der Schaltung links parallel nebeneinander angeordnet sind, handelt es sich deshalb um eine Reihenschaltung.

Reihenschaltungen von Batterien

Bei vielen Alltagsgegenständen wie z.B. Taschenlampen und Fernbedienungen werden Batterien in Reihe geschaltet. Auf diese Weise kann eine höhere Gesamtspannung erzeugt werden. Dies ist möglich, weil eine Batterie dafür sorgt, dass der elektrische Druck an ihrem Minuspol höher ist als an ihrem Pluspol.

Beispiel: Eine 3 V-Batterie sorgt dafür, dass der elektrische Druck an ihrem Minuspol um 3 V höher ist als an ihrem Pluspol. Schaltet man also vier Batterien mit einer Spannung von jeweils 3 V in Reihe, kann man so die Gesamtspannung auf 12 V erhöhen.



Es gilt also:

$$U_{\text{Gesamt}} = U_{\text{Bat}_1} + U_{\text{Bat}_2} + U_{\text{Bat}_3} + \dots$$

Vorsicht

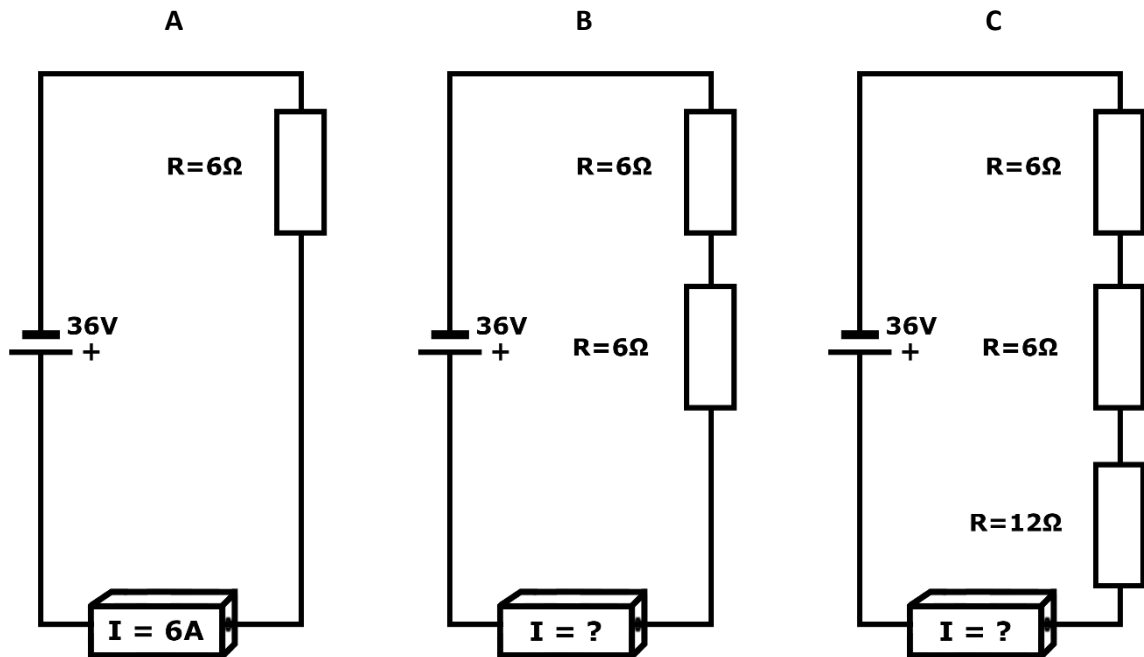
- In der Physik interessiert man sich immer nur für die Spannung und die Intensität der Elektronenströmung im Endzustand eines Stromkreises, da sich der Endzustand im Prinzip sofort einstellt. Die Betrachtung des Übergangszustands erklärt nur, wie es zum Endzustand kommt.
- Die Batterie hält den elektrischen Druck in den direkt mit ihren Polen verbundenen Leiterstücken immer konstant. In den Leiterstücken, die nicht direkt mit einem Batteriepol verbunden sind (z.B. zwischen zwei Lämpchen), hängt der elektrische Druck im Endzustand davon ab, was im Übergangszustand passiert.
- Wird ein Widerstand in einem Stromkreis durch einen anderen ersetzt oder verändert, so ändert dies im Prinzip sofort die Elektronenströmung im gesamten Stromkreis (denk an den „starrten Elektronenring“ oder eine Fahrradkette).
- Strömen bei einer Reihenschaltung im Endzustand z.B. 3 A durch das obere Lämpchen und 3 A durch das untere Lämpchen, so beträgt die Intensität der Elektronenströmung an allen Stellen im (unverzweigten) Stromkreis 3 A und nicht 6 A.



Übungsaufgaben

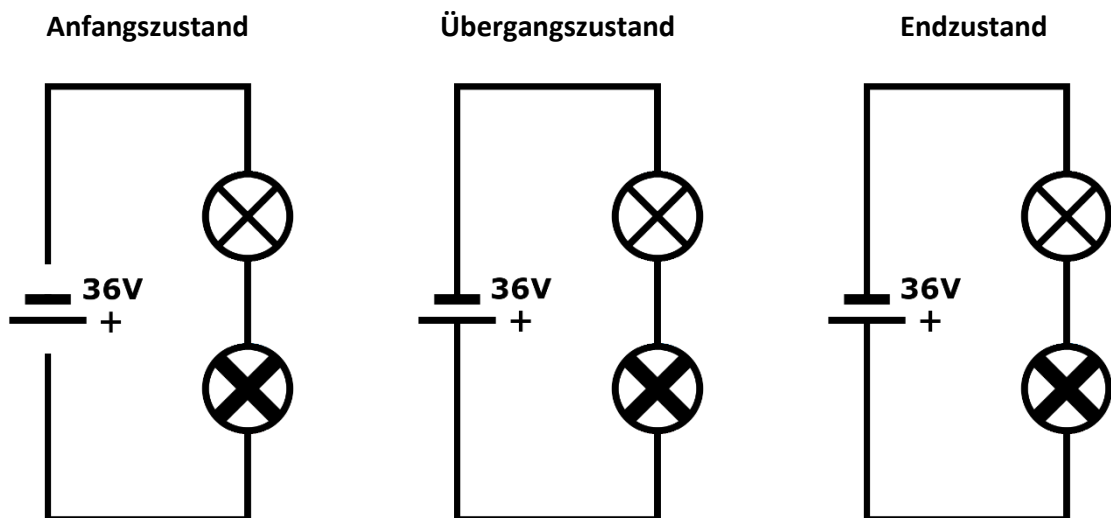
① Betrachte die Schaltungen A, B und C.

- a) Gib für jede Schaltung den Gesamtwiderstand und die Intensität der Elektronenströmung an, die das Amperemeter anzeigt.
- b) Jannis glaubt, dass von Schaltung A nach C die Intensität der Elektronenströmung, die am Amperemeter angezeigt wird, immer weiter abnimmt, weil mehr Widerstände seiner Meinung nach mehr Strom verbrauchen. Erkläre Jannis, worin sein Denkfehler besteht.



② Betrachte die unten dargestellten Schaltpläne.

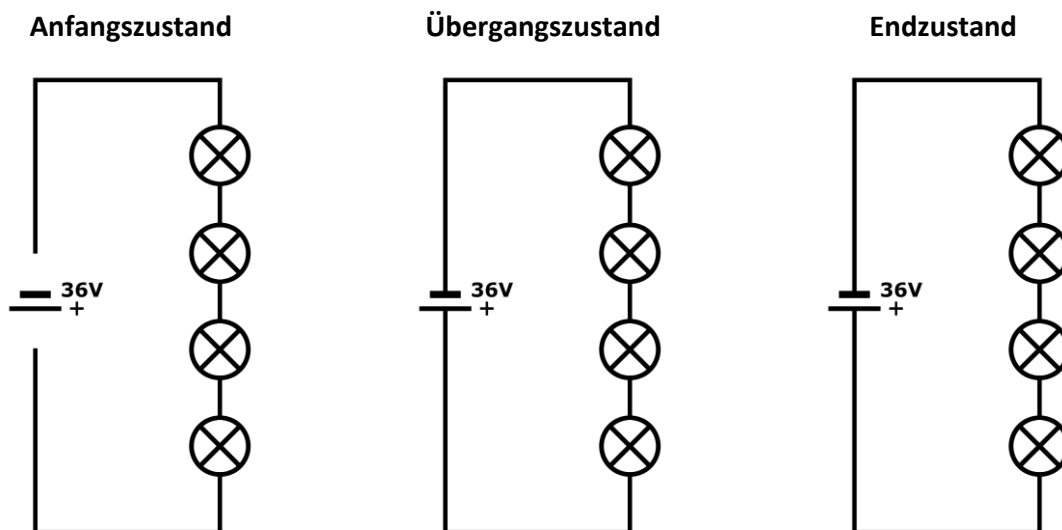
- a) Zeichne mit Hilfe der Farbdarstellung ein, wie sich die elektrischen Drücke in den einzelnen Leiterabschnitten vom Anfangszustand zum Endzustand verändern.
- b) Begründe dann mit Hilfe der elektrischen Druckunterschiede, warum im Endzustand die Intensität der Elektronenströmung durch beide Lämpchen gleich groß ist.



(Das untere Lämpchen hat einen doppelt so großen Widerstand wie das obere Lämpchen)

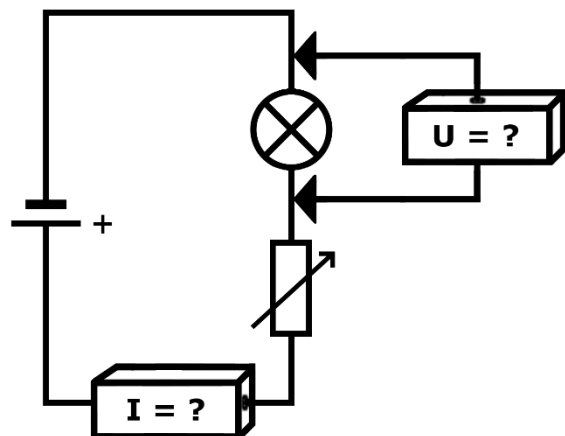
③ Betrachte die unten dargestellten Schaltpläne mit vier identischen Lämpchen.

- Zeichne mit Hilfe der Farbdarstellung ein, wie sich die elektrischen Drücke in den einzelnen Leiterabschnitten vom Anfangszustand zum Endzustand verändern.
- Begründe, ob das obere oder untere Lämpchen im Übergangszustand zuerst leuchtet – oder beide gleichzeitig!
- Begründe mit Hilfe der elektrischen Druckunterschiede, warum im Endzustand die Intensität der Elektronenströmung durch alle Lämpchen gleich groß ist.
- Gib an, ob die anderen Lämpchen noch leuchten, wenn das untere Lämpchen kaputtgeht, z.B. weil es durchglüht.
- Begründe deine Antwort zu d) mit Hilfe der an den Lämpchen anliegenden Druckunterschieden.
- Das kaputte Lämpchen wird aus der Schaltung entfernt und der Stromkreis wieder geschlossen. Erkläre einmal mit Hilfe des Gesamtwiderstands und einmal mit Hilfe der anliegenden elektrischen Druckunterschiede, warum die verbleibenden drei Lämpchen jetzt heller leuchten.

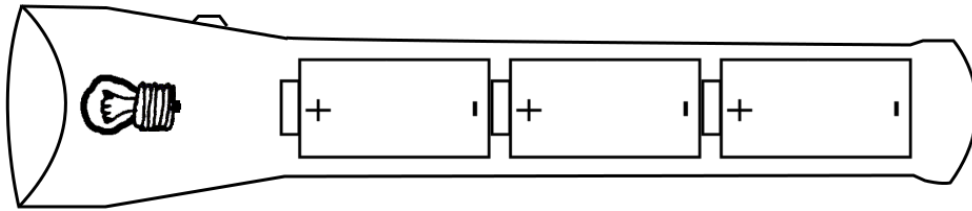


④ Betrachte die Schaltung rechts.

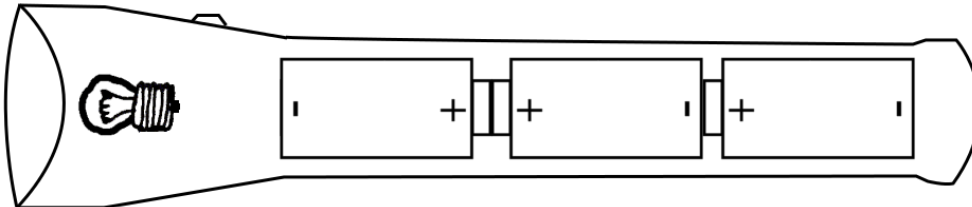
- Angenommen der variable Widerstand und das Lämpchen haben zunächst den gleichen Widerstandswert R . Begründe, was das für die Spannung bedeutet, die an dem Lämpchen und dem variablen Widerstand anliegt.
- Nun wird der Widerstandswert R des variablen Widerstands immer weiter erhöht. Erläutere, wie sich dadurch die Spannung am Voltmeter und die Intensität der Elektronenströmung am Amperemeter verändern.



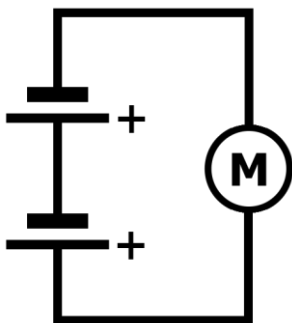
⑤ Betrachte die unten dargestellte Skizze einer Taschenlampe.



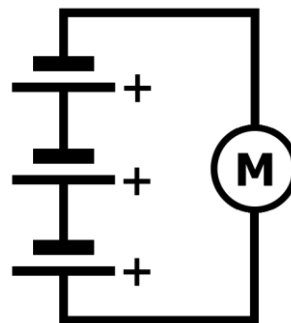
- Zeichne die nötigen Verbindungskabel ein, so dass das Lämpchen leuchten kann.
- Gib an, wie groß die Gesamtspannung in der oberen Darstellung ist, wenn jede der in Reihe geschalteten Batterien eine Spannung von $U = 1,5 \text{ V}$ besitzt?
- Begründe, warum es z.B. bei Taschenlampen von Vorteil ist, mehrere Batterien in Reihe zu schalten.
- Gib an, wie groß ist die Gesamtspannung ist, wenn die linke Batterie „falschherum“ in die Taschenlampe gesteckt wurde (siehe untere Darstellung)?
- Erkläre, was das für die Helligkeit der Taschenlampe bedeutet.



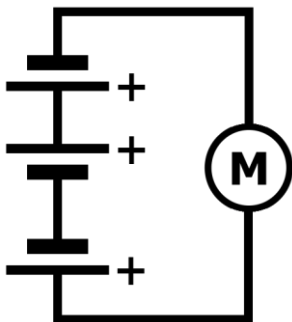
⑥ Sortiere die unten dargestellten Schaltungen von Batterien danach, wie schnell sich der Motor jeweils dreht (Reihenfolge: von langsam nach schnell). Gib für jede Schaltung die erzeugte Gesamtspannung an, wenn jede Batterie eine Spannung von $U = 1,5 \text{ V}$ besitzt.



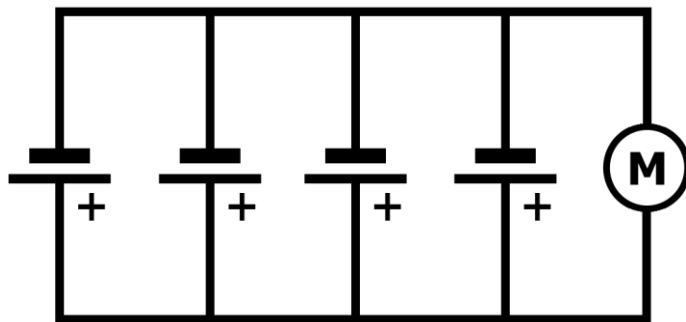
A



B



C



D

9) Das Ohm'sche Gesetz

Ist der Widerstandswert R konstant?

Bei den meisten Metallen hängt der Widerstandswert R von der Temperatur ab. Die steigt aber mit der Intensität der Elektronenströmung an. Das bedeutet, dass die meisten Metalle keinen festen Widerstandswert R haben. Vielmehr steigt ihr Widerstandswert R mit zunehmender Elektronenströmung an.

Das kommt daher, dass die Elektronen häufiger mit den Atomrümpfen zusammenstoßen, wenn die Elektronenströmung größer wird. Dadurch schwingen die Atomrümpfe stärker hin- und her, wodurch der Draht heißer wird. Durch dieses Hin- und Herschwingen kommt es zu noch mehr Zusammenstoßen der Elektronen mit den Atomrümpfen, wodurch der Widerstandswert R des Metalls ansteigt.

Merke: Normalerweise führt eine doppelt so hohe Spannung also nicht zu einer doppelt so großen Elektronenströmung, sondern z.B. nur zu einer 1,5-mal so großen Elektronenströmung. Der Widerstandswert R ist nicht konstant, sondern steigt mit zunehmender Elektronenströmung an.

Das Ohm'sche Gesetz

Manche Materialien werden so hergestellt, dass sie einen konstanten Widerstandswert R haben, der unabhängig von der Intensität der Elektronenströmung bzw. der Temperatur ist. Ein Metalldraht aus Konstantan hat z.B. einen konstanten Widerstandswert R. Ein solcher Widerstand mit einem konstanten Widerstandswert R heißt **Ohm'scher Widerstand**.

Bei einem Ohm'schen Widerstand führt eine Verdopplung der Spannung (= des Druckunterschieds) zu einer Verdopplung der Elektronenströmung; eine Verdreifachung der Spannung führt zu einer Verdreifachung der Elektronenströmung usw.

Mathematisch ausgedrückt ist die Intensität der Elektronenströmung I bei Ohm'schen Widerständen proportional zur am Widerstand anliegenden Spannung U: $I \sim U$

Wenn ein Ohm'scher Widerstand vorliegt, kann man das **Ohm'sche Gesetz**

$$R = \textit{konstant}$$

zur Berechnung von U, I oder R anwenden, sofern zwei der drei Größen bekannt sind (siehe nächste Seite).

Im Beispiel rechts ist der Widerstandswert R bei einem Ohm'schen Widerstand immer konstant (also unabhängig von der Elektronenströmung I und der Temperatur).

Beispiel

Die Spannung U an einem Widerstand wird schrittweise erhöht. Dabei wird jeweils die zugehörige Intensität der Elektronenströmung I gemessen. Anschließend wird über die Formel

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

der Widerstandswert R bestimmt.

U	I	R
3,0 V	1,0 A	3,0 Ω
6,0 V	1,5 A	4,0 Ω
9,0 V	1,8 A	5,0 Ω
12,0 V	2,0 A	6,0 Ω

Der Widerstandswert R ist nicht konstant, sondern nimmt mit steigender Elektronenströmung von $R = 3,0 \Omega$ auf $R = 6,0 \Omega$ zu.

Beispiel

Die Spannung U an einem Ohm'schen Widerstand wird schrittweise erhöht. Es wird jeweils die zugehörige Intensität der Elektronenströmung I gemessen. Anschließend wird der Widerstandswert R bestimmt.

U	I	R
3,0 V	1,0 A	3,0 Ω
6,0 V	2,0 A	3,0 Ω
9,0 V	3,0 A	3,0 Ω
12,0 V	4,0 A	3,0 Ω

Der Widerstandswert R ist konstant. Er beträgt unabhängig von der Spannung und der Elektronenströmung $R = 3,0 \Omega$. Es handelt sich damit um einen Ohm'schen Widerstand.

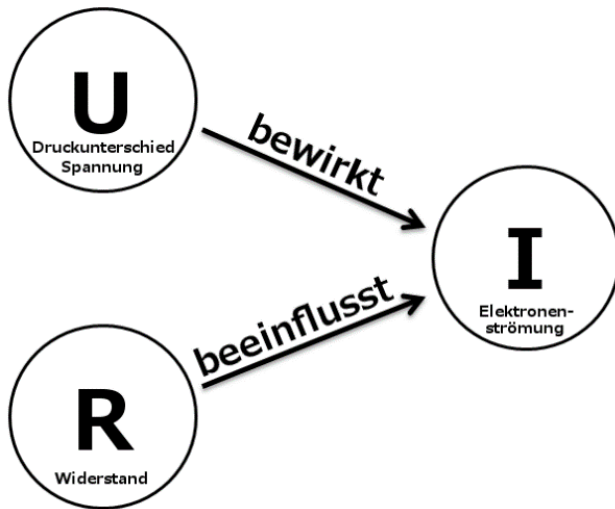
Wie kann man die Intensität der Elektronenströmung (= Stromstärke) berechnen?

Du weißt schon, dass ein elektrischer Druckunterschied U (= Spannung) eine Elektronenströmung bewirkt. Je größer der elektrische Druckunterschied U an einem Widerstand, desto größer ist die Intensität der Elektronenströmung I (= Stromstärke).

Du weißt auch, dass die Elektronenströmung von der Größe des Widerstandswertes R beeinflusst wird. Je größer der Widerstandswert R , desto kleiner die Intensität der Elektronenströmung I .

Liegt an einem Ohm'schen Widerstand ein elektrischer Druckunterschied U (= Spannung) an, so kannst du die daraus resultierende Intensität der Elektronenströmung I (= Stromstärke) ganz einfach mit Hilfe der folgenden Gleichung berechnen:

Bekannter Wirkungszusammenhang



Gleichung zur Berechnung der Stromstärke I

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

Beispiel

An eine Batterie mit einer Spannung von $U = 12 \text{ V}$ wird ein Ohm'scher Widerstand von $R = 3 \Omega$ angeschlossen. Welche Stromstärke zeigt das Amperemeter an?

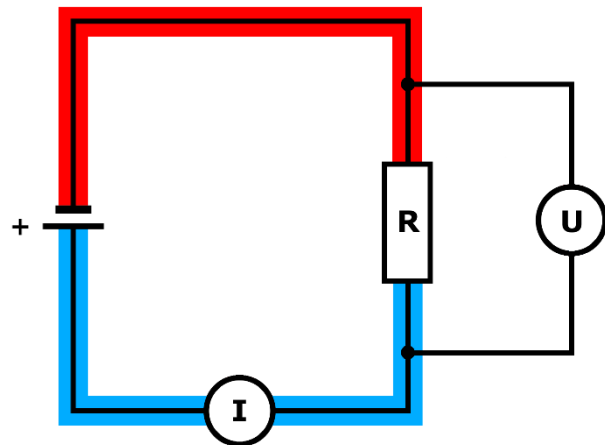
$$I = \frac{U}{R} = \frac{12 \text{ V}}{3 \Omega} = 4 \text{ A}$$

Nun wird die Spannung auf $U = 24 \text{ V}$ erhöht. Wie groß ist nun die Stromstärke durch den Widerstand?

$$I = \frac{U}{R} = \frac{24 \text{ V}}{3 \Omega} = 8 \text{ A}$$

Wie groß ist die Stromstärke, wenn nun bei dieser höheren Spannung ein größerer Widerstand von $R = 12 \Omega$ eingesetzt wird?

$$I = \frac{U}{R} = \frac{24 \text{ V}}{12 \Omega} = 2 \text{ A}$$



Schaltplan mit den offiziellen Symbolen für ein Amperemeter I und ein Voltmeter U

Statt des Begriffs „Intensität der Elektronenströmung“ verwendet man in der Physik den Begriff „Stromstärke“.

Vorsicht



- Der Begriff der „Stromstärke“ ist sehr missverständlich: damit ist nicht die Kraft oder Stärke des elektrischen Stroms gemeint. Stromstärke ist nur ein anderer Begriff für die „Intensität der Elektronenströmung“ in einem Leiter. Ganz genau gesagt: Die Stromstärke beschreibt, wie viel Ladung pro Zeiteinheit durch einen Leiter strömt.
- Du kannst den elektrischen Widerstandswert R immer über seine Definition $R = \frac{U}{I}$ berechnen. Die Stromstärke I darfst du aber nur bei Ohm'schen Widerständen aus der Spannung U und dem Widerstandswert R mit Hilfe der Gleichung $I = \frac{U}{R}$ berechnen (weil R sonst von I abhängig ist).

Übungsaufgaben

① Katrin möchte die Widerstandswerte von zwei unterschiedlichen Widerständen bestimmen. Dazu hat sie zunächst die Spannung (= elektrischer Druckunterschied) an den Widerständen und die Stromstärke (= Intensität der Elektronenströmung) gemessen. Berechne für beide Widerstände jeweils alle Widerstandswerte R .

Widerstand A

Spannung U	Stromstärke I	Widerstandswert R
4,0 V	2,0 A	
8,0 V	3,5 A	
12,0 V	4,5 A	
16,0 V	5,1 A	

Widerstand B

Spannung U	Stromstärke I	Widerstandswert R
4,0 V	1,0 A	
8,0 V	2,0 A	
12,0 V	3,0 A	
16,0 V	4,0 A	

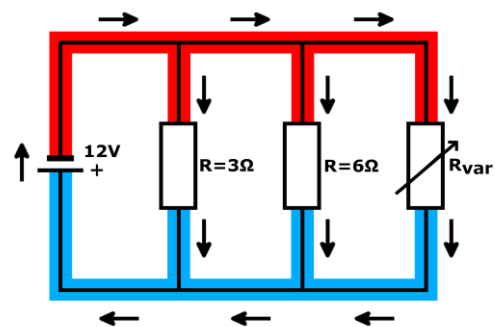
- Begründe, ob einer der beiden Widerstände ein Ohm'scher Widerstand ist. Beschreibe in deinen eigenen Worten den Unterschied zwischen einem Ohm'schen Widerstand und einem anderen Widerstand.
- Gib an, wie sich die Stromstärke durch einen Ohm'schen Widerstand verändert, wenn die anliegende Spannung verdoppelt wird.
- Gib an, wie sich die Stromstärke durch einen Widerstand, der kein Ohm'scher Widerstand ist, verändert, wenn die anliegende Spannung verdoppelt wird.
- Begründe mit Hilfe der Schwingungen von Atomrümpfen, warum der Widerstandswert R von „normalen“ Widerständen mit steigender Stromstärke zunimmt.

② Die Berechnung der Stromstärke (= Intensität der Elektronenströmung)

- An eine Batterie mit einer Spannung von $U = 9\text{ V}$ wird ein Ohm'scher Widerstand von $R = 3\ \Omega$ angeschlossen. Berechne die Stromstärke I durch diesen Widerstand.
- Begründe ohne zu rechnen an Hand der Gleichung $I = \frac{U}{R}$, ob die Stromstärke I ab- oder zunimmt, wenn die Spannung U an einem Ohm'schen Widerstand R vergrößert wird.
- Berechne, wie sich die Stromstärke I durch einen Ohm'schen Widerstand mit $R = 2\ \Omega$ verändert, wenn die anliegende Spannung U schrittweise auf folgende Werte erhöht wird: $U = 6\text{ V}$; $U = 8\text{ V}$; $U = 10\text{ V}$; $U = 12\text{ V}$.
Diskutiere, inwiefern sich die Ergebnisse deiner Berechnungen mit deinen Überlegungen von Aufgabenteil b) decken.
- Begründe ohne zu rechnen an Hand der Gleichung $I = \frac{U}{R}$, ob die Stromstärke I ab- oder zunimmt, wenn der Widerstand R bei konstanter Spannung U erhöht wird.
- Berechne die Stromstärke I , die bei einer konstanten Spannung von $U = 20\text{ V}$ durch die folgenden Ohm'schen Widerstände R fließt: $R = 2\ \Omega$; $R = 4\ \Omega$; $R = 5\ \Omega$; $R = 10\ \Omega$
Diskutiere, inwiefern sich die Ergebnisse deiner Berechnungen mit deinen Überlegungen von Aufgabenteil d) decken.
- Finde für einen Ohm'schen Widerstand drei mögliche Kombinationen von Spannung U und Widerstandswert R , so dass es zu einer Stromstärke von $I = 5\text{ A}$ kommt. Erkennst du einen Zusammenhang zwischen den drei Kombinationen? Erkläre den Zusammenhang mit Hilfe des Modells des elektrischen Drucks.

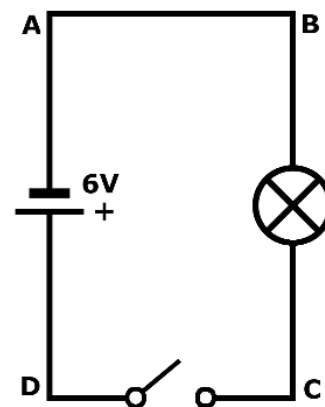
③ Betrachte die Parallelschaltung rechts. Sie enthält einen variablen Widerstand R_{var} .

- Zunächst ist R_{var} auf einen Widerstandswert von $12\ \Omega$ eingestellt. Berechne die Stromstärke an den verschiedenen Pfeilen.
- Erläutere ohne Rechnung, wie sich die Stromstärken an den Pfeilen verändern, wenn der variable Widerstand auf $R_{\text{var}} = 6\ \Omega$ halbiert wird.
- Jetzt wird R_{var} auf einen Widerstandswert von $6\ \Omega$ eingestellt. Berechne die Stromstärke an den verschiedenen Pfeilen.
- Gib die Stromstärken an den Pfeilen an, wenn R_{var} völlig vom Stromkreis getrennt wird.



④ Betrachte die Schaltung rechts.

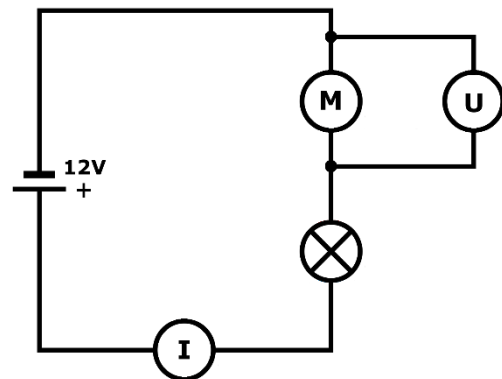
- Gib an, wie groß bei offenem Schalter die Spannung zwischen den folgenden Punkten ist:
 - A und B
 - B und C
 - C und D
 - D und A
- Gib die Spannung zwischen den oben genannten Punkten an, wenn der Schalter geschlossen ist.



10) Übungen zur Wiederholung und Vertiefung

① In der Schaltung rechts zeigt das Voltmeter eine Spannung von $U = 8\text{ V}$ und das Amperemeter eine Stromstärke von $I = 2\text{ A}$ an.

- a) Bestimme die Widerstandswerte R des Lämpchens und des Motors.
- b) Berechne den Gesamtwiderstand von Lämpchen und Motor.
- c) Leider leuchtet das Lämpchen nicht sehr hell. Was könntest du ändern, damit das Lämpchen heller leuchtet? Beschreibe drei Möglichkeiten.



② Eigene Stromkreise mit selbst festgelegten Spannungs- und Widerstandswerten:

- a) Zeichne einen eigenen Schaltplan mit einem einzigen Ohm'schen Widerstand. Berechne die Stromstärke durch den Widerstand.
- b) Zeichne einen eigenen Schaltplan einer Parallelschaltung mit Ohm'schen Widerständen. Berechne die Stromstärke durch die einzelnen Widerstände und die Batterie.
- c) Zeichne einen eigenen Schaltplan einer Reihenschaltung mit Ohm'schen Widerständen. Berechne die Stromstärke im Stromkreis mit Hilfe des Gesamtwiderstands.

③ Du weißt schon: Bei Reihenschaltungen kannst du den Ersatzwiderstand ganz leicht durch das Aufaddieren der einzelnen Widerstände berechnen (siehe Seite 30). Bei Parallelschaltungen geht das etwas anders:

Du weißt: Die gesamte Stromstärke I_{Ges} ergibt sich aus der Summe der einzelnen Ströme durch die parallelgeschalteten Widerstände:

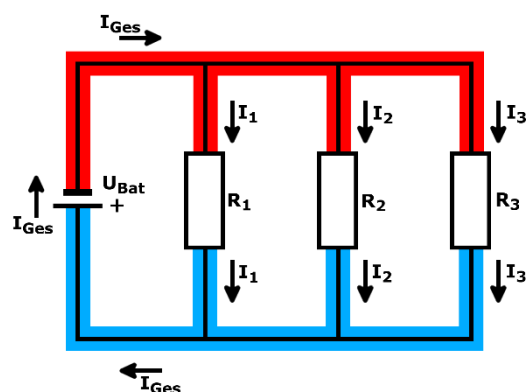
(A) $I_{Ges} =$

Die Stromstärke durch die einzelnen Widerstände lässt sich dabei wie folgt berechnen:

(B) $I_1 =$, $I_2 =$, $I_3 =$

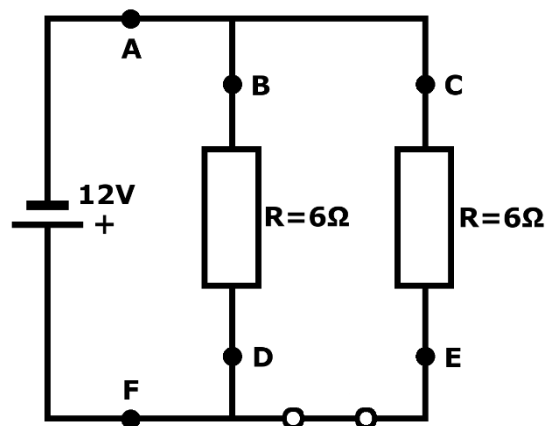
Die Stromstärke I_{Ges} durch den Ersatzwiderstand kannst du wie folgt berechnen:

(C) $I_{Ges} = \frac{U_{Bat}}{R_{Ersatz}}$



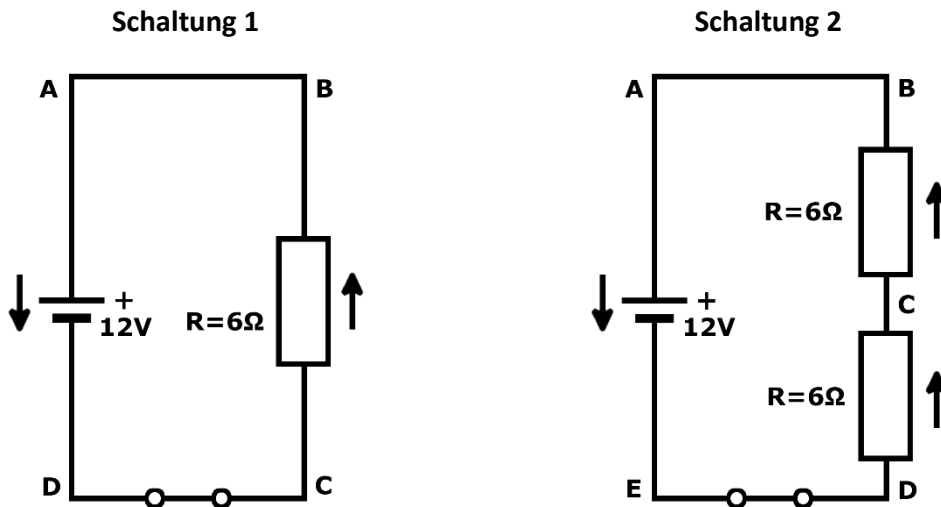
Leite die Formel zur Berechnung des Ersatzwiderstands her, indem du (B) und (C) in die Gleichung (A) einsetzt. Erkläre dein Vorgehen. Die Lösung findest du auf Seite 26.

④ Betrachte die folgende Parallelschaltung zweier gleicher Ohm'scher Widerstände.



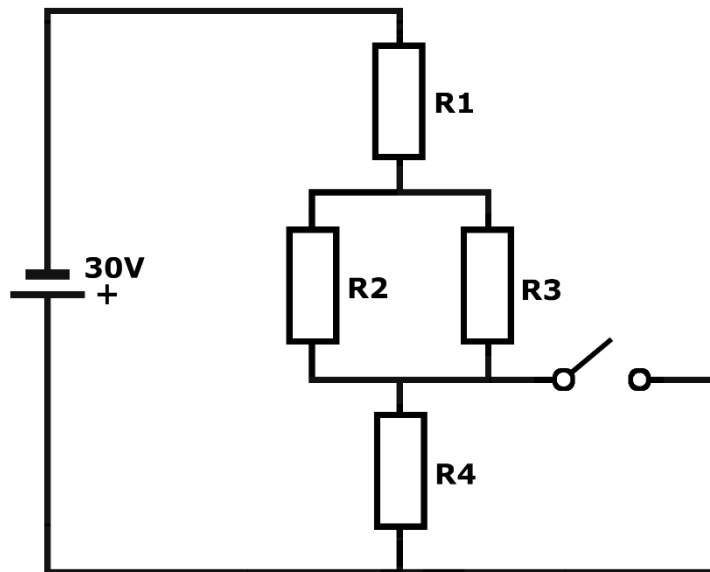
- a) Was kannst du über die Stromstärke bei den Punkten C und E aussagen?
1. Die Stromstärke ist bei C größer als bei E.
 2. Die Stromstärke ist bei E größer als bei C.
 3. Die Stromstärke ist bei C und E gleich groß.
- b) Was kannst du über die Stromstärke bei den Punkten A und B aussagen?
1. Die Stromstärke ist bei A größer als bei B.
 2. Die Stromstärke ist bei B größer als bei A.
 3. Die Stromstärke ist bei A und B gleich groß.
- c) Was kannst du über die Stromstärke bei den Punkten D und E aussagen?
1. Die Stromstärke ist bei D größer als bei E.
 2. Die Stromstärke ist bei E größer als bei D.
 3. Die Stromstärke ist bei D und E gleich groß.
- d) Was kannst du über die Stromstärke bei den Punkten E und F aussagen?
1. Die Stromstärke ist bei E doppelt so groß wie bei F.
 2. Die Stromstärke ist bei F doppelt so groß wie bei E.
 3. Die Stromstärke ist bei E und F gleich groß.
- e) Was kannst du über die Spannungen zwischen den folgenden Punkten sagen?
- A und B
 - B und C
 - C und E
 - A und F
- f) Bei den beiden Widerständen handelt es sich um Ohm'sche Widerstände.
1. Berechne die Stromstärke durch die Punkte D bzw. E.
 2. Berechne die Stromstärke durch die Punkte A bzw. F.
- g) Jetzt wird der Schalter in der oben dargestellten Schaltung geöffnet. Wie verändert das deine Antworten bei den Aufgabenteilen e) und f) ?
- h) Die beiden einzelnen Widerstände der Parallelschaltung sollen durch einen einzigen Ersatzwiderstand ersetzt werden. Berechne den Widerstandswert R des Ersatzwiderstands.

⑤ In Schaltung 1 befindet sich ein Ohm'scher Widerstand mit $R = 6\ \Omega$. Dann wird ein zweiter (gleicher) Widerstand hinzugefügt (Schaltung 2).



- Erkläre zunächst ohne zu rechnen, wie sich hierdurch die Stromstärke verändert. Argumentiere einmal mit Druckunterschieden und einmal mit dem Gesamtwiderstand.
- Berechne anschließend die Stromstärke I für beide Schaltungen und überprüfe, ob das Ergebnis zu deiner Antwort zur Aufgabe a) passt.
- Zeichne in die Schaltpläne ein, wo ein Amperemeter eingebaut werden müsste, um die Stromstärke tatsächlich zu messen.
- Gib die Spannung in Schaltung 1 zwischen den folgenden Punkten an:
 - A und B
 - B und C
 - C und D
 - D und A
- Gib die Spannung in Schaltung 2 zwischen den folgenden Punkten an:
 - A und B
 - B und C
 - C und D
 - D und E
 - B und D
- Nun wird der untere Schalter in beiden Schaltungen geöffnet. Was ändert sich hierdurch an deinen Antworten auf die Fragen d) und e) ?
- Zeichne in Schaltplan 1 ein, wo ein Voltmeter eingebaut werden müsste, um die elektrische Spannung zwischen den Punkten B und C sowie C und D tatsächlich zu messen.

© Betrachte die untenstehende Schaltung mit vier gleichen Ohm'schen Widerständen.



- Vergleiche die Stromstärke durch R1 und durch R4 (Schalter offen)?
- Vergleiche die Stromstärke durch R1 und durch R3 (Schalter offen)?
- Der Schalter wird geschlossen. Erläutere, wie sich dadurch die Stromstärke durch R4 ändert. Erläutere danach, wie sich die Stromstärke durch R1 ändert.
- Vergleiche die Stromstärke durch R1, R2 und R3, wenn der Schalter geschlossen ist.
- Was bedeutet das für die an R1, R2 und R3 anliegende Spannung? In welchem Verhältnis steht die Spannung an Widerstand R1 im Vergleich zur Spannung, die jeweils an R2 und R3 anliegt, wenn der Schalter geschlossen ist?
- Basierend auf diesen Überlegungen: Wie groß muss die Spannung an R1 sowie an R2 bzw. R3 sein, wenn der Schalter geschlossen ist?
- Jeder der vier verwendeten Ohm'schen Widerstände hat einen Widerstandswert von $R = 2 \Omega$. Wie groß ist dann die Stromstärke durch R1 sowie durch R2 und R3, wenn der Schalter geschlossen ist?
- Berechne den Ersatzwiderstand von R2 und R3.
- Berechne darauf aufbauend den Ersatzwiderstand der gesamten Schaltung, wenn der Schalter geschlossen ist.
- Bearbeite jetzt Aufgabenteile d) bis i) unter der Annahme, dass der Schalter offen ist.
- Erläutere, inwiefern die Stromstärke durch R3 größer oder kleiner wird, wenn bei offenem Schalter der Widerstand R2 gegen einen Ohm'schen Widerstand mit doppelt so großem Widerstandswert ersetzt wird.
- Berechne für diesen Fall die Stromstärke durch den Widerstand R4.

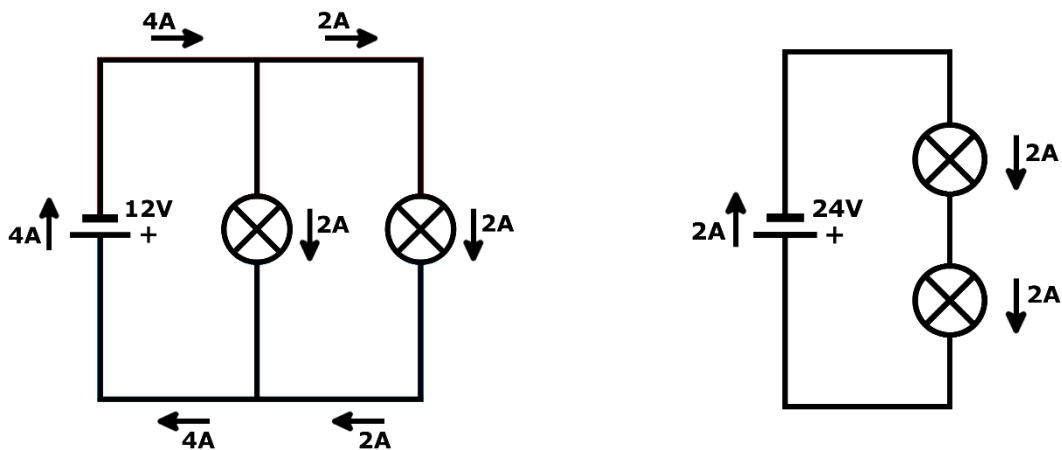
⑦ Stromkreise werden zur Übertragung von Energie genutzt. Du kannst berechnen, wie viel Energie jede Sekunde zu einem elektrischen Gerät übertragen wird. Dazu brauchst du die elektrische Spannung zwischen den Anschlüssen des Geräts sowie die Stromstärke durch das Gerät. Wenn du dann die Spannung U mit der Stromstärke I multiplizierst, so erhältst du die Energiemenge, die jede Sekunde zu dem elektrischen Gerät übertragen wird (z.B. von einem Windpark). Diese Größe nennt man elektrische Leistung P (= Power, engl. für Leistung). Sie wird in Watt (abgekürzt W) angegeben:

$$P = U \cdot I$$

- Handys werden oft bei einer Spannung von 5 V und einer Stromstärke von 2 A geladen. Berechne die elektrische Leistung.
- Neuere Ladestandards ermöglichen das Laden mit bis zu 3 A bei 12 V. Berechne die elektrische Leistung.
- In Zügen findet man neben Steckdosen oftmals den Aufkleber rechts. Begründe, ob ein Handy mit neuem Ladestandard dort aufgeladen werden darf.
- Begründe, ob man einen handelsüblichen Föhn an einer Zugsteckdose betreiben darf.



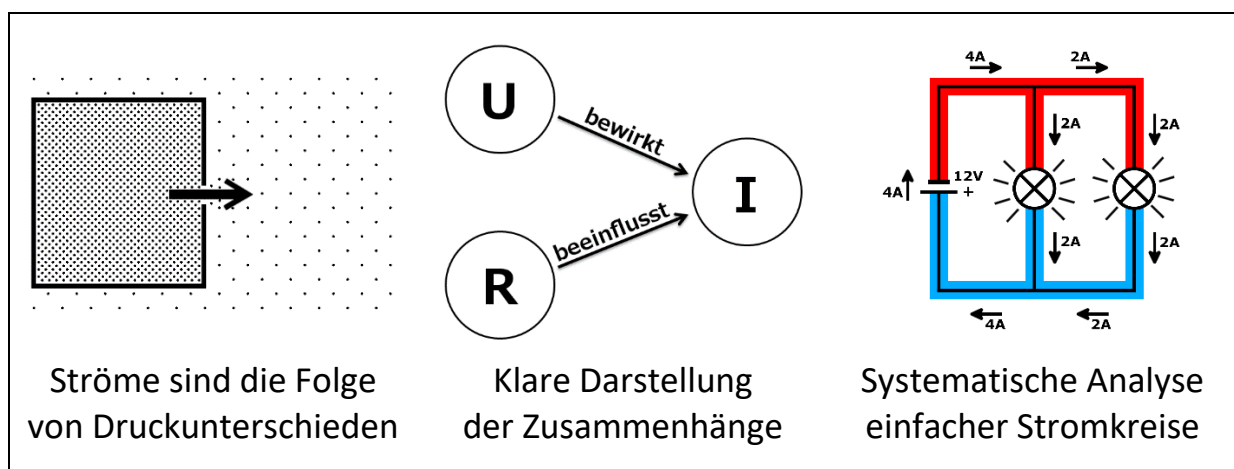
⑧ Betrachte die unten dargestellte Parallel- und Reihenschaltung von jeweils zwei gleichen Lämpchen, die hier alle gleich hell leuchten.



- Gib die Spannung an, die an jedem einzelnen Lämpchen der Parallelschaltung anliegt.
- Gib die Spannung an, die an jedem einzelnen Lämpchen der Reihenschaltung anliegt.
- Berechne und vergleiche die elektrische Leistung der Lämpchen.
- Erkläre, warum beide Batterien pro Sekunde die gleiche Energiemenge übertragen, d.h. die gleiche elektrische Leistung liefern.
- Begründe, warum bei der Reihenschaltung hierzu die doppelte Spannung notwendig ist.

Eine Einführung in die Elektrizitätslehre mit Potenzial

Die vorliegende Unterrichtskonzeption für die Sekundarstufe I wurde auf Basis aktueller physikdidaktischer und lerntheoretischer Erkenntnisse entwickelt. Das Ziel besteht darin, den Schülerinnen und Schülern ein qualitatives, konzeptionelles Verständnis der Grundgrößen Spannung, Stromstärke und Widerstand sowie ihrer wechselseitigen Beziehung in einfachen Stromkreisen zu vermitteln. Besonderer Wert wird dabei daraufgelegt, den Lernenden eine anschauliche Vorstellung der elektrischen Spannung und ihrer Bedeutung in Hinblick auf den elektrischen Strom zu ermöglichen. Hierzu wird das elektrische Potenzial mit dem Luftdruck bzw. dem sog. „elektrischen Druck“ in einem Leiter verglichen und die elektrische Spannung dementsprechend als „elektrischer Druckunterschied“ noch vor dem elektrischen Strom eingeführt. In Analogie zu Alltagsgegenständen wie z.B. Fahrradreifen oder Luftmatratzen wird dann argumentiert, dass der an einem Lämpchen anliegende „elektrische Druckunterschied“ genauso zu einer „Elektronenströmung“ führt wie Luftdruckunterschiede eine Luftströmung verursachen.



ISBN 978-3-00-061201-5



Entwickelt von Dr. Jan-Philipp Burde



veröffentlicht unter der Creative Commons Lizenz CC BY-NC-SA 3.0 DE