

Eine Einführung in die Elektrizitätslehre mit Potenzial & Kontexten



Eine Einführung in die Elektrizitätslehre mit Potenzial & Kontexten

Entwickelt und erstellt von

- Jun.-Prof. Dr. Jan-Philipp Burde
- StR'in Liza Dopatka
- Jun.-Prof.'in Dr. Verena Spatz
- Prof. Dr. Martin Hopf
- Prof. Dr. Thomas Wilhelm
- Dr. Thomas Schubatzky
- Prof.'in Dr. Claudia Haagen-Schützenhöfer
- Jun.-Prof.'in Dr. Lana Ivanjek
- Benedikt Gottschlich

Mehr Informationen und Begleitmaterial unter

www.einfache-elehre.de

ISBN

978-3-00-063423-9

Finanziell gefördert durch die



Deutsche Telekom **Stiftung**

VECTOR 
STIFTUNG

Inhaltsverzeichnis

1) Energieübertragung mithilfe von Stromkreisen.....	1
2) Luftströmungen infolge von Druckunterschieden	6
3) Der elektrische Druck	9
4) Der elektrische Druckunterschied.....	12
5) Der elektrische Stromkreis	17
6) Der elektrische Widerstand.....	24
7) Die Parallelschaltung	31
8) Die Reihenschaltung.....	41
9) Das ohmsche Gesetz	53
10) Übungen zur Wiederholung und Vertiefung.....	60

Zur Benutzung dieses Lehrwerks:

Dieses Buch vermittelt die Grundlagen der Elektrizitätslehre mithilfe von lebensweltlichen Kontexten, z.B. aus der Biologie und der Medizin. Dazu wird in jedem Kapitel eine Leitfrage aufgeworfen, entlang welcher die physikalischen Inhalte erarbeitet werden.

Hierzu werden hochkomplexe physikalische Zusammenhänge für den Elektrizitätslehreunterricht in der Sekundarstufe I stark elementarisiert. Dabei handelt es sich um bewusste didaktische Vereinfachungen, um das konzeptionelle Verständnis der grundlegenden physikalischen Zusammenhänge zu erleichtern.

Damit die physikalischen Zusammenhänge auch außerhalb der Kontextumgebung verstanden und angewendet werden können, sind die wichtigsten Definitionen und fachlichen Aussagen der jeweiligen Kapitel in blauen Kästen zusammengefasst.

1) Energieübertragung mithilfe von Stromkreisen

Du kennst bestimmt Autoscooter bzw. das Autodrom (siehe Foto). Dort fahren kleine Elektroautos über eine Stahlfläche.

Betrachte das Fahrgeschäft und beschreibe, was die Autoscooter unten und oben berühren.

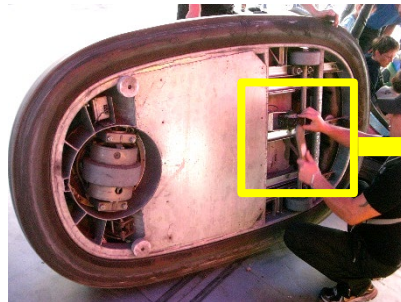


Stelle Vermutungen an, wofür die auf dem Bild sichtbaren Bauteile benutzt werden.

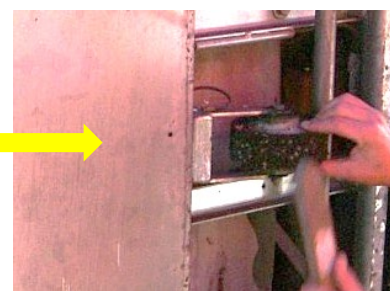
Kann die Fahrt losgehen, wird im Kassenhäuschen ein Schalter betätigt, um den Stromkreis zu schließen. Der Elektromotor des Autoscooters wird dann mit Energie versorgt. Hierfür sind das Netz unter dem Dach und die Stange am hinteren Teil des Autoscooters mit einem Schleifkontakt wichtig.



Netz & Schleifkontakt



Elektromotor

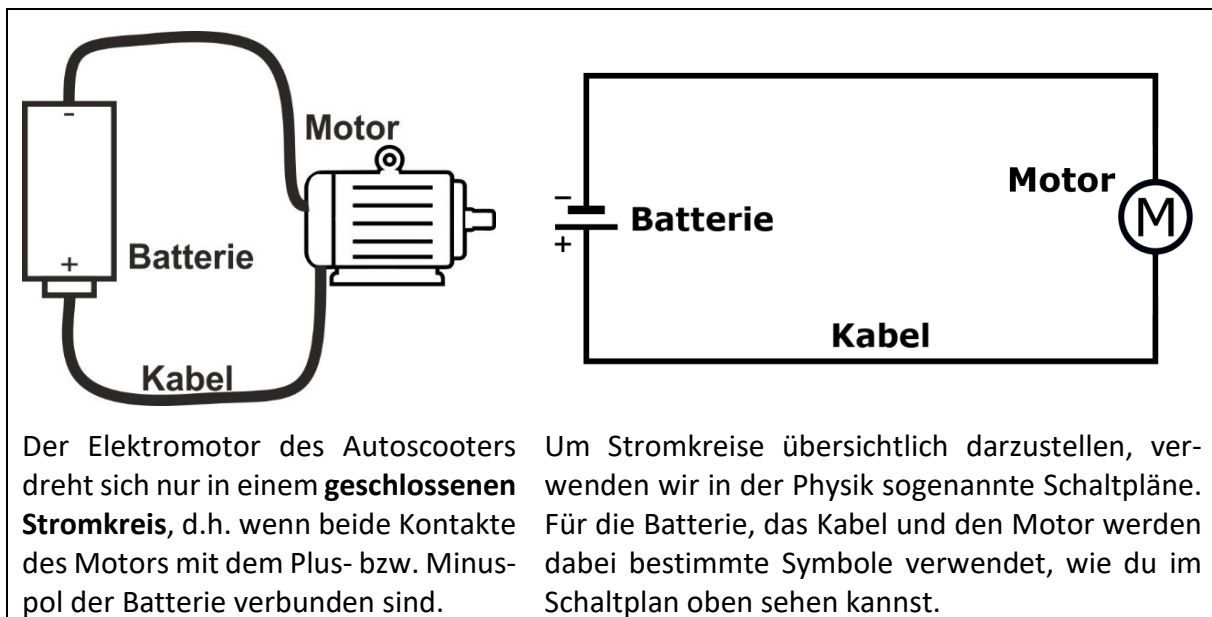


Stahlbürste

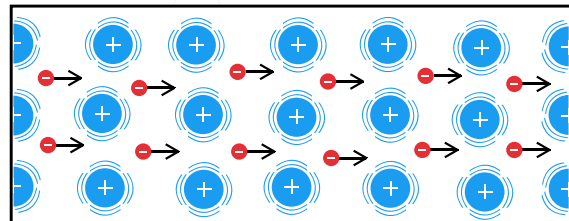
Wie findet die Energieübertragung auf die fahrenden Autoscooter statt?



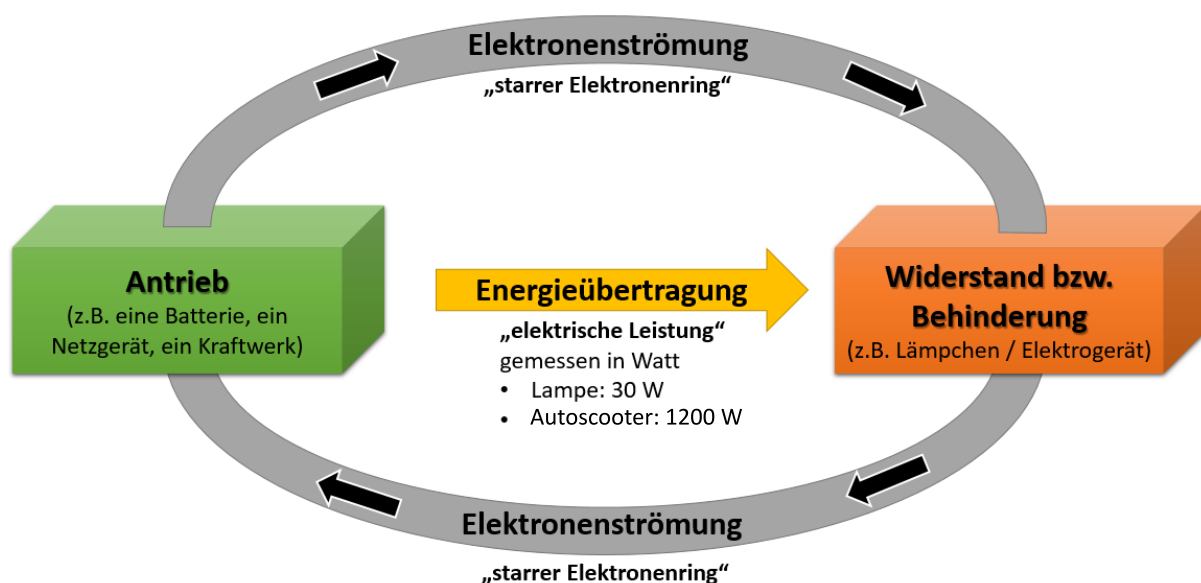
Im Folgenden wollen wir eine Modellvorstellung davon entwickeln, wie man sich die Vorgänge in solchen elektrischen Stromkreisen vorstellen kann.



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



Das Kupfer besteht zum einen aus ortsfesten (also fixierten) Atomrümpfen, die zwar um ihre Position schwingen, aber sich nicht fortbewegen können. Zum anderen gibt es freie Elektronen, die gemeinsam durch das Metall strömen können. In der Zeichnung sind die bewegten Elektronen rot und Atomrümpfe blau dargestellt. Diese Elektronen werden in Stromkreisen auch Leitungselektronen genannt und verteilen sich immer gleichmäßig im gesamten Stromkreis. Du kannst sie dir wie einen „starken Elektronenring“ vorstellen, ähnlich einem Hula-Hoop-Reifen oder einer Fahrradkette. Dieser „starre Elektronenring“ wird von der Batterie im Kreis bewegt.



Ein elektrisches Gerät wie ein Elektromotor oder eine Lampe stellt für die Elektronenströmung einen Widerstand, also ein Hemmnis bzw. eine Behinderung, dar. Stell dir z.B. eine Glühlampe 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.

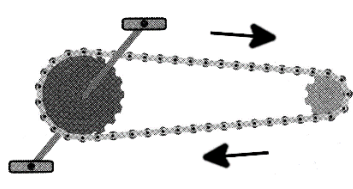
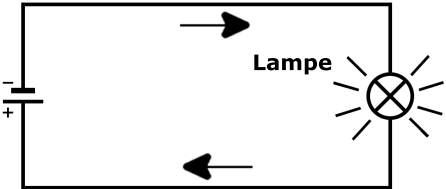
Wie findet die Energieübertragung auf die fahrenden Autoscooter statt?

Die Batterie kann mithilfe des „starren Elektronenrings“ im Kupfer Energie zum Elektromotor übertragen, um diesen anzutreiben. Dies ist vergleichbar mit einer Fahrradkette, welche die Energie von deinen Beinen an das Hinterrad überträgt. Die Elektronen fangen an, sich gemeinsam im Kreis zu bewegen, weil die Batterie am Minuspol den „starren Elektronenring“ anschiebt und am Pluspol an ihm zieht.



Mithilfe der Elektronen wird in einem Stromkreis also Energie von der Batterie (Antrieb) zum Elektromotor (Widerstand) übertragen. Dabei werden im Motor keine Elektronen verbraucht. Die Energie, die pro Sekunde von der Batterie zum Motor übertragen wird, wird **elektrische Leistung** genannt und in der Einheit **Watt (W)** gemessen.

Die Energieübertragung bei Stromkreisen unterscheidet sich somit fundamental von anderen Formen der Energieübertragung, z.B. von der mit Kohle, Öl, Gas oder Benzin: Diese Stoffe werden als Überträgermedien der Energie verbraucht, z.B. durch Verbrennung im Motor. Die im Kreis strömenden Elektronen werden hingegen nicht verbraucht. Sie sind eher mit den Gliedern einer Fahrradkette zu vergleichen.

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

Vorsicht



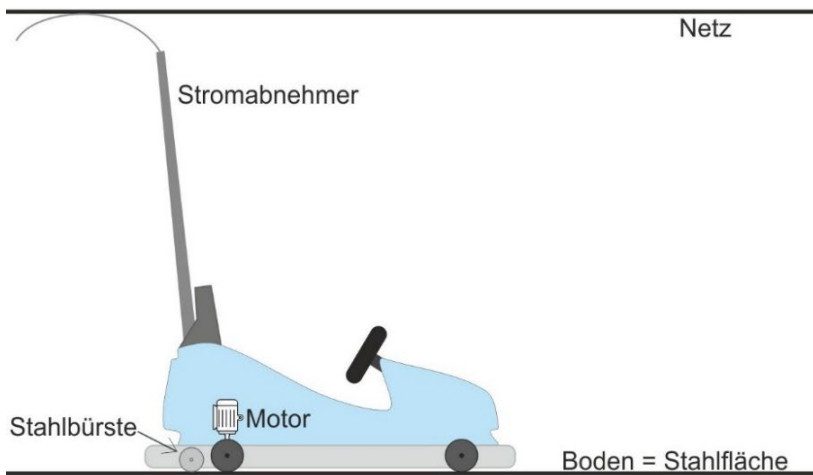
- Die Elektronen des „starren Elektronenrings“ befinden sich schon im Leiter, bevor die Batterie angeschlossen wird. Grund: Sie sind ein fester Bestandteil von Metallen (genauso wie eine Fahrradkette aus Kettengliedern besteht).
- Eine Batterie „speichert“ keine zusätzlichen Elektronen (wie z.B. Öl in einem Fass gelagert wird), sondern treibt nur den „starren 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 Einstiegsaufgaben

- a) Benenne, welche physikalische Voraussetzung eines Stromkreises gegeben sein muss, damit der Autoscooter fährt.
- b) Beschreibe deine Vermutung, wo sich der Stromkreis beim Fahrgeschäft befindet. Gehe dabei auf die Funktion der in der Skizze benannten Bauteile am Fahrgeschäft und den Autoscootern ein.

- c) Zum Stromkreis des Autoscooters gehören insgesamt sechs Bauteile. Notiere diese und ordne ihnen ihre Entsprechung im Stromkreis zu (Elektrischer Antrieb, Leitung, Elektrogerät).
- d) Zeichne in der Abbildung einen geschlossenen Stromkreis ein. Der elektrische Antrieb wurde vereinfacht als Batterie dargestellt.



② Welche elektrischen Geräte nutzt du im Haushalt, in deiner Freizeit oder im öffentlichen Raum? Beschreibe, wie dein Leben ohne Elektrizität aussehen würde.

③ Beschreibe die Aufgabe eines Kraftwerks oder einer Batterie in einem Stromkreis.

④ Zeichne einen Stromkreis, der aus einer Batterie und einem Lämpchen besteht. 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 eine Richtung. In einer Sekunde legen sie nur etwa 1 mm 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. Er argumentiert:

„Wenn ein Lämpchen an die Batterie angeschlossen wird, strömen die Elektronen vom Minuspol in den zuvor elektronenfreien Leiter in Richtung Lämpchen; im Lämpchen wird dann ein Teil der Elektronen verbraucht und die restlichen Elektronen strömen zurück zum Pluspol.“

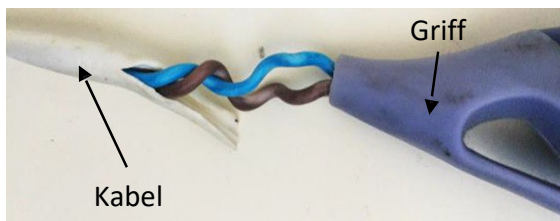
Erkläre, was an dieser weit verbreiteten Vorstellung alles falsch ist.

⑦ Finde heraus, welche Energieübertragung (d.h. welche elektrische Leistung) typische Elektrogeräte benötigen, wie 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? Ein Mensch schafft ca. 30 W.

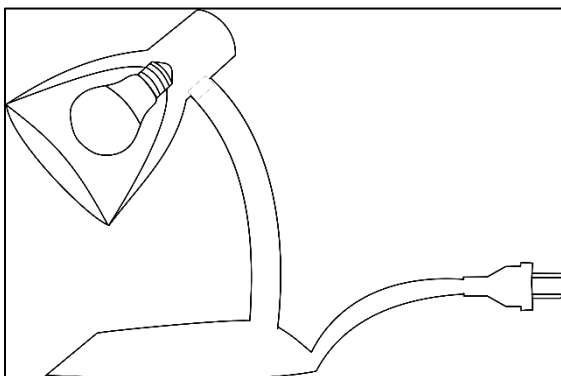
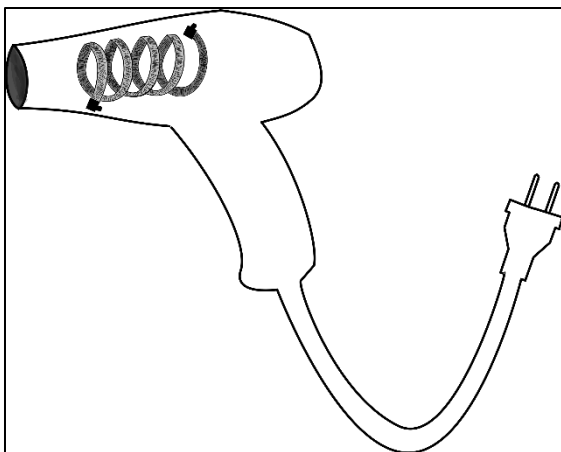
⑧ Im Alltag hört man oft Aussagen wie „Wir müssen Strom sparen“ oder „Klimaanlagen brauchen viel Strom“. Erläutere, warum mit dem alltäglichen „Strombegriff“ die Energie und nicht die „Elektronenströmung“ im Leiter gemeint ist.

⑨ Peter versteht nicht, warum im Physikunterricht behauptet wird, dass Elektrogeräte nur in einem Stromkreis funktionieren. Zu Hause steckt er doch nur ein einziges Kabel in die Steckdose, damit sein Föhn oder sein Handyladegerät funktionieren.

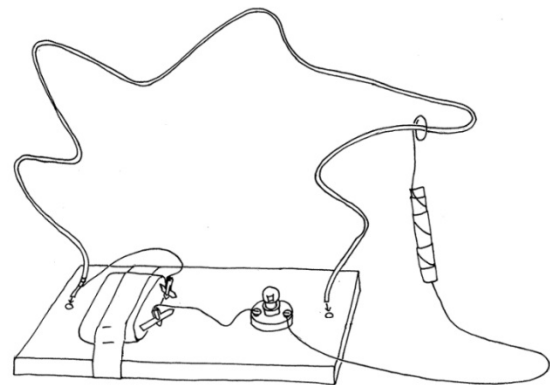
a) Erkläre Peter mithilfe des Bildes, was sein Denkfehler ist.



b) Zeichne in die drei folgenden Skizzen jeweils ein, wie der Stromkreis innerhalb der Geräte verläuft.



⑩ Miriam hat sich das Spiel „der heiße Draht“ selbst gebaut. Die Aufgabe bei dem Geschicklichkeitsspiel ist es, den Stab mit dem Draht so von links nach rechts zu bringen, dass der Ring den großen Draht nicht berührt. Das führt nämlich zum Aufleuchten des Lämpchens.



a) Skizziere den Stromkreis, wenn der Ring den Draht berührt.

b) Erkläre, warum die Glühlampe nur dann aufleuchtet, wenn der Ring den Draht berührt.

2) Luftströmungen infolge von Druckunterschieden

Unsere bisherige Modellvorstellung lässt eine Reihe von Fragen offen: Wie ist es eigentlich möglich, dass mehrere Autoscooter gleichzeitig fahren können? Warum fahren manche Autoscooter schneller und andere langsamer? Warum ist es nicht gefährlich, auf dem Stahlboden zu laufen? Um eine bessere Modellvorstellung zu entwickeln, müssen wir zunächst einmal verstehen, in welchen Situationen und warum es zu Luftströmungen kommt.

Wie lange strömt Luft aus einer aufgepumpten Luftmatratze, wenn man das Ventil öffnet?



Im Alltag hast du sicherlich schon einmal eine Luftmatratze oder einen Fahrradschlauch aufgepumpt. Durch das Pumpen sorgst du dafür, dass immer mehr Luftteilchen aus der Umgebungsluft in den Schlauch gepumpt werden. In dem aufgepumpten Fahrradschlauch befinden sich dann mehr Luftteilchen als normal. Man sagt, die Luft ist komprimiert.

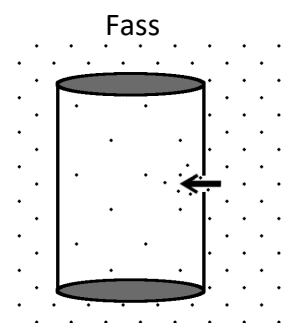
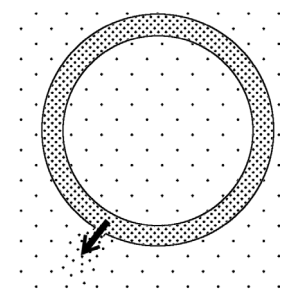
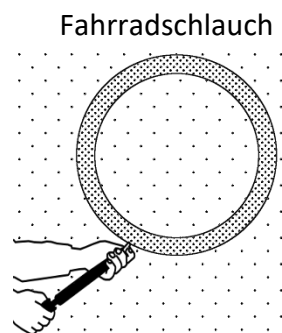
Abhängig davon, wie stark die Luft komprimiert wird, herrscht ein unterschiedlich hoher Luftdruck. Je stärker die Luft komprimiert wird, desto höher ist der Luftdruck, d.h. desto stärker drückt die Luft gegen die Wände des Fahrradschlauchs.

Weil im Fahrradschlauch ein höherer Luftdruck herrscht als in der Umgebungsluft, sagt man, im Schlauch 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 der Luftmatratze bzw. des Schlauchs öffnet, so kommt es zu einer Luftströmung: Die Luftteilchen strömen aus dem Bereich mit Überdruck (im Schlauch) in den Bereich mit Normaldruck (Umgebung).

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

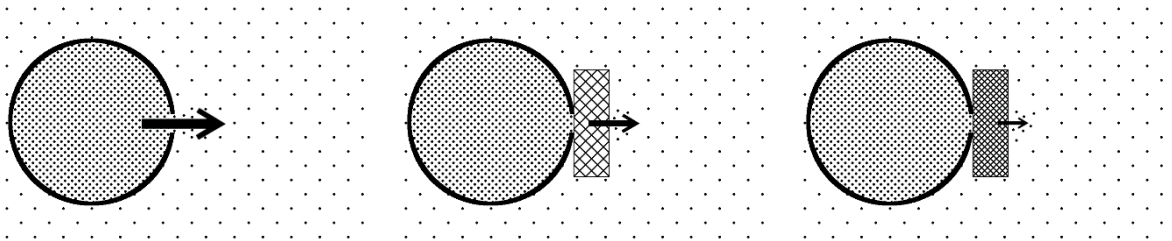
Wir können also festhalten: Komprimierte Luft steht unter Druck, drückt gegen die Wände und hat das Bestreben, sich auszudehnen. Druck ist ein Zustand des „Gepresstseins“. Je stärker die Luft zusammengepresst (= komprimiert) ist, desto höher ist der Luftdruck.



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.

Der (Stoff-)Widerstand

In einem Fußball herrscht ein hoher Luftdruck. Durch das geöffnete Ventil des Fußballs 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.

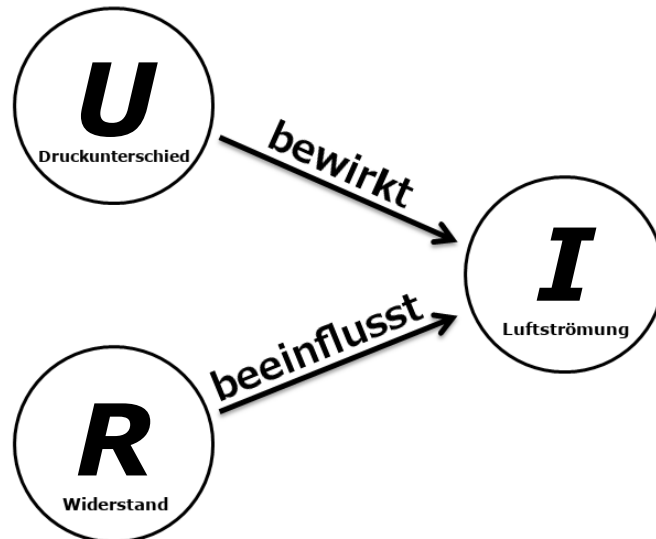


Die Öffnung des Fußballes ist frei, das heißt der Luftströmung ist kein Widerstand im Weg und sie wird somit durch nichts gehemmt bzw. behindert. Die Intensität der Luftströmung ist damit groß.

Wird ein Stoffkissen aus wenig dichtem Stoff vor die Öffnung des Fußballes 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 Fußballes 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

Wie lange strömt Luft aus einer aufgepumpten Luftmatratze, wenn man das Ventil öffnet?

Es strömt so lange Luft aus der aufgepumpten Luftmatratze, bis der Luftdruck innerhalb der Matratze sich dem Luftdruck außerhalb der Matratze angeglichen hat. Dann besteht kein Druckunterschied mehr, der eine weitere Luftströmung verursachen kann. Es ist also falsch zu sagen, dass Luft so lange aus der Matratze strömt, bis keine Luftteilchen mehr in der Matratze sind.



Vorsicht

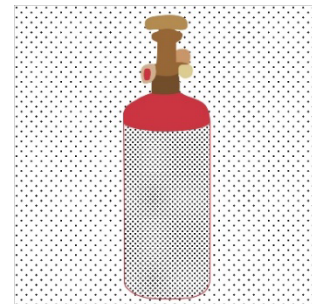
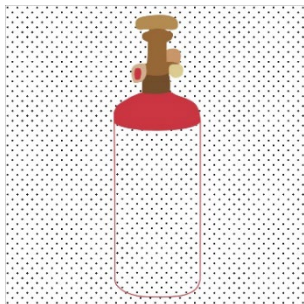


- Luft strömt nicht „einfach so“: Eine (Luft-)Strömung ist immer die Folge eines Druckunterschieds.
- Es ist ganz wichtig, zwischen Druck und Druck**unterschied** zu unterscheiden. Ist in einem Gefäß und der Umgebung z.B. ein gleich hoher Luftdruck, so würde keine Luft durch die Öffnung nach draußen 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 Mithilfe einer Pumpe kann Luft in eine Gasflasche hineingepumpt oder herausgepumpt werden. Betrachte die untenstehenden Gasflaschen.

- a) Färbe bei den drei Gasflaschen die Bereiche mit Überdruck rot, die Bereiche mit Unterdruck blau und die Bereiche mit Normaldruck gelb ein.



- b) Beschreibe in deinen eigenen Worten, was die Voraussetzung für eine Luftströmung in oder aus der Gasflasche beim Ventilöffnen ist und von welchen Faktoren es abhängt, ob die Luftströmung stark oder schwach ist.

② In einer ungeöffneten Cola-Dose herrscht im oberen Bereich der Dose ein Luft-Überdruck und in der Umgebung der Dose ein Normaldruck. Erkläre, was passiert, wenn die Dose geöffnet wird. Erläutere dann, bei welchem Druck in der Cola-Dose die Luftströmung aufhört.

③ In der Industrie werden Maschinen mithilfe von Druckluft angetrieben, wozu es lange Druckluft-Rohrleitungssysteme gibt. In den drei abgeschlossenen Rohren herrscht jeweils ein unterschiedlicher Luftdruck (siehe Darstellung rechts).

- a) Färbe in der Darstellung 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

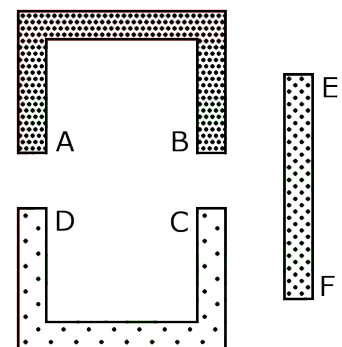
Punkt B und C

Punkt B und E

Punkt E und F

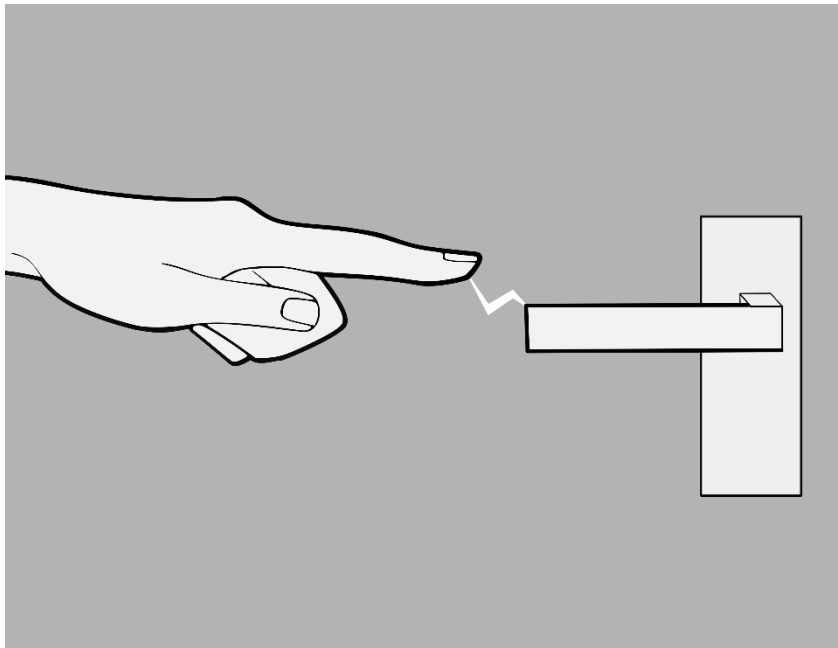
Punkt F und C

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



Die Türklinke

Du hast bestimmt schon einmal an der Türklinke „einen gewischt“ bekommen. Das kann passieren, wenn du Schuhe mit Plastiksohlen trägst und über Teppichboden gehst. Hast du schon einmal genau beobachtet, was da passiert?

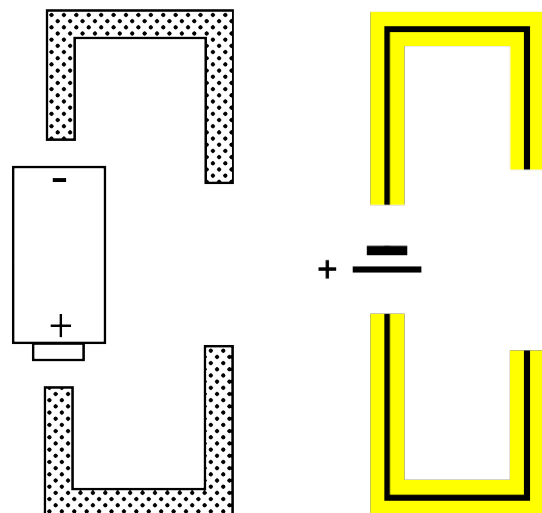
Wie kann man erklären, warum man an der Türklinke „einen gewischt“ bekommt?



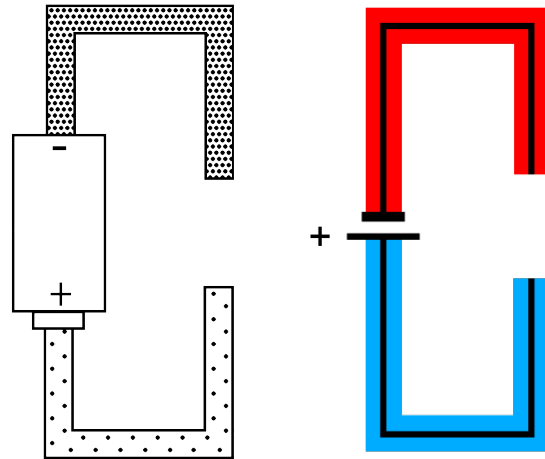
Dazu ist es hilfreich, zuerst zu verstehen, wie Batterien funktionieren:

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**. Im Leiterstück, das mit dem Pluspol verbunden ist, entsteht hingegen ein **elektrischer Unterdruck**.

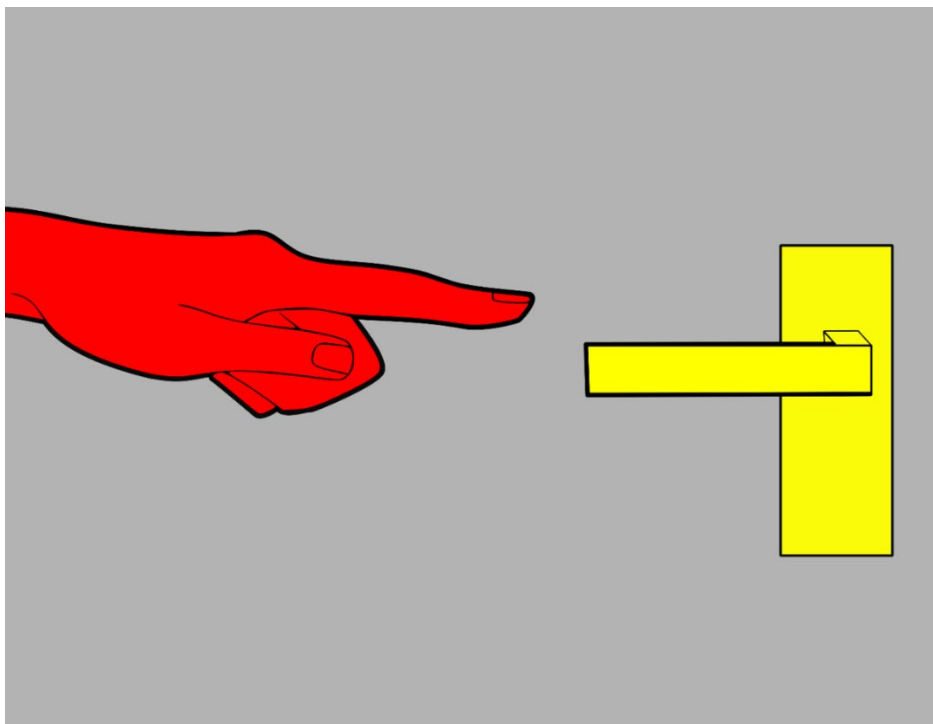


Eine Batterie sorgt für einen **konstanten** elektrischen **Über-** bzw. **Unterdruck** in den direkt mit ihren Polen verbundenen Leiterstücken. Wird ein Leiterstück an einen Batteriepol angeschlossen, so stellt sich der elektrische Druck im Leiterstück im Prinzip sofort ein.

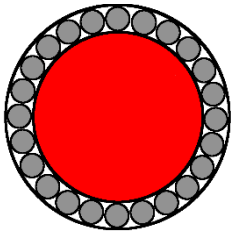
Damit kannst du jetzt verstehen, was bei der Türklinke passiert ist:

Wie kann man erklären, warum man an der Türklinke „einen gewischt“ bekommt?

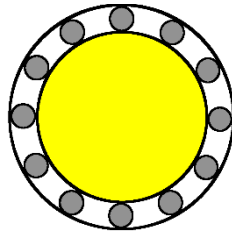
Durch das Reiben der Schuhsohle auf dem Teppich hat sich auf deinem Finger ein elektrischer Überdruck aufgebaut (rot). Auf der Türklinke herrscht elektrischer Normaldruck (gelb). Dieser elektrische Druckunterschied bewirkt einen kleinen Blitzschlag zwischen deinem Finger und der Türklinke. Dieser wiederum sorgt dafür, dass wir das Gefühl haben, „einen gewischt“ zu bekommen. Im Anschluss hat auch dein Finger wieder Normaldruck.



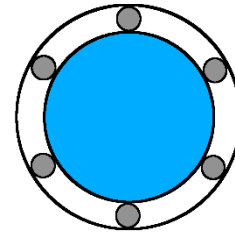
Information für Interessierte: Durch das Pumpen der Batterie ändert sich nicht die Anzahl der Elektronen im Inneren vom Leiter, sondern lediglich an dessen Oberfläche. Dies reicht aber aus, um den „elektrischen Druck“ (in der Physik „elektrisches Potenzial“ genannt) im Inneren zu verändern:



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).

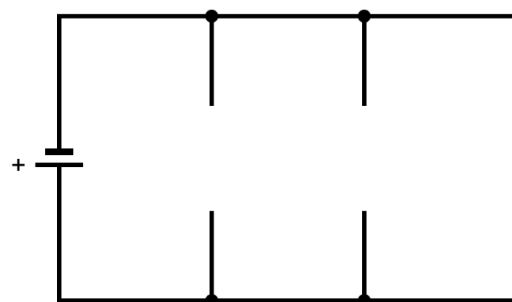
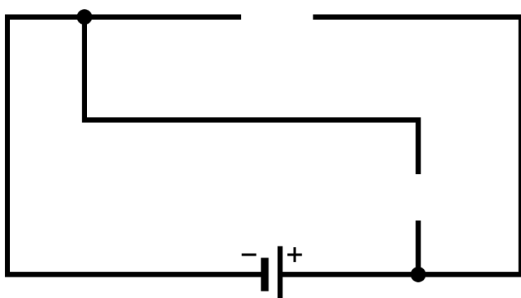
Vorsicht



- 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 Beschreibe mit eigenen Worten, wie es zum elektrischen Schlag an der Türklinke kommt.
- ② Ein Blitz in einem Gewitter funktioniert nach dem gleichen Prinzip. Formuliere Vermutungen, wo bei einem Gewitter elektrischer Überdruck und wo Normaldruck herrscht.
- ③ Stelle bei der Simulation „John Travoltage“ (du findest sie ganz einfach im Internet) zuerst einen kurzen Abstand zwischen Finger und Türklinke ein. Bestimme, wie oft du den Fuß über den Teppich reiben musst, damit John Travoltage „einen gewischt“ bekommt. Verändere den Abstand zwischen Hand und Türklinke, wiederhole die Messung und beschreibe deine Feststellungen.
- ④ Betrachte die unten dargestellten Schaltpläne und zeichne den elektrische Druck mithilfe der Farbdarstellung ein.



- ⑤ Beschreibe mit deinen eigenen Worten, was passiert, wenn man ein Leiterstück mit dem Plus- bzw. Minuspol einer Batterie verbindet. Wie lange dauert dieser Prozess?

4) Der elektrische Druckunterschied

Bestimmt hast du schon einmal von **Zitteraalen** gehört (siehe Bild).



Zitteraale leben in Südamerika und werden bis ca. 2,80 m lang. Sie haben elektrische Organe. So können sie mit Elektrizität Beute betäuben. Du kannst dir die elektrischen Organe am Zitteraal wie eine große Batterie vorstellen.

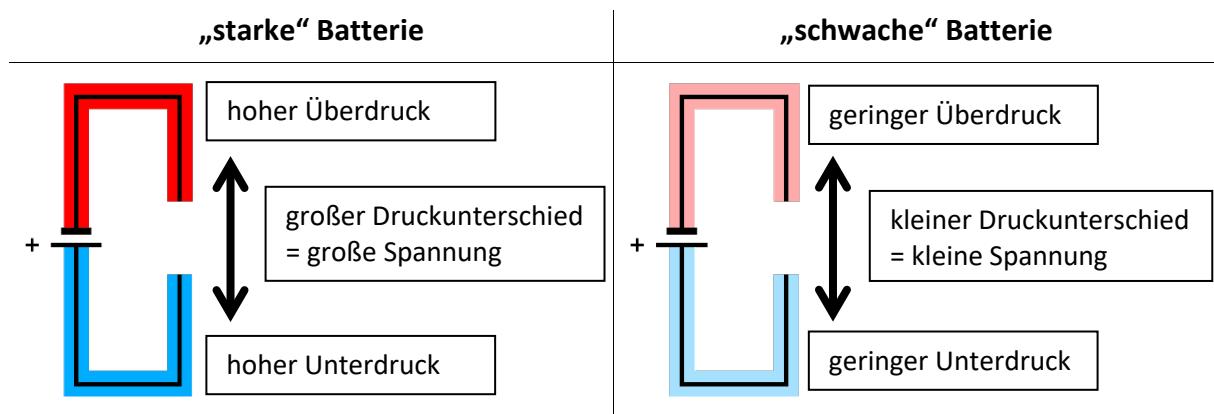
Ist der Zitteraal für den Menschen gefährlich?



Um das beurteilen zu können, müssen wir zunächst einmal klären, was man unter „elektrischer Spannung“ versteht.

Du weißt schon, dass eine Batterie für einen konstanten elektrischen Über- bzw. Unterdruck in den direkt mit ihren Polen verbundenen Leiterstücken sorgt. Der Fachbegriff für den so entstehenden elektrischen Druckunterschied lautet „**elektrische Spannung**“. Je stärker beispielsweise eine Batterie ist, desto größer ist der von ihr erzeugte elektrische Druckunterschied bzw. desto höher ist ihre „elektrische Spannung“.

Ähnlich einer Batterie erzeugt auch der Zitteraal mit seinen elektrischen Organen eine elektrische Spannung, d.h. einen elektrischen Druckunterschied. Allerdings schafft es der Zitteraal, eine deutlich höhere Spannung zu erzeugen als Batterien (siehe nächste Seite).



Die elektrische Spannung

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

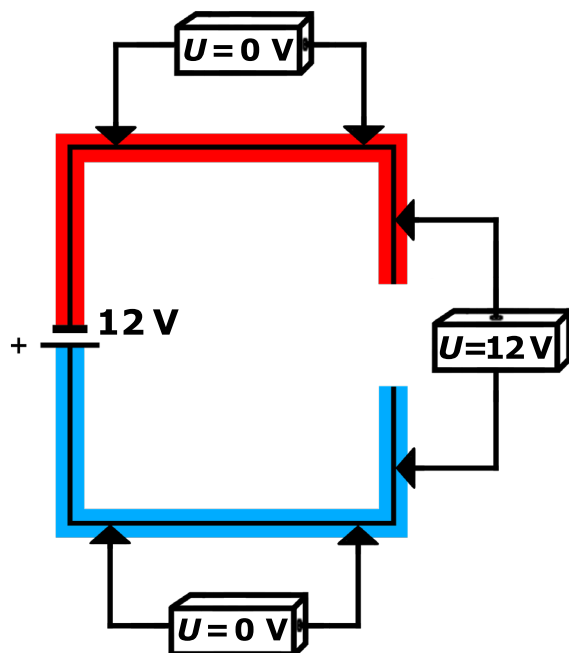
Formelzeichen U (wie **U**nterschied des elektrischen Drucks)

Einheit Volt, abgekürzt V

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

Batterie	Steckdose	Zitteraal
Druckunterschied zwischen den Polen der Batterie: $U = 1,5 \text{ V}$ Der elektrische Druck am Minuspol ist also um 1,5 V höher als am Pluspol.	Druckunterschied zwischen den beiden Löchern: $U = 230 \text{ V}$ Der elektrische Druck am einen Loch ist also um 230 V höher als am anderen Loch.	Druckunterschied zwischen Anfang und Ende des Aals: $U = 600 \text{ V}$ Der elektrische Druck am einen Ende ist um 600 V höher als am anderen Ende.

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



Die Spannung U , also der **U**nterschied des elektrischen Drucks zwischen zwei Punkten, wird mithilfe 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. Das 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!



Ist der Zitteraal also gefährlich für Menschen?

Ja! Mit einer Spannung von 600 V ist ein Zitteraal für Menschen **lebensgefährlich!**



Vorsicht



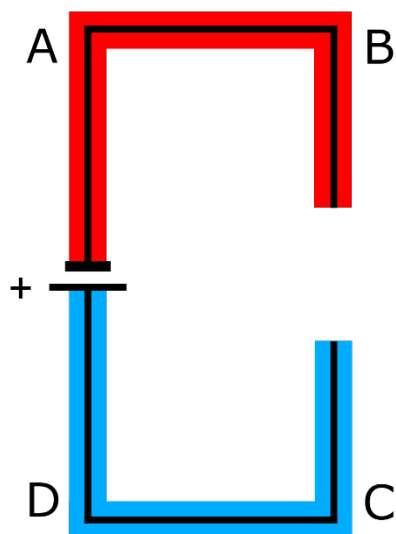
- Die Spannung (elektrischer Druckunterschied) ist eine Größe, die sich auf zwei Punkte bezieht („Spannung zwischen...“). An einem einzigen Punkt kann es deshalb keine Spannung geben.
- Zwischen zwei beliebigen Punkten des gleichen Leiterstücks existiert kein Druckunterschied, also keine Spannung. Der 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 Recherchiere: Welche anderen Tiere haben elektrische Organe? Finde auch heraus, wozu diese Tiere ihre elektrischen Organe verwenden.

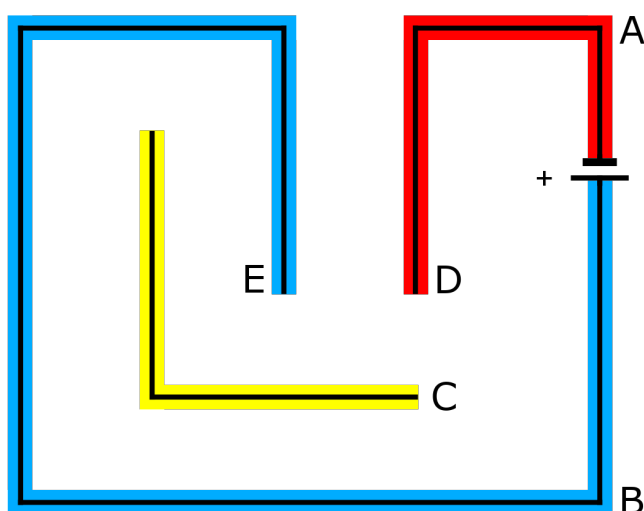
② In den beiden unteren Schaltplänen sind die elektrischen Drücke mithilfe der Farbdarstellung bereits eingezeichnet.

- 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...

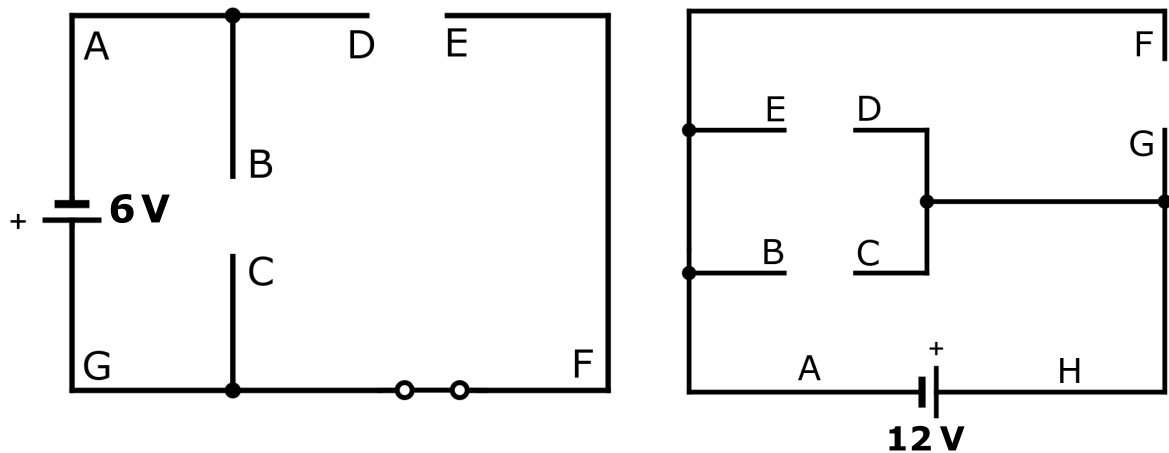
- A und B
- B und C
- C und D
- D und A



Druckunterschied zwischen Punkt...

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

③ Betrachte die beiden unten dargestellten Schaltpläne und zeichne den elektrischen Druck mithilfe der Farbdarstellung ein. Beachte, dass einmal eine schwache Batterie (links mit 6 V) und einmal eine starke Batterie (rechts mit 12 V) verwendet wird.



④ 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

⑤ Im Schaltplan oben links (6-V-Batterie) soll die elektrische Spannung zwischen den Punkten D und E, den Punkten B und C sowie den Punkten F und G gemessen werden. Zeichne im Schaltplan ein, wie ein Voltmeter hierzu jeweils angeschlossen werden muss.

⑥ Bestimme mit einem Voltmeter die Spannung einer Taschenlampenbatterie, einer Knopfzelle und eines Handyakkus. Zeichne ein Schaltbild, das zeigt, wie du vorgegangen bist.

5) Der elektrische Stromkreis

Zahl der Woche vom 22. November 2019

60 % aller schweren Nebelunfälle ereignen sich in den Monaten Oktober bis Dezember

WIESBADEN - Schwere Verkehrsunfälle, bei denen Nebel die Ursache war, passierten am häufigsten in den Monaten Oktober bis Dezember. In den Jahren 2014 bis 2018 registrierte die Polizei insgesamt 2598 Nebelunfälle. Bei diesen Unfällen verunglückten 2780 Personen, darunter 81 tödlich.

Herausgeber: © Statistisches Bundesamt (Destatis), 2019

Autobeleuchtung bei Nebel

Um Unfälle durch zu starken Nebel zu verhindern, besitzen Autos am Heck zusätzlich zum normalen Rücklicht eine weitere Lampe: die **Nebelschlussleuchte**. Diese leuchtet im Vergleich zum normalen Rücklicht bis zu 20-mal stärker (siehe Bild rechts)! Dadurch sind Autos bei Nebel besser von hinten sichtbar.

Allerdings sind sowohl das normale Rücklicht als auch die Nebelschlussleuchte an die gleiche Autobatterie angeschlossen. Daher stellt sich die Frage:



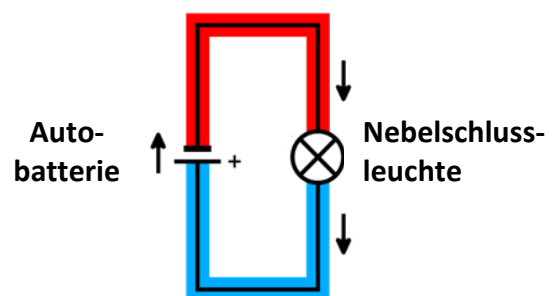
Warum leuchtet die Nebelschlussleuchte heller als ein normales Rücklicht?



Elektronenströmung im Stromkreis des Autos

Der Stromkreis eines Autos mit Autobatterie und Nebelschlussleuchte sieht vereinfacht wie in der Schaltskizze rechts aus.

Die Autobatterie erzeugt wie jede Batterie eine elektrische Spannung. Wie du der Schaltskizze rechts entnehmen kannst, liegt somit an der Nebelschlussleuchte ein elektrischer Druckunterschied an.



So wie ein Luftdruckunterschied die Ursache für eine Luftströmung ist, führt der elektrische Druckunterschied an der Nebelschlussleuchte des Autos zu einer **Elektronenströmung** im Stromkreis. Dabei strömen die **Elektronen** immer vom **Überdruck** zum **Unterdruck**.

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

Bedenke unbedingt, dass eine Batterie einen bestimmten elektrischen Druckunterschied verursacht und nicht eine bestimmte Elektronenströmung.

Für die Elektronenströmung gilt außerdem: So wie ein Stück Stoff ein Widerstand für eine Luftströmung ist, ist die Lampe ein **Widerstand** für die Elektronenströmung. Das liegt daran, dass sich die Elektronen durch den engen Glühdraht „quetschen“ müssen. Die Elektronen werden dabei aber nicht verbraucht, sondern nur abgebremst!

Die Helligkeit der Nebelschlussleuchte

Nehmen wir an, dass im Auto zwei Stromkreise existieren: ein Stromkreis für die Nebelschlussleuchte und ein anderer Stromkreis für das normale Rücklicht. Die Nebelschlussleuchte leuchtet heller als das Rücklicht, deswegen muss die **Intensität der Elektronenströmung** durch die Nebelschlussleuchte größer sein als durch das Rücklicht.

Eine größere Intensität der Elektronenströmung bedeutet, dass mehr Elektronen pro Sekunde durch den Leiterquerschnitt strömen. Dies führt zu einer größeren Lichtwirkung der Nebelschlussleuchte.

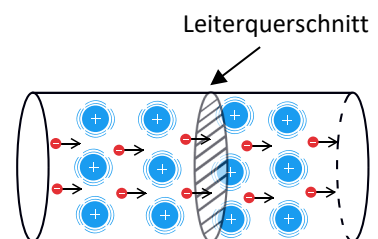
Die Intensität der Elektronenströmung

... 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 $I = 2 \text{ A}$.



Intensität der Elektronenströmung: Einfluss des Widerstands R



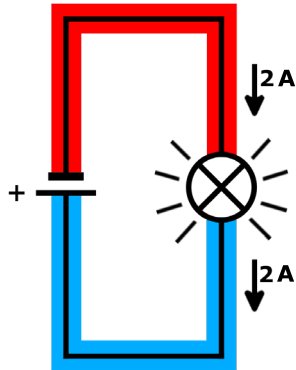
Warum leuchtet die Nebelschlussleuchte heller als ein normales Rücklicht?

Der elektrische Druckunterschied (= Spannung) wird in beiden Stromkreisen durch dieselbe Autobatterie verursacht. Trotzdem ist die Intensität der Elektronenströmung im Stromkreis der Nebelschlussleuchte größer. Das liegt daran, dass der **Widerstand** der Nebelschlussleuchte geringer ist als der Widerstand des Rücklichts (siehe Abbildung auf der nächsten Seite). Dies führt zu einer größeren Elektronenströmung.

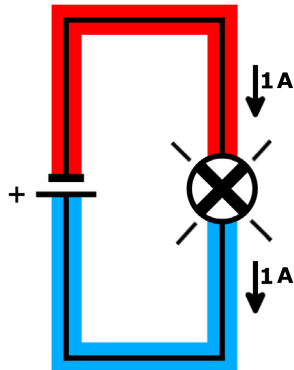


Der Widerstand eines Elektrogeräts beeinflusst die Intensität der Elektronenströmung

Lampe mit
kleinem Widerstand
z.B. Nebelschlussleuchte



Lampe mit
großem Widerstand
z.B. Rücklicht



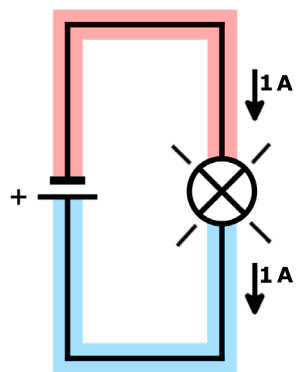
Merke:

Je **größer** der Widerstand der Lampe ist, desto **kleiner** ist die Intensität der Elektronenströmung durch die Lampe (bei gleichem elektrischen Druckunterschied).

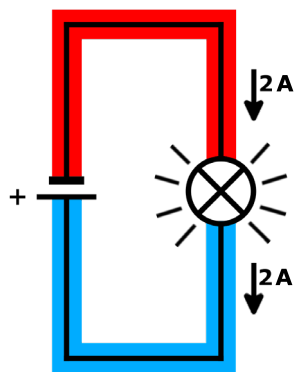
Intensität der Elektronenströmung: Einfluss des Druckunterschieds U

Die Helligkeit der Nebelschlussleuchte hängt allerdings nicht nur vom Widerstand R ab, sondern auch vom elektrischen Druckunterschied U , der an der Lampe anliegt. Mit einer stärkeren Autobatterie, die einen größeren elektrischen Druckunterschied erzeugt, würde also auch das Rücklicht heller leuchten.

kleiner elektrischer
Druckunterschied
*verursacht durch schwache
Autobatterie*



großer elektrischer
Druckunterschied
*verursacht durch starke
Autobatterie*

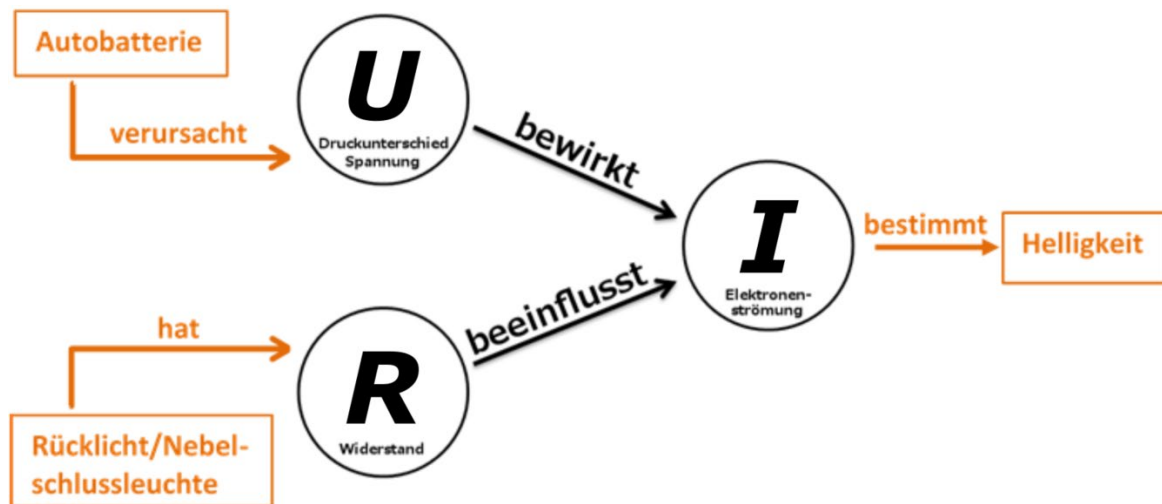


Merke:

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

Die Abbildung auf der nächsten Seite stellt zusammenfassend den Einfluss des elektrischen Druckunterschieds (= Spannung) und des Widerstands auf die Intensität der Elektronenströmung dar.

Der Wirkungszusammenhang zwischen Spannung, Widerstand und Elektronenströmung

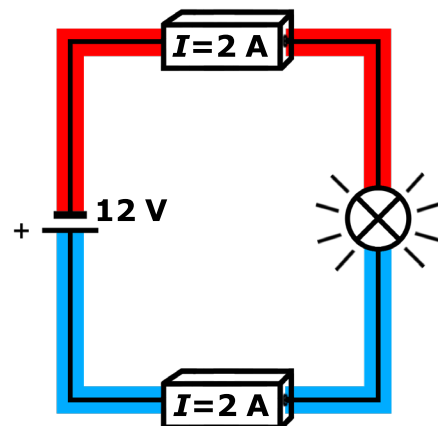


U = Unterschied des elektrischen Drucks R = Resistance I = Intensität der Elektronenströmung

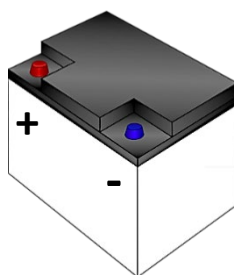
Wie kann die Intensität der Elektronenströmung gemessen werden?

Oftmals müssen Mechatroniker beim TÜV eines Autos die Intensität der Elektronenströmung bei Stromkreisen im Auto überprüfen. Dazu wird die Intensität der Elektronenströmung in einem Stromkreis mithilfe eines Amperemeters gemessen. Hierzu muss das Amperemeter 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.

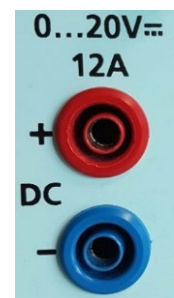


Warum ist die Farbkodierung des elektrischen Drucks bei realen Spannungsquellen oftmals umgekehrt?



Autobatterie

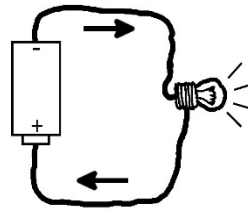
Bei Autobatterien, aber auch bei Netzgeräten und anderen Spannungsquellen, wird der Pluspol oft rot und der Minuspol blau eingefärbt. Das liegt daran, dass man früher dachte, dass „positiv geladene Teilchen“ vom Plus- zum Minuspol strömen würden. Dementsprechend ging man von einem „elektrischen Überdruck“ 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.



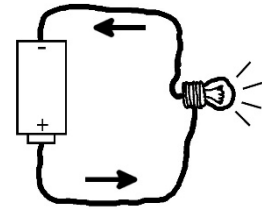
Netzgerät

Aus demselben historischen Grund wird auch die Stromrichtung in der Regel vom Plus- zum Minuspol definiert. Man nimmt dabei an, dass „positiv geladene Teilchen“ vom Plus- zum Minuspol strömen. Unterschieden werden deshalb:

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



physikalische
Stromrichtung
(Elektronenbewegung)



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.
- In der Lampe werden keine Elektronen verbraucht oder bleiben dort hängen. Deshalb ist die Intensität der Elektronenströmung vor und nach der Lampe 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 strömen Elektronen, nicht der „Druck“.

Übungsaufgaben

① Betrachte folgende Aussage:

Zwei baugleiche Lampen leuchten. Die heller leuchtende Lampe zeigt eine stärkere Lichtwirkung; es fließen daher mehr Elektronen pro Sekunde durch diese Lampe. Die Intensität der Elektronenströmung ist größer.

Orientiere dich bei den folgenden Aufgabenteilen an der Formulierung dieser Aussage.

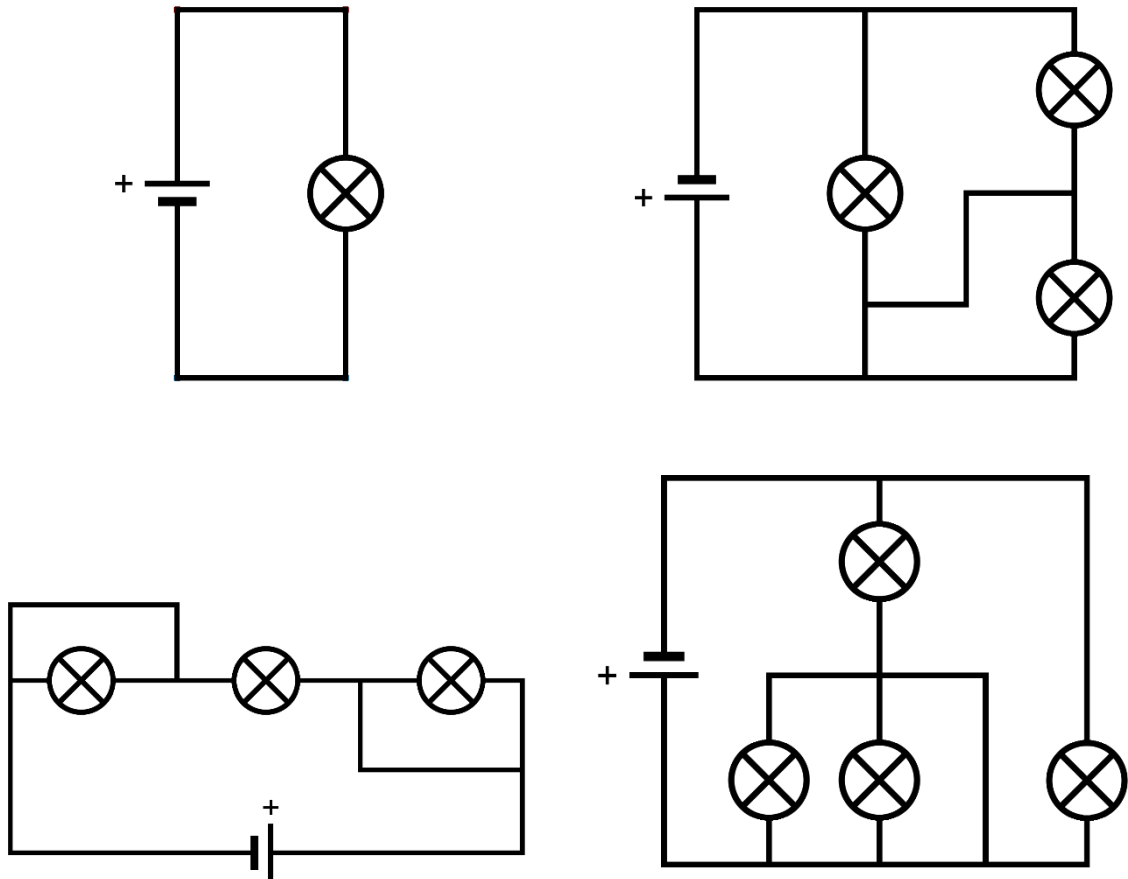
- Formuliere eine Aussage über die Intensität der Elektronenströmung bei einem Heizkissen, das eine höhere Temperatur erreicht als ein anderes baugleiches Heizkissen.
- Formuliere eine Aussage über die Intensität der Elektronenströmung bei einem Elektromagneten, der mehr Elektroschrott heben kann als ein anderer baugleicher Elektromagnet.

② Die Intensität der Elektronenströmung ist besser unter dem Begriff „Stromstärke“ bekannt.

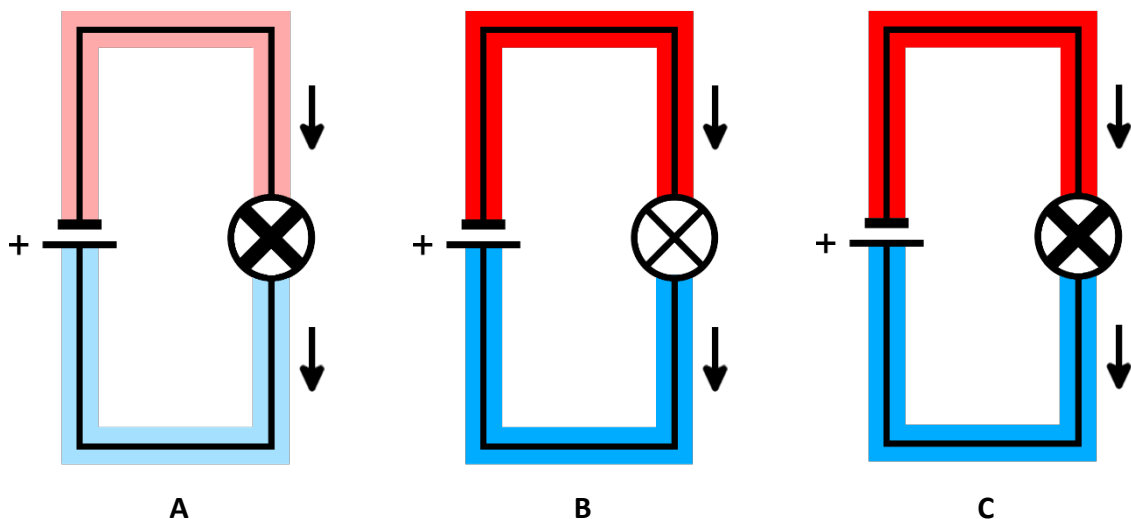
- Diskutiere, warum der Begriff „Stromstärke“ missverständlich ist. Überlege hierzu, inwiefern „Stärke“ falsche Vorstellungen zur Intensität der Elektronenströmung nahelegen kann.
- Ordne die folgenden Elektrogeräte nach der Stromstärke (= Intensität der Elektronenströmung), die nötig ist, damit sie optimal funktionieren. Recherchiere die hierzu nötigen Angaben. Beginne mit dem Gerät, das die größte Stromstärke benötigt.

Föhn – batteriebetriebenes Radio – elektrische Armbanduhr – Straßenbahn – LED

③ Betrachte die unten dargestellten Schaltpläne und zeichne die elektrischen Drücke ein. Überlege dir dann, welche Lämpchen infolge 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!)



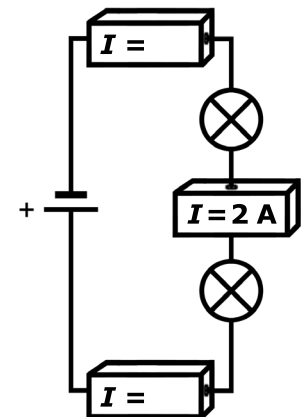
④ Ordne die untenstehenden Stromkreise A, B und C nach der Größe der Intensität der Elektronenströmung. Beachte hierbei, dass die Lampen unterschiedlich große Widerstände darstellen. Begründe deine Reihenfolge.



⑤ 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. Erläutere Lisas Denkfehler!

⑥ Im Stromkreis rechts sind drei Amperemeter eingebaut, um die Intensität der Elektronenströmung an der jeweiligen Stelle zu messen.

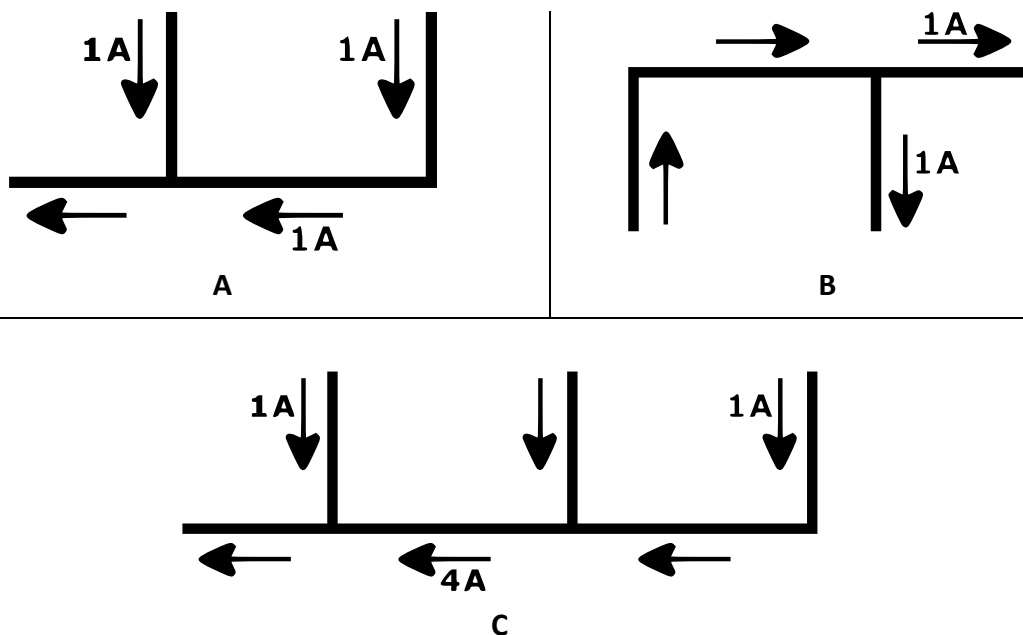
- Welche Intensität der Elektronenströmung I zeigen das obere und untere Amperemeter an?
- Zeichne einmal die technische und einmal die physikalische Stromrichtung ein.
- Begründe, warum es für die Lämpchen keinen Unterschied macht, von welcher Stromrichtung man ausgeht.



⑦ 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 mithilfe der Farbdarstellung.
- Zeichne ein, wie mithilfe eines Voltmeters die elektrische Spannung am Lämpchen gemessen werden kann.
- Zeichne ein, wie mithilfe 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.

⑧ 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.



6) Der elektrische Widerstand

Wie können ohne aufwendige Ausgrabungen Objekte unter der Erde gefunden und erkannt werden?



Frankfurt a.M. (Deutschland) – Das Museum für Naturkunde freut sich über den spektakulären Fund versteinerter Dinosaurierknochen, welcher einem Team von Forschenden am vergangenen Mittwoch gelang. Die leitende Archäologin, Frau Dr. Martina Karlsbach, sprach mit unserem Reporter vom Tageblatt über die Suche nach solchen verborgenen Schätzen in der Erde.



Tageblatt: Frau Dr. Karlsbach, herzlichen Glückwunsch zur Entdeckung der versteinerten Dinosaurierknochen!

Karlsbach: Ja, vielen Dank. Ich freue mich wirklich sehr und bin stolz auf die Leistung meines ganzen Teams.

Tageblatt: Woher wissen Sie als Archäologin eigentlich, wo sich Dinosaurierknochen im Boden befinden können? Wahlloses Graben ist wohl keine gute Lösung, oder?

Karlsbach: Nein, ganz sicher nicht. Die Landschaft oder die Knochen selbst könnten dabei zerstört werden. Aber zum Glück haben wir Methoden, mit denen wir erfolgversprechende Stellen aufspüren können, die Geoelektrik beispielsweise.

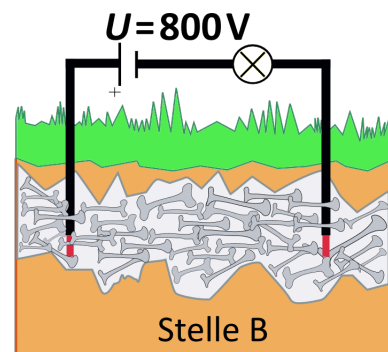
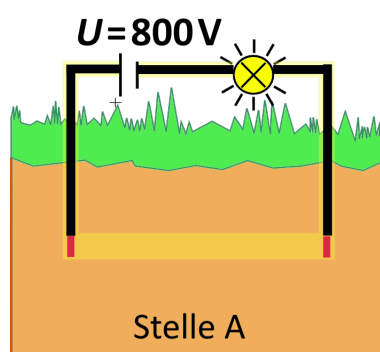
Tageblatt: Das klingt interessant! Können Sie diese Methode etwas genauer erläutern?

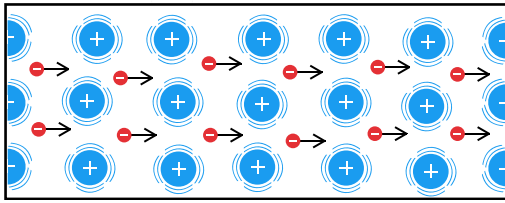
Karlsbach: Sehr gerne. In der Geoelektrik erforscht man Erdböden durch Messung elektrischer Größen. Dazu stecken wir zwei Metallstäbe, sogenannte Elektroden, in die Erde. An diesen Elektroden erzeugen wir mit unserem Generator eine Spannung (= Druckunterschied) von bis zu 800 Volt. Dadurch entsteht in der Erde eine Elektronenströmung. Diese Elektronenströmung ist anders, je nachdem ob Knochen im Erdreich vorhanden sind oder nicht. Die Elektronenströmung wird nämlich von Knochen und Erdreich unterschiedlich stark gebremst bzw. behindert.

Warum leiten manche Materialien den elektrischen Strom besser als andere?

Sind Knochen im Boden vorhanden (Stelle B), ist die Elektronenströmung anders, als wenn dort keine Knochen sind (Stelle A). Die Elektronenströmung wird nämlich von unterschiedlichen Materialien, zum Beispiel von Knochen und Erdreich, unterschiedlich stark gebremst bzw. behindert.

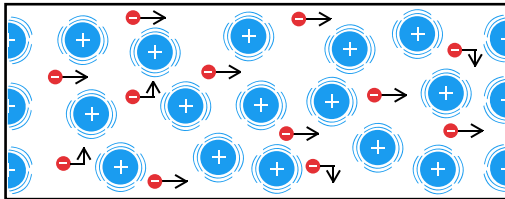
Je stärker die Elektronenströmung von einem Material gebremst bzw. behindert wird, desto größer ist der elektrische Widerstand des Materials. Man kann grob drei Kategorien unterscheiden (s. nächste Seite).





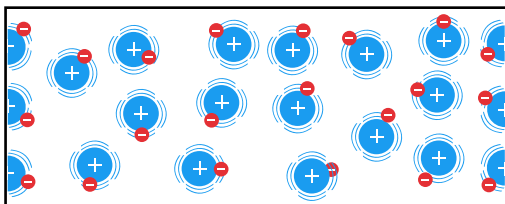
Sehr guter Leiter

Metalle wie Kupfer, Silber und Gold sind sehr gute 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 mittlerem Widerstand

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.



Nichtleiter („Isolatoren“)

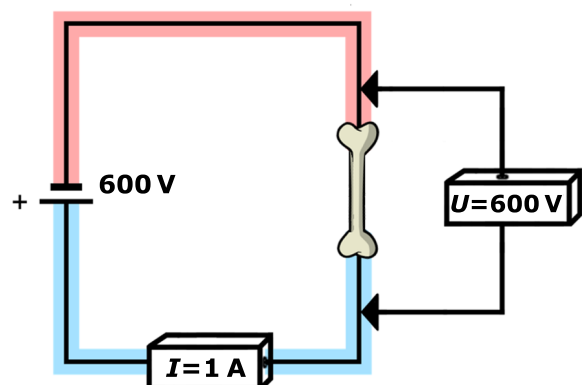
Bei Nichtleitern können sich die Elektronen nicht frei bewegen, sondern „kleben“ an den Atomrümpfen. Es kann daher zu keiner Elektronenströmung kommen. Der elektrische Widerstand ist somit extrem groß. Nichtleiter werden oft auch Isolatoren genannt. Typische Isolatoren sind z.B. Porzellan, Kunststoff, 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. einen Knochen) 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.

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 **Ampereometer** messen.



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

Definition des Widerstandswerts R

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

Beispielrechnung zur obigen Schaltung

$$R = \frac{U}{I} = \frac{600 \text{ V}}{1 \text{ A}} = 600 \Omega$$

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 Der Knochen hat einen Widerstand von $R = 600 \Omega$, d.h. man benötigt einen Druckunterschied von 600 V, damit es zu einer Elektronenströmung von 1 A durch den Knochen kommt.

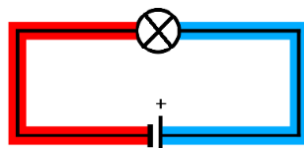
Wie können ohne aufwendige Ausgrabungen Objekte unter der Erde gefunden und erkannt werden?

Verschiedene Materialien besitzen unterschiedliche Widerstandswerte. Den Widerstandswert R kann man bestimmen, indem man den anliegenden Druckunterschied U durch die Stromstärke I teilt. So lassen sich mithilfe der Geoelektrik Hinweise darüber finden, welches Objekt unter der Erde liegt.

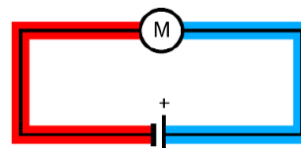


Weitere Bauteile mit elektrischem Widerstand

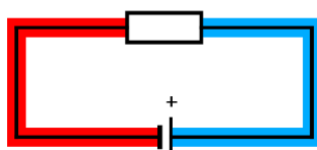
Wir wissen bereits, dass Knochen und Erdreich die Elektronenströmung unterschiedlich bremsen, also unterschiedliche Widerstände für die Elektronenströmung darstellen. Auch elektrische Geräte wie z.B. ein Lämpchen (Schaltung 1) oder ein Motor (Schaltung 2) stellen einen Widerstand für die Elektronenströmung 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 3). Bei manchen Widerständen kann zudem der Widerstandswert R verändert werden; sie stellen also einen veränderbaren bzw. variablen Widerstand dar (Schaltung 4).



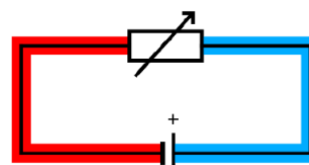
Schaltung 1



Schaltung 2

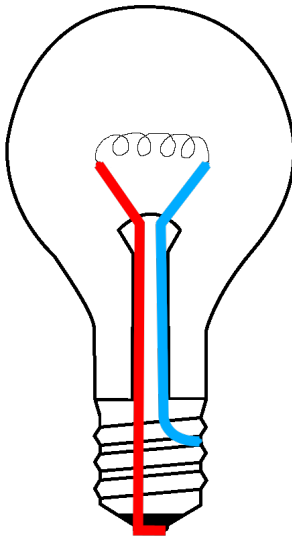


Schaltung 3



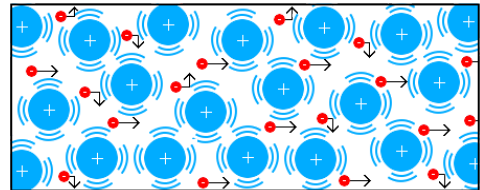
Schaltung 4

Wie ist eine Lampe 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“, d.h. sie stoßen häufig mit den Atomrümpfen im Draht zusammen.

Dadurch fangen die Atomrümpfe an, um ihre feste Position hin- und herzuschwingen, wodurch der Draht heiß wird und deswegen Licht abstrahlt.



Die Spannungsangabe auf einer Glühlampe gibt an, für welchen elektrischen Druckunterschied sie gebaut wurde. Wird eine Spannungsquelle mit geringerer Spannung an die Lampe angeschlossen, leuchtet diese einfach weniger hell. Bei einer höheren Spannung, d.h. einem höheren elektrischen Druckunterschied, glüht der Draht im Inneren der Lampe aufgrund der hohen Temperatur womöglich durch. Die Lampe ist dann kaputt, weil keine Elektronen mehr durch den dann unterbrochenen Glühdraht strömen können.

Einfluss der Geometrie auf den Widerstand

- 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, desto enger ein Widerstandselement ist. Allgemein gilt, dass der Widerstand umso größer ist, desto enger das Widerstandselement ist (hier 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, desto länger der Draht ist. Umso länger ein Draht also ist, desto stärker bremst er die Elektronenströmung. Allgemein gilt, dass der Widerstand umso größer ist, desto länger das Widerstandselement ist (hier 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 pro Sekunde zum Lämpchen übertragen wird. Hierzu muss man lediglich den Druckunterschied U mit 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.

$$P = U \cdot I$$

Vorsicht

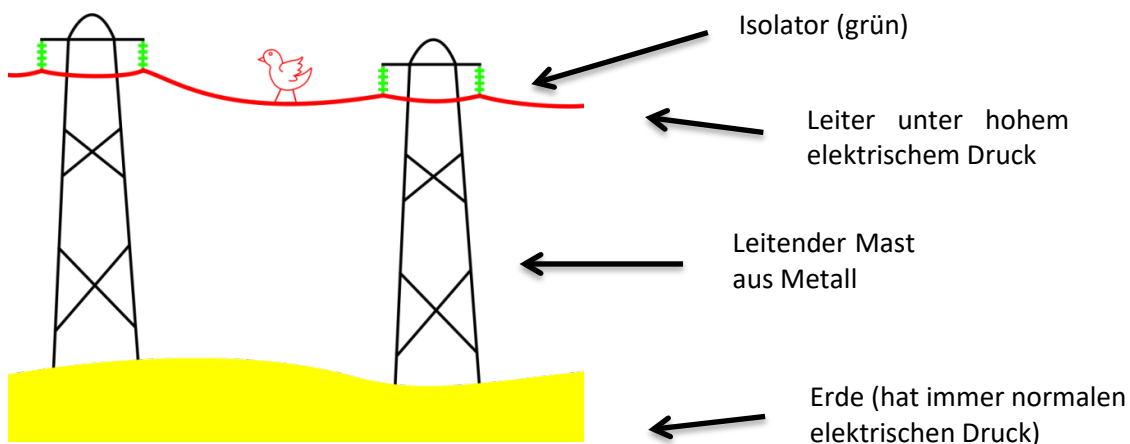


- Die Elektronen prallen lediglich an den Atomrümpfen ab, sie werden nicht verbraucht und sie bleiben nicht im Lämpchen oder Widerstand stecken.
- Wenn man von einem großen Widerstand spricht, meint man damit nicht, dass es sich um ein großes Bauteil handelt, sondern dass der Widerstand die Elektronenströmung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

Übungsaufgaben

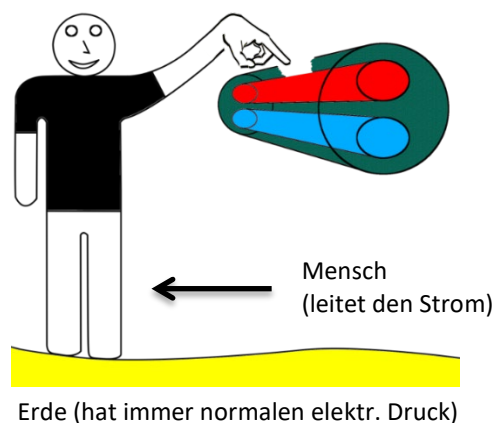
① Nicht alle Materialien leiten den elektrischen Strom gleich gut, weshalb man grob zwischen den Kategorien „sehr guter Leiter“, „Leiter mit mittlerem Widerstand“ und „Isolator“ unterscheidet. Beschreibe mit deinen eigenen Worten, wie man sich jeweils die unterschiedliche Leitfähigkeit erklären kann.

② Isolatoren kommen auch bei Strommasten zum Einsatz. An den Isolatoren werden die Hochspannungsleitungen aufgehängt, die selbst sehr gut leitend sind. Erkläre mithilfe der unteren Darstellung, warum die Isolatoren unbedingt benötigt werden.

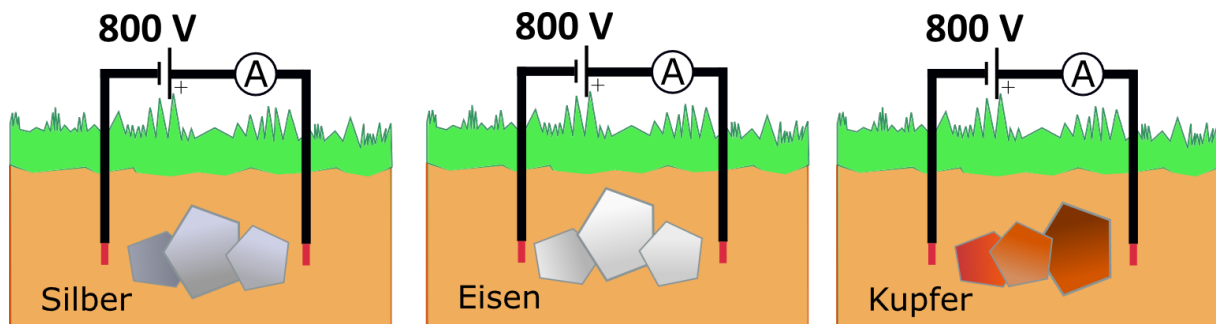


③ Der „elektrische Druck“ selbst ist für Menschen und Tiere ungefährlich und man kann ihn auch nicht direkt spüren. Gefährlich kann hingegen die Elektronenströmung sein, die man in Form eines „elektrischen Schlags“ spürt. Erkläre anhand der oberen Darstellung, warum der Vogel auf der Hochspannungsleitung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

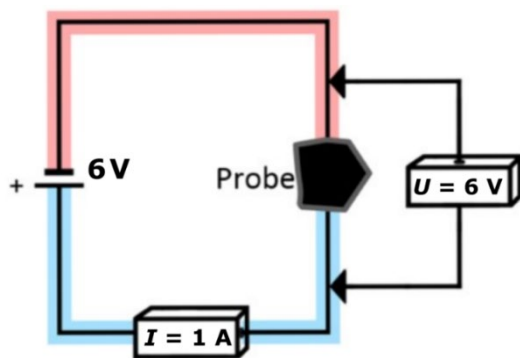
④ Jedes Stromkabel im Haushalt ist von einer Gummischicht umschlossen, die als Isolator dient. Erkläre mithilfe der Darstellung rechts, warum für den Menschen Lebensgefahr besteht, wenn die Isolationschicht eines an die Steckdose angeschlossenen Stromkabels beschädigt ist.



⑤ Mit der Geoelektrik können nicht nur Knochen im Erdreich gefunden werden. Man kann auch ermitteln, wo sich andere Bodenschätze befinden sowie Menge und Material bestimmen. Erkläre, wie eine Umweltingenieurin mithilfe der Geoelektrik verschiedene Mengen oder Materialien unter der Erde voneinander unterscheiden kann.



⑥ Nach der Feststellung, dass es im Erdreich unterschiedliche Bodenschätze gibt, hat die Umwelt-Ingenieurin Materialproben an verschiedenen Stellen entnommen. [Wir gehen hier davon aus, dass diese Materialproben gleich groß und daher miteinander vergleichbar sind].



a) Zur Materialbestimmung muss die Umweltingenieurin nun den Widerstandswert R der Proben ermitteln. Dazu wählt sie einen Versuchsaufbau wie im Bild links dargestellt.

Erkläre, wie die Umweltingenieurin über das Messen des Druckunterschieds U und der Intensität der Elektronenströmung I auf den Widerstandswert R des Materials schließen kann. Formuliere hierzu,

welcher Je-Desto-Zusammenhang zwischen I und R bei gleichem elektrischem Druckunterschied U besteht.

b) Die Untersuchung der Widerstandswerte der Materialproben ergab Folgendes:

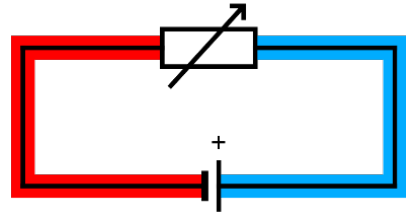
Nr. der Materialprobe	①	②	③	④	⑤
Intensität der Elektronenströmung	sehr hoch	schwach	mittel	hoch	keine

Ordne die Materialproben nach ihren Widerstandswerten (von kleinem R zu großem R). Erkläre dann mithilfe der Tabelle rechts, um welches Material es sich jeweils handeln könnte.

Interpretiere auch das Messergebnis der Materialprobe Nr. 5!

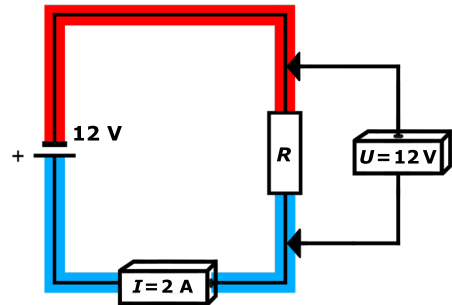
Material	R in Ω
Silber	1
Kupfer	2
Blei	20
Eisen	100
Glas	sehr hoch

⑦ In einen Stromkreis ist ein variabler Widerstand eingebaut. Beschreibe, wie sich die Intensität der Elektronenströmung verändert, wenn bei gleicher Spannung der Widerstandswert R vergrößert wird?



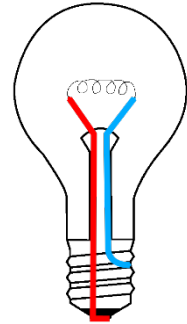
⑧ Betrachte den Stromkreis auf der rechten Seite.

- Bestimme den Widerstandswert R des Widerstands.
- Welche Spannung U ist also notwendig, damit es im Stromkreis zu einer Intensität der Elektronenströmung von $I = 1\text{ A}$ kommt?



⑨ Betrachte das rechts abgebildete Lämpchen.

- Zeichne eine Batterie und die Drahtverbindungen zur Glühlampe ein, sodass diese leuchtet.
- Unterscheidet sich die Intensität der Elektronenströmung im Glühdraht und in den Leitern, mit denen er verbunden ist? Begründe deine Antwort!
- Begründe mithilfe der Vorstellung von Elektronen und Atomrümpfen, warum der Glühdraht einer Lampe heißer wird als die beiden Leiter, an die er angeschlossen ist.



7) Die Parallelschaltung

Der elektrische Weidezaun

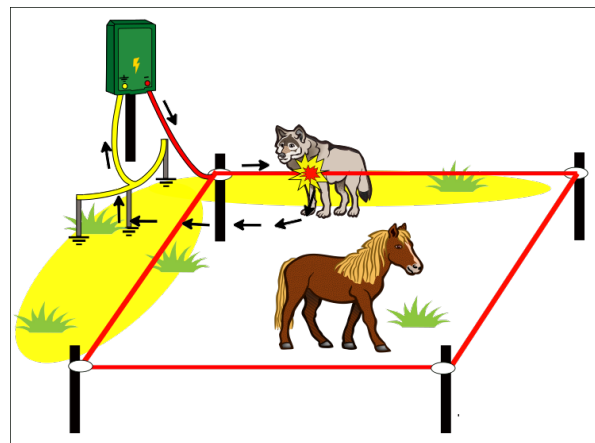
Der Wolf ist wieder da! Nahezu 150 Jahre lang wurde in Deutschland kein Wolf mehr gesichtet, doch in den vergangenen Jahren wurden hierzulande zunehmend häufiger Wolfsrudel beobachtet. Man geht davon aus, dass zurzeit etwa 100 Rudel in Deutschland leben – Tendenz steigend. Landwirte und Tierhalter gehören meist zu den Ersten, die die Anwesenheit von Wölfen bemerken. Der Grund: Ziegen, Schafe, Rinder und Pferde gehören oft zu den Beutetieren des Wolfs.



Tierhalter stehen vor der Herausforderung, ihre Tiere schützen zu müssen. Auch die Tierchutzorganisation WWF empfiehlt, Herdenschutzmaßnahmen zu ergreifen. Damit sollen die Wölfe davon abgehalten werden, in die Weidegebiete einzudringen und dort Tiere zu reißen. Gleichzeitig sollen Tiere, die wegen der Anwesenheit des Wolfs in Panik geraten, nicht ausbrechen oder sich bei der Flucht vor dem Raubtier verletzen.

Deshalb sollen die Weiden mit elektrischen Zäunen (sogenannten Weidezäunen) ausgestattet werden, um den Tieren ausreichend Schutz vor den Wölfen zu bieten. Die Wölfe sollen bei der Jagd nicht hinein- und die Nutztiere nicht hinausgelangen.

Der Weidezaun besteht aus leitfähigem Draht, der um das zu schützende Gebiet herumgespannt wird. Dieser Draht wird dann mit einem Weidezaungerät verbunden, das als Spannungsquelle dient. Das Weidezaungerät ist zusätzlich über sogenannte Erdungspfähle mit dem Boden verbunden (siehe Bild rechts).



- 1) Wie funktioniert der Weidezaun?
- 2) Was passiert, wenn zwei Tiere gleichzeitig den Zaun berühren?



Die Funktionsweise des elektrischen Weidezauns

Das Weidezaungerät ist die Spannungsquelle des Zauns und bewirkt, dass im Zaun (also dem elektrischen Leiter) ein elektrischer Überdruck herrscht. Wie in der Abbildung unten dargestellt, verbinden die Erdungspfähle das Weidezaungerät mit dem Boden, in dem elektrischer Normaldruck herrscht. Eine leitende Verbindung zum Boden wird als „Erdung“ bezeichnet, für die man in Schaltplänen das rechts abgebildete Symbol verwendet.



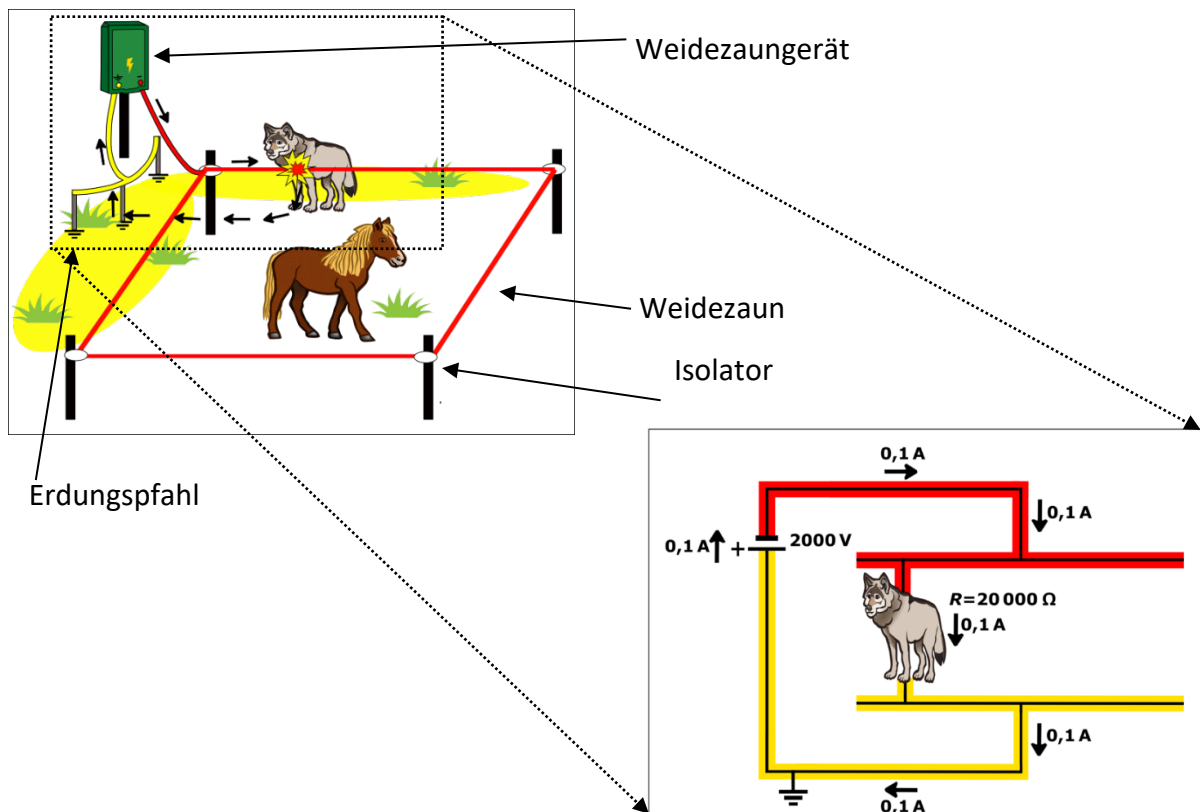
1) Wie funktioniert der Weidezaun?

Wenn der Wolf den Zaun berührt, so schließt er den Stromkreis. Da der Wolf die Elektronenströmung behindert, kann er als Widerstand betrachtet werden, an dem durch den Zaun ein elektrischer Überdruck und durch den Boden ein elektrischer Normaldruck anliegen. Infolge dieses elektrischen Druckunterschieds kommt es zu einer Elektronenströmung durch den Wolf. Diese Elektronenströmung nimmt der Wolf als Schlag wahr, schreckt zurück und unterbricht somit den Stromkreis.



Hinweise:

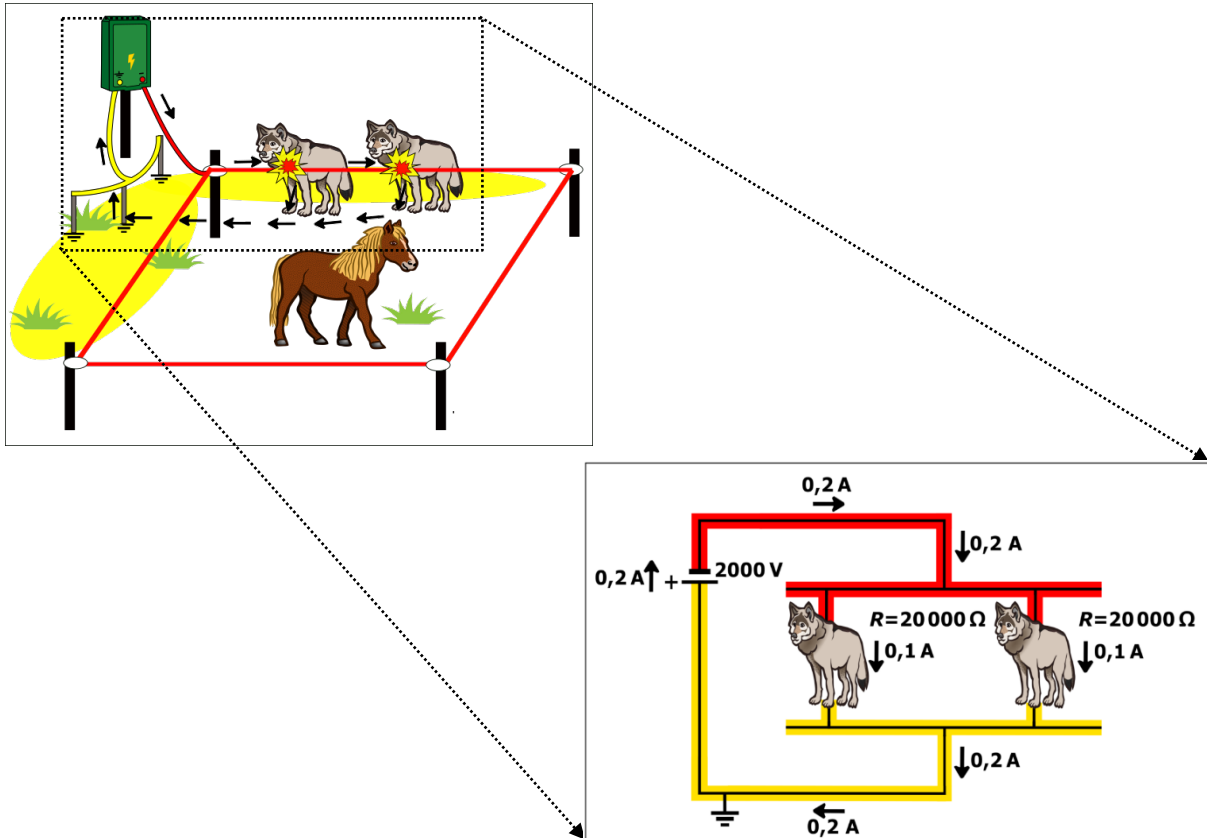
- Der elektrische Widerstand eines Wolfs hängt z.B. vom Fell, der Hautfeuchte, der Hautdicke und der Gewebeart ab. Zur Vereinfachung nehmen wir hier an, dass ein Wolf einen festen Widerstandswert von $R = 20\,000\ \Omega$ hat.
- Warum stirbt der Wolf nicht, obwohl das Weidezaungerät eine Spannung von 2000 V erzeugt? Der Grund ist, dass das Weidezaungerät (anders als z.B. eine Batterie) diese Spannung nur für sehr kurze Zeitspannen erzeugt, weshalb der Strom nur kurz auf den Wolf einwirken kann.



Solange der Wolf den Weidezaun nicht berührt, gibt es auch keine Elektronenströmung. Du kannst den Wolf also mit einem Schalter in einem Stromkreis vergleichen.

Zwei Wölfe und der elektrische Weidezaun

Wie hilft der Weidezaun nun, wenn ein Wolfspaar oder sogar ein ganzes Wolfsrudel Jagd auf ein Pferd machen möchte? Sehen wir uns den Fall einmal für zwei Wölfe an, die den Weidezaun gleichzeitig berühren.



Obwohl nun zwei Wölfe den Zaun berühren, hat sich der elektrische Druckunterschied im Vergleich zur Situation mit nur einem Wolf nicht geändert. Das liegt daran, dass das Weidezaungerät eine Spannungsquelle ist, d.h. es hält den elektrischen Druckunterschied konstant.

2) Was passiert, wenn zwei Tiere gleichzeitig den Zaun berühren?

Da der elektrische Druckunterschied konstant bleibt, nun aber ein zweiter Wolf den Zaun berührt, kommt es zu einer **zusätzlichen** Elektronenströmung durch den zweiten Wolf von $I = 0,1\text{ A}$. Diese ist genauso groß wie durch den ersten Wolf, da der zweite Wolf den gleichen Widerstandswert R hat und an ihm der gleiche elektrische Druckunterschied anliegt. Insgesamt kann man am Weidezaungerät nun also – im Vergleich zur Situation mit nur einem Wolf – eine doppelt so hohe Intensität der Elektronenströmung von $I = 0,2\text{ A}$ beobachten.

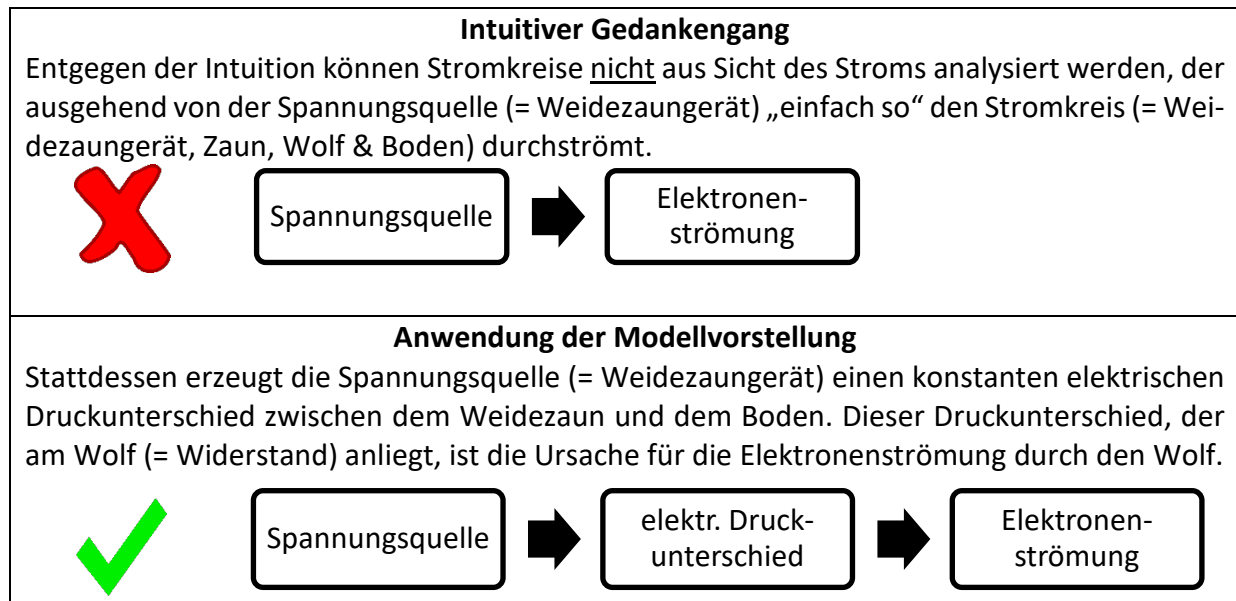


Liegt an mehreren Widerständen der gleiche elektrische Druckunterschied an (wie bei unseren zwei Wölfen), so spricht man in der Physik von einer Parallelschaltung.

Parallelschaltungen von Widerständen

Im obigen Beispiel haben wir in einem ersten Schritt geschaut, welcher elektrische Druckunterschied an den Wölfen anliegt. In einem zweiten Schritt haben wir uns dann überlegt, welche Elektronenströmung durch diese elektrischen Druckunterschiede verursacht wird.

Dieses Vorgehen widerspricht oftmals der eigenen Intuition, den Stromkreis aus Sicht des elektrischen Stroms zu analysieren. 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?



Zusammenfassung der wesentlichen Erkenntnisse

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

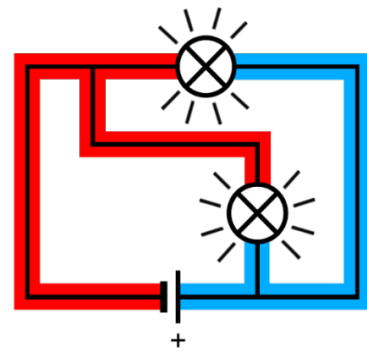
1. Eine Spannungsquelle wie ein Weidezaungerät erzeugt einen festen elektrischen Überdruck im Weidezaun. Durch den elektrischen Überdruck im Weidezaun und den elektrischen Normaldruck im Boden herrscht ein konstanter elektrischer Druckunterschied zwischen diesen beiden Bereichen.
2. Der elektrische Druckunterschied verursacht bei jedem Wolf, der den Weidezaun berührt, eine zusätzliche Elektronenströmung. Die Intensität der Elektronenströmung ist abhängig vom Widerstand des Wolfs.
3. Jede zusätzliche Elektronenströmung muss von dem Weidezaungerät bereitgestellt werden.

Das Erkennen von Parallelschaltungen

Häufig sind Parallelschaltungen gar nicht so leicht zu erkennen, weil die Leiter in der Schaltung nicht parallel zueinander angeordnet sind. Vergleiche hierzu die Darstellung zweier parallel geschalteter Lämpchen auf der rechten Seite.

Wie können Parallelschaltungen dennoch erkannt werden?

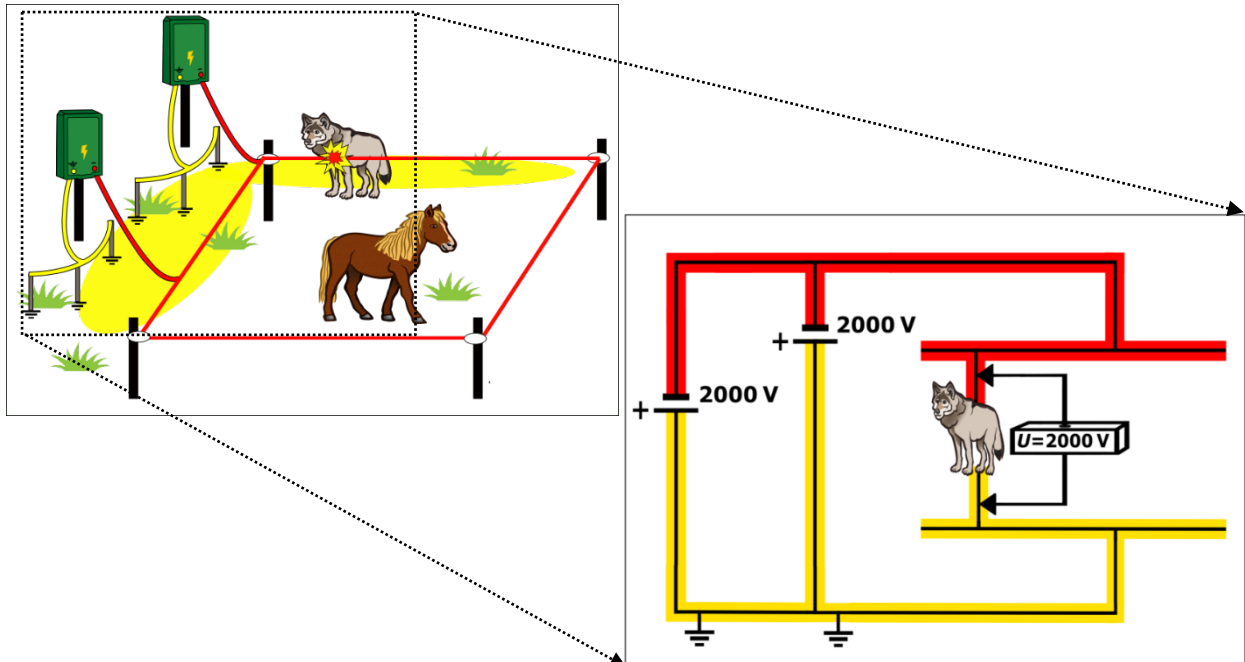
Eine Parallelschaltung liegt dann vor, wenn an den Widerständen die gleichen elektrischen Drücke anliegen. Diese sind hier jeweils durch die Farben rot und blau dargestellt.



Parallelschaltungen von Spannungsquellen

Zusätzlich zu unserem bereits vorhandenen Weidezaungerät schalten wir ein weiteres Weidezaungerät parallel. Erhöht sich dadurch der elektrische Druckunterschied? Bekommt ein Wolf somit also einen größeren elektrischen Schlag?

Eine Parallelschaltung der Weidezaungeräte erhöht nicht die Gesamtspannung. Der Grund hierfür ist, dass jedes der Weidezaungeräte dafür sorgt, dass der elektrische Überdruck am Minuspol um einen bestimmten Wert höher ist als am Pluspol. Da die Pluspole beider Schaltungen aber mit dem Boden verbunden sind, erhöht jedes Weidezaungerät den elektrischen Druck ausgehend vom gleichen elektrischen Normaldruck.



Der Vorteil einer solchen Parallelschaltung von Spannungsquellen besteht darin, dass sie zusammen den elektrischen Druckunterschied auch bei großen Elektronenströmungen, also wenn z.B. sehr viele Wölfe gleichzeitig den Zaun berühren, noch konstant halten können.

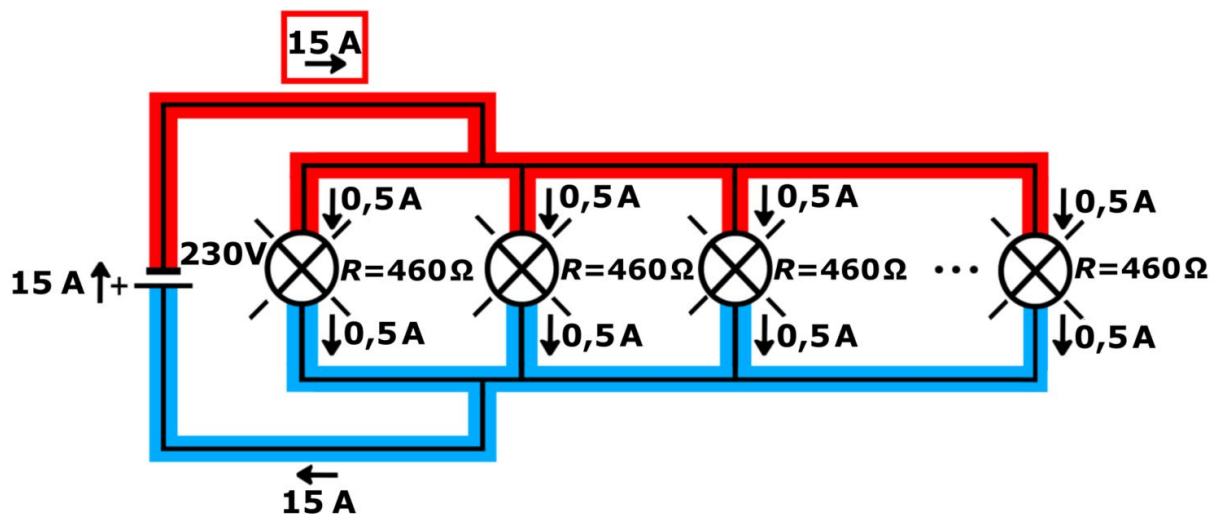
Weitere Anwendung: Typisch amerikanische Weihnachten

In den USA erfreut sich das weihnachtliche Dekorieren von Häusern mit Lichterketten sehr großer Beliebtheit. Meist werden diese Lichterketten über eine Steckdose betrieben, die mit der zentralen Hausleitung verbunden ist. Wie du bereits weißt, sorgen parallel geschaltete Widerstände dafür, dass sich die Intensität der Elektronenströmung in der zentralen Zuleitung erhöht (vgl. die 15 A im roten Kasten in der Schaltskizze unten).



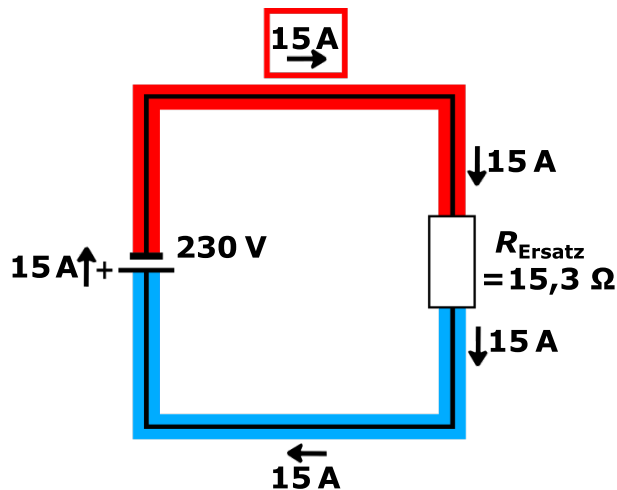
Eine zu große Intensität der Elektronenströmung in der zentralen Hausleitung kann allerdings dazu führen, dass sich diese stark erwärmt. Damit es durch die Erwärmung nicht zu einem gefährlichen Kabelbrand kommt, ist in der zentralen Hausleitung meist eine Sicherung verbaut. Diese Sicherung wird ausgelöst, wenn eine zu große Elektronenströmung durch die Leiter fließt. Der Stromkreis ist dann unterbrochen und es fließt kein Strom mehr.

Eine Handwerkerin möchte sich selbst eine Lichterkette bauen. Die Lichterkette soll aus 30 parallel geschalteten Lämpchen bestehen. Durch ein Lämpchen fließt jeweils eine Elektronenströmung mit einer Intensität von $I = 0,5 \text{ A}$. Somit käme es zu einer Intensität der Elektronenströmung von 30 mal $0,5 \text{ A}$, also $I = 15 \text{ A}$ durch die zentrale Hausleitung.



Die Handwerkerin ist sich jedoch nicht sicher, ob die Intensität von $I = 15 \text{ A}$ schon dazu führen würde, dass die Sicherung in der zentralen Hausleitung ausgelöst wird. Um dies vor dem Kauf der Lampen zu überprüfen, geht sie wie folgt vor: Statt der Lichterkette mit 30 Lämpchen schließt sie einfach einen einzigen Widerstand an, bei dem die Intensität der Elektronenströmung bei einer Spannung von $U = 230 \text{ V}$ ebenfalls $I = 15 \text{ A}$ beträgt. Um herauszufinden, bei welchen der vielen „Ersatzwiderstände“ in ihrem Handwerkskoffer das der Fall ist, muss sie zunächst den Widerstandswert R des benötigten Ersatzwiderstands berechnen:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{230 \text{ V}}{15 \text{ A}} \approx 15,3 \Omega$$



Statt der Lichterkette mit 30 Lämpchen kann sie also einfach einen (Ersatz-) Widerstand mit einem Widerstandswert von $R = 15,3 \, \Omega$ in die Schaltung einbauen, um zu überprüfen, ob die Sicherung in der zentralen Hausleitung ausgelöst wird.

Der Widerstandswert R des Ersatzwiderstands ist mit $R = 15,3 \, \Omega$ viel kleiner als der Widerstand von jeder der ursprünglich parallel geschalteten Lampen der Lichterkette, die jeweils einen Widerstandswert von $R = 460 \, \Omega$ hatten.

Das ist ein bemerkenswertes Ergebnis!

Der Grund hierfür ist, dass jede parallel geschaltete Lampe, welche als Widerstand betrachtet wird, für eine zusätzliche Elektronenströmung sorgt.

Die Intensität der Elektronenströmung bei einer Parallelschaltung

Bei einem Widerstand gilt:

Umso **kleiner der Widerstand**, desto **höher die Intensität der Elektronenströmung**.

Bei einer Parallelschaltung von Widerständen gilt:

Je **mehr Widerstände parallel** geschaltet sind, desto **kleiner ist der Ersatzwiderstand** und desto **höher ist die Intensität der Elektronenströmung** in der gemeinsamen Zuleitung nah bei der Spannungsquelle.

Vergleich mit Strohhalmen: Je mehr Strohhalme „parallel“ im Mund stecken, desto leichter kannst du Luft durch sie blasen und desto geringer ist folglich ihr „Widerstand“.

Beachte, dass es beliebig hohe Intensitäten der Elektronenströmung nur in der Theorie gibt. Bei realen Spannungsquellen ist die maximale Intensität der Elektronenströmung begrenzt.

Information für Interessierte: Berechnung des Ersatzwiderstands

Der Ersatzwiderstand R_{Ersatz} bei Parallelschaltungen kann auch allein mithilfe der Widerstandswerte R_1 , R_2 , R_3 usw. der einzelnen parallel geschalteten 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 sich in einer Parallelschaltung (z.B. Lichterkette) befindet, nimmt die Intensität der Elektronenströmung zu. Mit jedem zusätzlichen Lämpchen muss die Spannungsquelle also pro Sekunde mehr Elektronen vom Plus- zum Minuspol pumpen. Das ist für die Spannungsquelle „anstrengend“.

Die von der Spannungsquelle pro Sekunde bereitzustellende Energiemenge verdoppelt sich, wenn im Beispiel mit der Lichterkette zwei Lampen statt nur einer Lampe leuchten sollen:

- ➔ Bei einer Lampe findet eine Energieübertragung von $P = U \cdot I = 230 \, \text{V} \cdot 0,5 \, \text{A} = 115 \, \text{W}$ statt.
- ➔ Bei zwei Lampen findet eine Energieübertragung von $P = U \cdot I = 230 \, \text{V} \cdot 1,0 \, \text{A} = 230 \, \text{W}$ statt.

Vorsicht

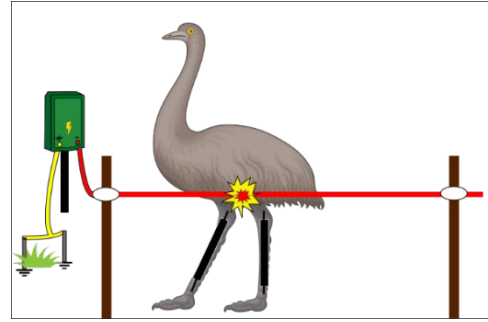


- Eine Spannungsquelle wie das Weidezaungerät hält den elektrischen Druckunterschied konstant und nicht die Intensität der Elektronenströmung. Die Pumpleistung wird also immer so angepasst, dass der elektrische Druckunterschied konstant bleibt.
- Berühren zwei Wölfe (= zwei Widerstände) gleichzeitig den Weidezaun, so muss sich die bisherige Elektronenströmung nicht aufteilen. Vielmehr stellt das Weidezaungerät die zusätzliche Elektronenströmung bereit, die durch den zweiten Wolf fließt. Die bisherige Gesamtelektronenströmung, die zuvor nur durch die Berührung eines Wolfes hervorgerufen wurde, steigt nun durch die Berührung des zweiten Wolfes an. Das Weidezaungerät (= Spannungsquelle) muss sich somit „mehr anstrengen“.
- Die Elektronenströmung muss sich an Verzweigungen (den sogenannten „Knoten“) nicht aktiv entscheiden, wie sie sich aufteilt. Es ist vielmehr so, dass sich die vom Weidezaungerät kommende Elektronenströmung aus der Summe der einzelnen Elektronenströmungen durch die Wölfe ergibt.
- Trotz gleichen Drucks in einem Leiterabschnitt können sich die Elektronenströmungen in diesem unterscheiden (siehe Parallelschaltungen weiter oben).
- Im Boden herrscht ein konstanter elektrischer Normaldruck. Das Weidezaungerät erzeugt durch seine Pumpleistung also keinen elektrischen Unterdruck im Boden. Das liegt daran, dass in der Erde ein so großes Elektronenvorkommen herrscht, dass sich die Dichte der Elektronen darin nicht merklich ändert, wenn das Weidezaungerät Elektronen vom Pluspol zum Minuspol pumpt.

Übungsaufgaben

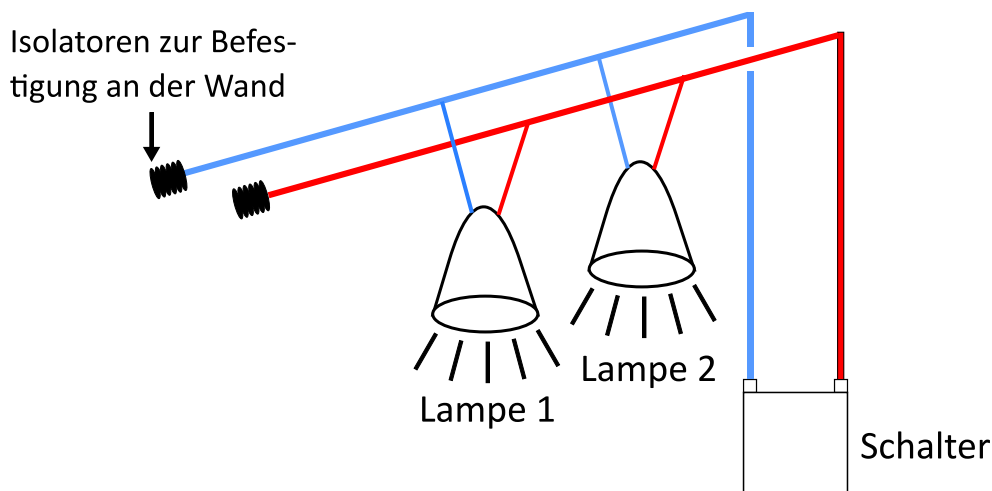
- ① Vier Wölfe sind auf Beutesuche und wollen auf eine Weide gelangen, auf der eine Kuh steht. Die Weide ist mit einem elektrischen Weidezaun gesichert, sodass alle vier Wölfe beim gleichzeitigen Berühren des Zauns einen elektrischen Schlag bekommen.
- a) Zeichne einen entsprechenden Schaltplan, der das Weidezaungerät ($U = 2000 \text{ V}$), die Wölfe, die Leiter und die Erdung darstellt.
 - b) Zeichne mithilfe der Farbdarstellung die entsprechenden Drücke im Schaltplan ein.
 - c) Zeichne im Schaltplan die Strompfeile an verschiedenen Stellen ein und beschrifte diese mit den jeweils zugehörigen Intensitäten der Elektronenströmungen. Gehe davon aus, dass über einen Wolf ein Strom von $I = 0,1 \text{ A}$ fließt.
 - d) Vervollständige den Satz: Da vier Wölfe gleichzeitig den Weidezaun berühren, ist die _____, die direkt am Weidezaungerät beobachtet wird, _____ so groß, als wenn nur ein Wolf den Weidezaun berührt.
 - e) Bestimme den Widerstandswert R eines Wolfes.
 - f) Eine Firma, die Weidezaungeräte herstellt, wirbt damit, dass ihre Geräte sogar 10 Wölfe gleichzeitig von einer Weide abhalten können. Landwirt Maier möchte dies experimentell überprüfen. Berechne hierzu den Ersatzwiderstand von 10 parallel geschalteten Wölfen. Nimm an, dass ein einzelner Wolf einen Widerstand von $R = 20\,000 \, \Omega$ aufweist.
 - g) Ein Wolf versucht, auf die Weide zu gelangen, indem er über den Zaun springt. Während des Sprungs, also während der Wolf in der Luft ist, berührt er jedoch den Draht des Weidezauns. Erkläre, ob der Wolf in diesem Moment einen elektrischen Schlag bekommt.

② Landwirt Maier hält auf seiner Farm auch Strauße, die durch einen elektrischen Zaun auf einer Weide eingegrenzt werden. Die Beine des Straußes lassen sich auch durch Widerstände darstellen. Sieh dir hierzu die Abbildung auf der rechten Seite an. Sobald der Strauß den elektrischen Weidezaun berührt, schließt er den Stromkreis mit dem Boden.



- Erkläre, um welche Art von Schaltung es sich handelt, wenn der Strauß den elektrischen Weidezaun berührt.
- Zeichne ein Schaltbild, das das Weidezaungerät ($U = 2000 \text{ V}$), den Weidezaun, den Boden sowie die Beine des Straußes darstellt.
- Zeichne im Schaltbild mithilfe der Farbdarstellung die elektrischen Drücke ein.
- Gib die Intensität der Elektronenströmung jeweils kurz vor und nach den Beinen sowie kurz vor und nach dem Weidezaungerät an. Gehe davon aus, dass durch jedes Bein $I = 0,1 \text{ A}$ fließen.
- Erkläre, wie sich die Elektronenströmung des Weidezaungerätes ändern würde, wenn der Strauß ein Bein anhebt, während er den Zaun berührt.

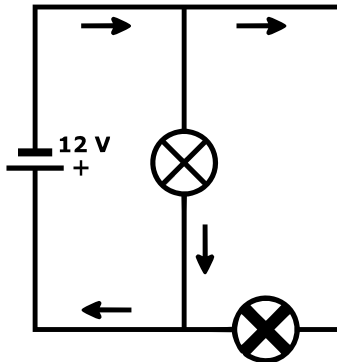
③ Halogenlampen werden an Seilssysteme angeschlossen, die nahe der Decke eines Zimmers von Wand zu Wand gespannt werden. In der untenstehenden Abbildung verdeutlichen die Farben der Leitung wie immer die elektrischen Drücke.



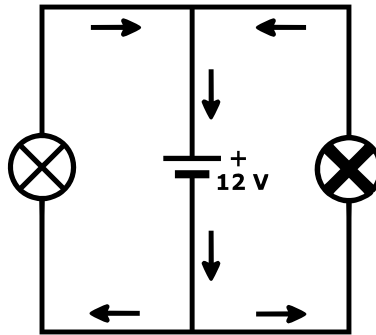
- Erläutere, woran man erkennen kann, dass die beiden Halogenlampen parallel geschaltet sind.
- Gib die Intensitäten der Elektronenströmungen an den Lampen und in den Leitungen nahe dem Schalter an. Gehe davon aus, dass durch jede Halogenlampe 2 A strömen.
- Beschreibe, wie sich die Elektronenströmungen 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 verbleibenden funktionierenden Halogenlampen ändert.

④ Betrachte die drei unten abgebildeten Schaltungen:

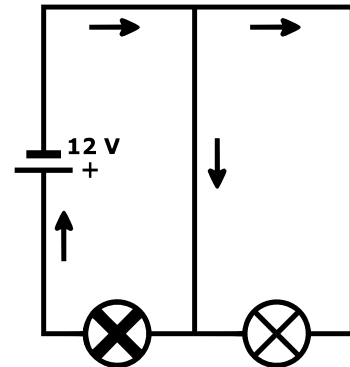
- Zeichne in den unten dargestellten Schaltplänen zunächst die elektrischen Drücke ein und erläutere, ob es sich um eine Parallelschaltung handelt.
- Beschrifte die Strompfeile an den verschiedenen Stellen im Stromkreis, indem du die Intensität der Elektronenströmung bestimmst. Nimm dabei an, dass diese bei kleinen Widerständen 2 A und bei großen Widerständen 1 A beträgt.



Schaltung 1

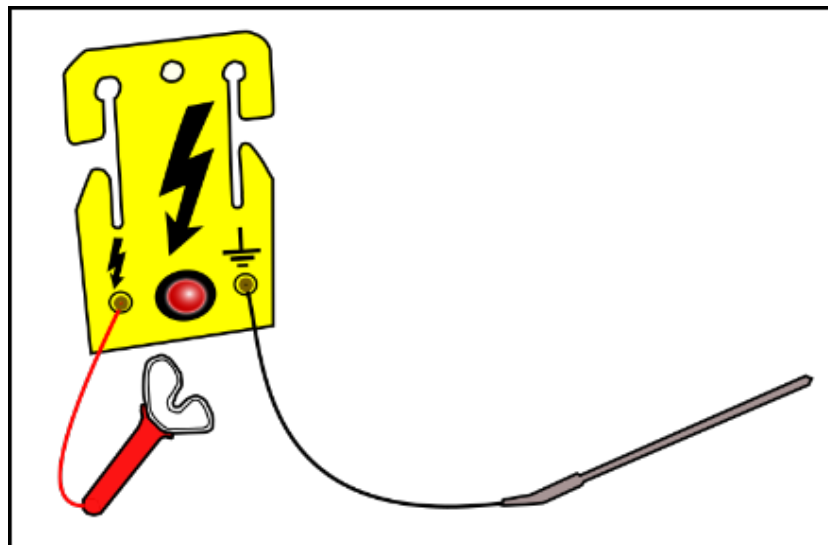


Schaltung 2



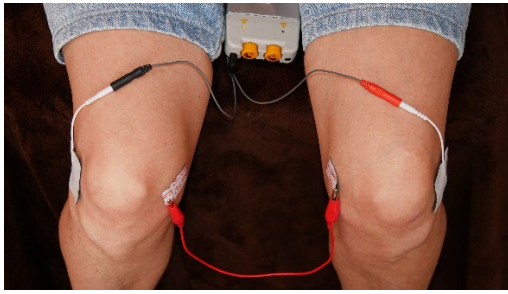
Schaltung 3

⑤ Weidezaunsignallampen werden an einen Weidezaun angeschlossen, um zu überprüfen, ob ein bestimmter Abschnitt des Weidezauns mit dem Weidezaungerät verbunden ist. Gleichzeitig schreckt das helle Leuchten der Lampe wilde Tiere ab.



- Schau dir die Abbildung der Weidezaunsignallampe an und erläutere ihre Funktionsweise. Achte dabei besonders auf die Symbole an den Klemmen der Leiter.
- Bei einem Spaziergang siehst du, dass die Signallampe zwar am Weidezaun angebracht ist, diese aber nicht leuchtet. Woran könnte es liegen, dass die Lampe nicht leuchtet? Nimm hierbei an, dass alle verwendeten Geräte eingeschaltet und nicht kaputt sind. Begründe deine Vermutung.
- Fertige ein Schaltbild an, in dem zwei (leuchtende) Weidezaunsignallampen an einem Weidezaun hängen, der wie gewohnt durch ein Weidezaungerät betrieben wird. Zeichne die elektrischen Drücke ein, die an den Signallampen anliegen.
- Erläutere, woran du erkennen kannst, dass die beiden Weidezaunsignallampen aus Aufgabenteil c) parallel geschaltet sind.

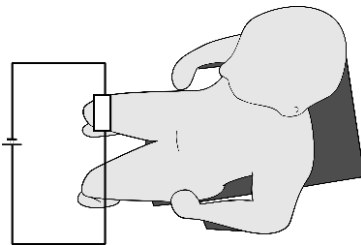
8) Die Reihenschaltung



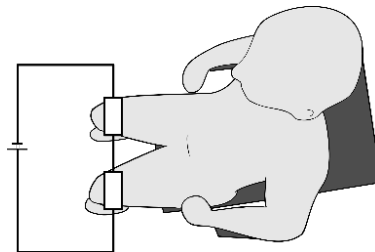
Lucas Mutter hat immer wieder Schmerzen in den Beinen. Diese sollen nun mit Reizstrom behandelt werden. Um einen Strom durch das Gewebe leiten zu können, werden Elektroden auf die Haut geklebt (siehe Abbildung links). Eine solche Behandlung ist nicht gefährlich, sondern unterstützt die Heilung. Zuerst wird das eine Bein behandelt, danach das andere.

Situation A unten links zeigt den Stromkreis bei der Behandlung eines Knies. Luca fragt sich, ob es nicht einfacher wäre, wenn der Strom direkt durch beide Knie geht, wie in Situation B unten rechts gezeigt. Die Widerstände in den beiden unten dargestellten Schaltungen stehen dabei für die Widerstände der Knie.

Situation A



Situation B



Luca und seine Mutter sind unsicher, ob es einen Unterschied macht, ob die Elektronenströmung nur durch ein Knie geht oder gleich durch beide Knie. Wenn die Elektronenströmung wie in Situation B gleich durch beide Knie geht, spricht man von einer **Reihenschaltung**.

Bewirkt die Reihenschaltung einen Unterschied in der Behandlung der Knie von Lucas Mutter?

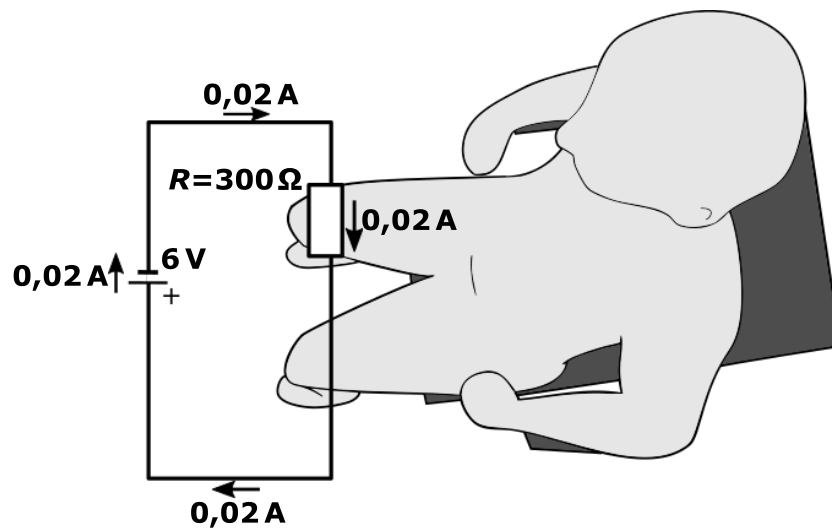


Der Gesamtwiderstand einer Reihenschaltung

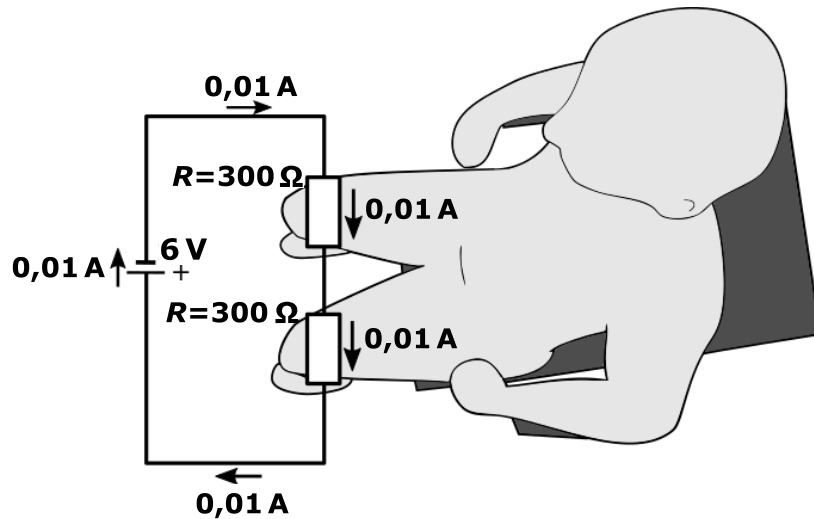
Bei einer Reihenschaltung sind mehrere Widerstände hintereinandergeschaltet (oder bei Lucas Mutter: ein Knie und das andere Knie). Wie du an den Schaltungen auf der nächsten Seite sehen kannst, behindern zwei gleiche in Reihe geschaltete Widerstände die Elektronenströmung zweimal so stark wie ein einzelner solcher Widerstand: Die Intensität der Elektronenströmung geht von 0,02 A (in Schaltung 1) auf 0,01 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 dar (vgl. Schaltung 2 auf der nächsten Seite mit $R_1 + R_2 = 600 \Omega$):

$$R_{\text{gesamt}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

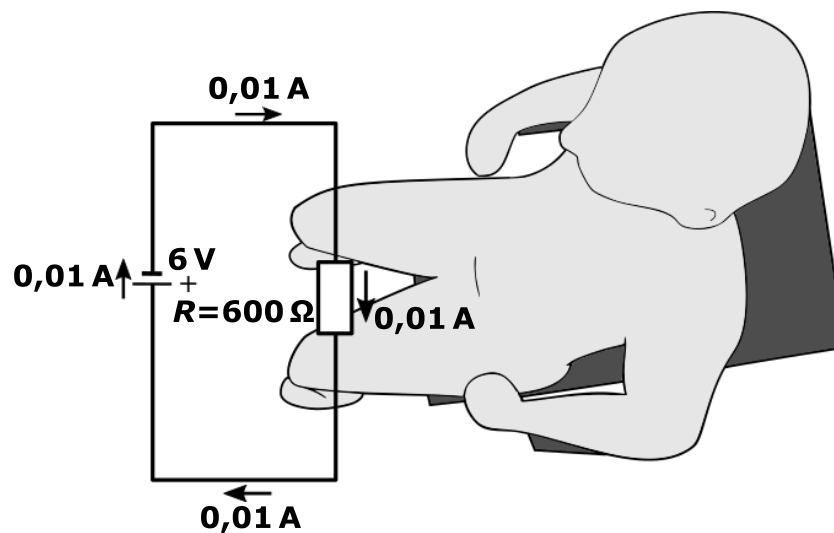
Einfache Schaltung mit einem Widerstand (Schaltung 1)



Reihenschaltung von zwei Widerständen (Schaltung 2)



Schaltung mit einem einzigen Ersatzwiderstand (Schaltung 3)



Manchmal möchte man die in Reihe geschalteten Widerstände zu einem einzigen sogenannten „Ersatzwiderstand“ zusammenfassen (vgl. Schaltung 3). Der Ersatzwiderstand soll dabei so gewählt werden, dass sich die Intensität der Elektronenströmung im Vergleich zu den zwei in Reihe geschalteten Widerständen nicht ändert. Dies ist dann der Fall, wenn der Ersatzwiderstand dem Gesamtwiderstand der Einzelwiderstände entspricht (hier also $R = 600 \Omega$).

Die Intensität der Elektronenströmung bei einer Reihenschaltung

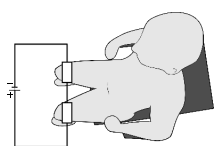
Bei einem Widerstand gilt:

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

Bei einer Reihenschaltung von Widerständen gilt:

Je **mehr Widerstände in Reihe** geschaltet sind, desto **größer ist der Gesamtwiderstand** und desto **kleiner ist die Intensität der 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“.

	<u>Bewirkt die Reihenschaltung einen Unterschied in der Behandlung der Knie von Lucas Mutter?</u> Wenn bei Lucas Mutter also die Elektronenströmung durch beide Knie geht, ist die Elektronenströmung kleiner, weil der Gesamtwiderstand größer geworden ist (Knie 1 + Knie 2), aber die Spannung des Reizstromgeräts konstant blieb. Es ist also nicht sinnvoll, beide Knie durch die Verwendung einer Reihenschaltung gleichzeitig zu behandeln, weil die Elektronenströmung für eine effektive Behandlung dann zu klein ist.	
---	---	---

Die Spannung an einem Schalter

Luca beobachtet nun, wie seine Mutter ein Knie behandelt. Plötzlich sagt seine Mutter:

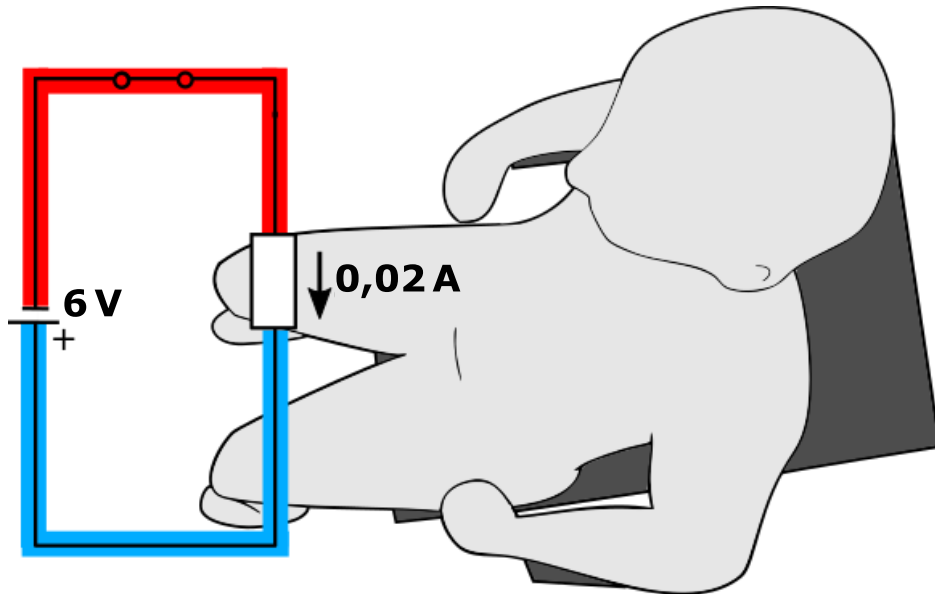
„Da ist etwas nicht in Ordnung: Ich spüre im Knie kein Kribbeln mehr!“

Einer der Anschlüsse ist von der Haut abgegangen. Dadurch wurde der Stromkreis – wie mit einem Schalter – geöffnet bzw. unterbrochen. Für Luca ist klar, dass nun kein Strom mehr durch das Knie fließt. Er weiß aber, dass eine Spannungsquelle immer für eine konstante Spannung (also festen elektrischen Druckunterschied) sorgt. Luca fragt sich daher, wo nun die Spannung des Reizstromgeräts (= Spannungsquelle) anliegt.

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

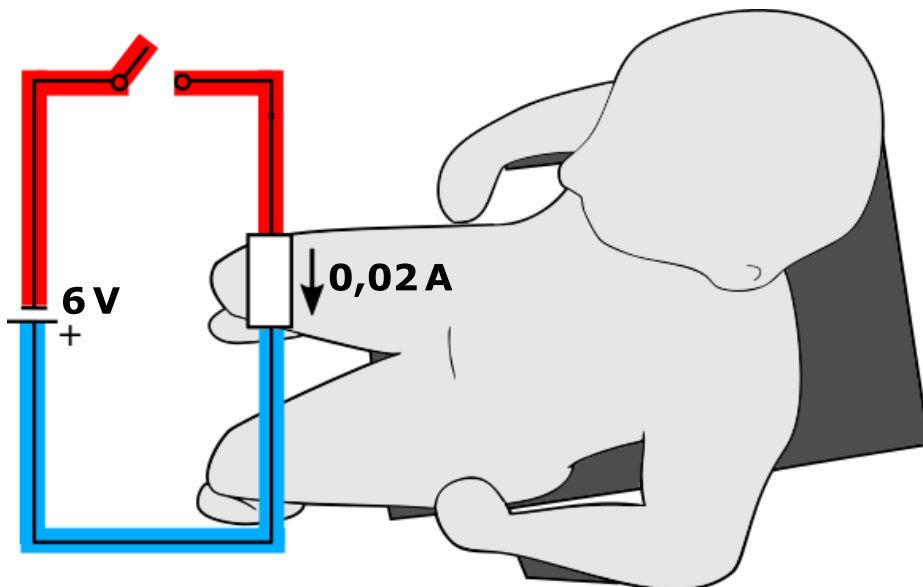
Schalter noch geschlossen
(der Anschluss klebt noch an der Haut)

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



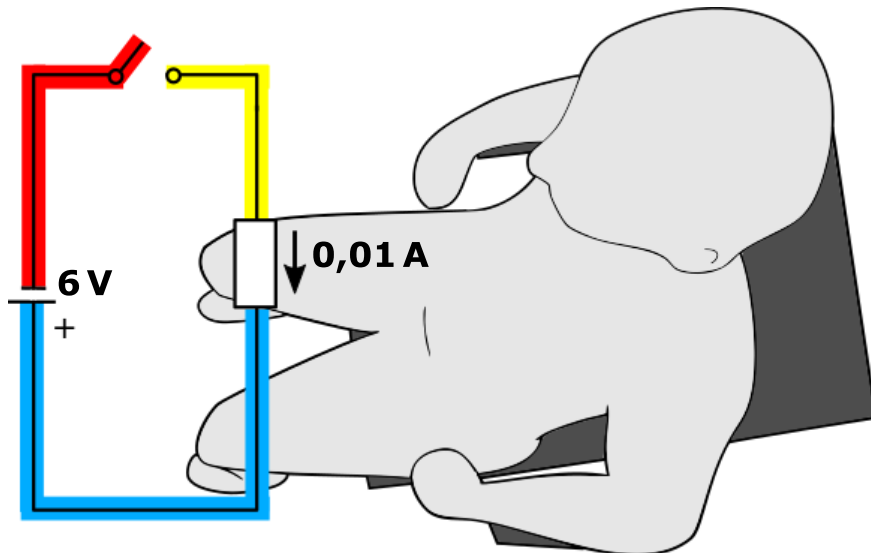
Schalter geöffnet (Anfangszustand)
(der Anschluss ist von der Haut abgefallen)

Der Schalter wurde geöffnet. Im ersten Moment herrscht noch ein Überdruck im obere Leiterabschnitt. Durch den zunächst unverändert hohen Druckunterschied am Knie (= Widerstand) wird dieses im ersten Moment noch von 0,02 A durchströmt.



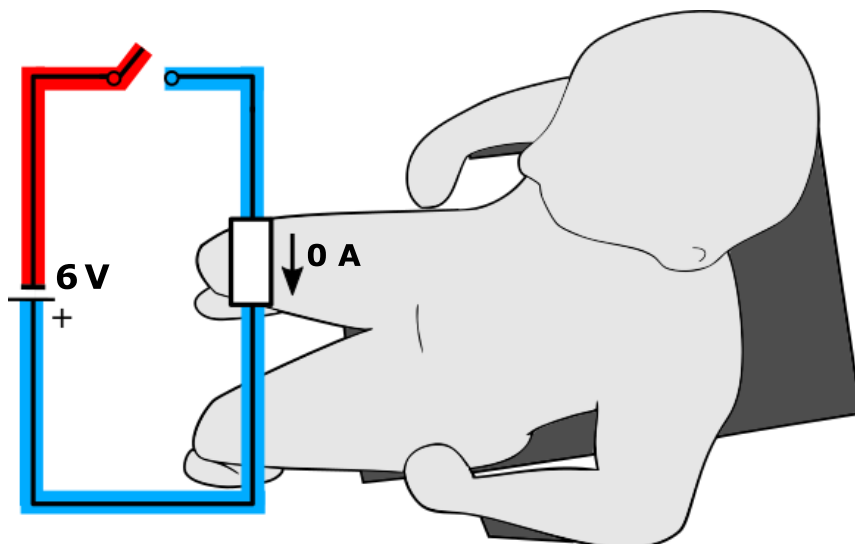
Schalter geöffnet (Übergangszustand)

Aufgrund des Druckunterschieds am Knie strömen auch weiterhin Elektronen durch das Knie (= Widerstand). Wegen des offenen Schalters können aber keine Elektronen mehr in das Leiterstück rechts oben hineinströmen. Der elektrische Druck dort sinkt dadurch, wodurch auch der elektrische Druckunterschied am Knie kleiner wird. Dies hat zur Folge, dass die Elektronenströmung mit der Zeit immer kleiner wird.



Schalter geöffnet (Endzustand)

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

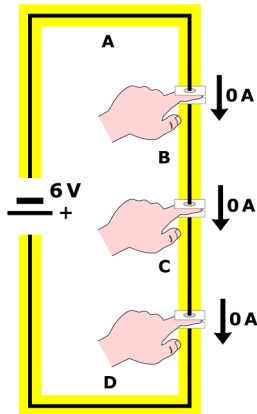


VORSICHT:

Elektrizität kann lebensgefährlich sein. Führe deshalb niemals unbeaufsichtigt Experimente mit Strom und Spannung durch!

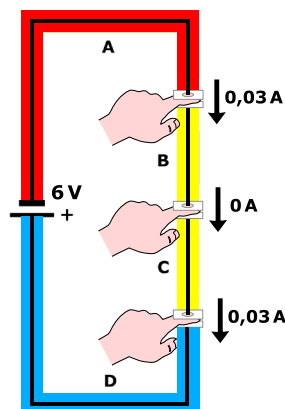
Die Spannung bei Reihenschaltungen von gleichen Widerständen

Die Regeln, die du gerade kennen gelernt hast, gelten ganz allgemein: Bei in Reihe geschalteten Widerständen (wie z.B. Fingern) teilt sich der von der Batterie erzeugte elektrische Druckunterschied (= elektrische Spannung) auf die jeweiligen Widerstände auf. Um dies zu verstehen, schauen wir uns die Veränderung der elektrischen Drücke in den einzelnen Leiterabschnitten unmittelbar nach Anschluss der Batterie an.



Anfangszustand

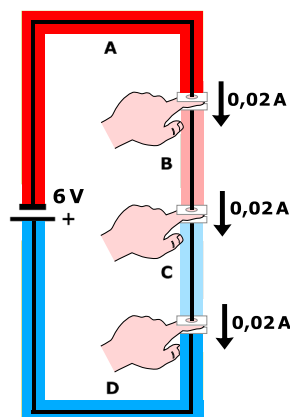
Solange der Stromkreis noch nicht an das Reizstromgerät angeschlossen ist, herrscht in allen Leiterabschnitten ein elektrischer Normaldruck. Da nirgendwo ein elektrischer Druckunterschied anliegt, fließt kein Strom.



Übergangszustand

Im ersten Moment, nachdem der Stromkreis mit dem Reizstromgerät 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 Finger 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

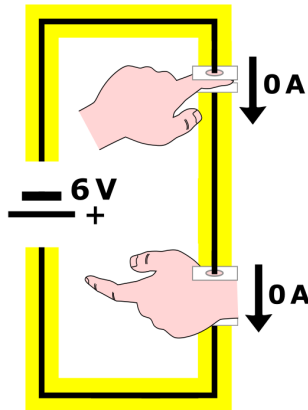
Aufgrund des angestiegenen Drucks in Leiterstück B und des abgesunkenen Drucks in Leiterstück C liegt nun auch am mittleren Finger ein Druckunterschied an. Dadurch kommt es zu einer Elektronenströmung durch den mittleren Finger. Die Elektronenströmung durch den oberen und unteren Finger nimmt von 0,03 A auf 0,02 A ab, weil der jeweils anliegende Druckunterschied durch die veränderten Drücke in B und C kleiner geworden ist.

Wenn die Elektronenströmung durch alle Finger 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.**

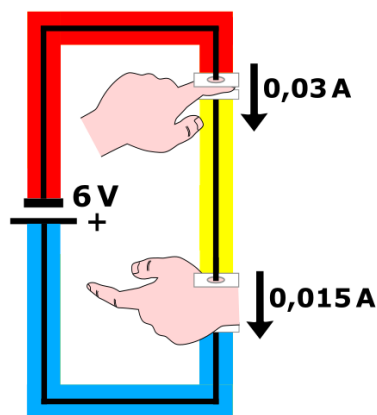
Die Spannung bei Reihenschaltungen von ungleichen Widerständen

Luca fragt sich, wie sich die Spannung einstellt, wenn er nun mit dem Reizstromgerät als Spannungsquelle einen Finger und das Handgelenk in Reihe schaltet (siehe Bilder unten). Dies ist eine spannende Frage, weil sich die Widerstände von Finger und Handgelenk unterscheiden.



Anfangszustand

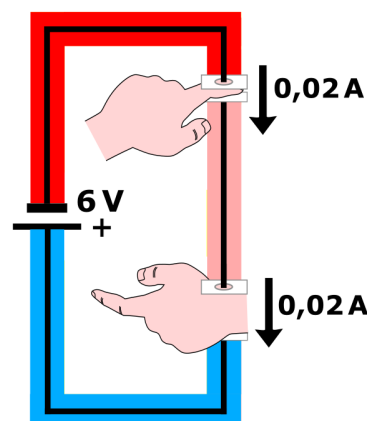
Solange der Stromkreis noch nicht an das Reizstromgerät angeschlossen ist, herrscht in allen Leiterabschnitten ein elektrischer Normaldruck. Da nirgendwo ein elektrischer Druckunterschied anliegt, fließt kein Strom.



Übergangszustand

Im ersten Moment, nachdem der Stromkreis mit dem Reizstromgerät verbunden wurde, herrscht im Leiterstück oben ein Überdruck und im Leiterstück unten ein Unterdruck. Im Leiterstück rechts herrscht zunächst noch ein Normaldruck, weil im ersten Moment noch keine Elektronen durch den Finger oder das Handgelenk geströmt sind.

An Finger und Handgelenk liegt zunächst der gleiche Druckunterschied an. Da das Handgelenk aber einen doppelt so großen Widerstand hat wie der Finger, führt dieser gleiche Druckunterschied beim Handgelenk nur zu einer halb so großen Elektronenströmung.



Endzustand

Da dann mehr Elektronen in das rechte Leiterstück reinströmen als rausströmen, steigt der elektrische Druck in diesem Leiterstück. Hierdurch sinkt der Druckunterschied am Finger, während der Druckunterschied am Handgelenk zunimmt.

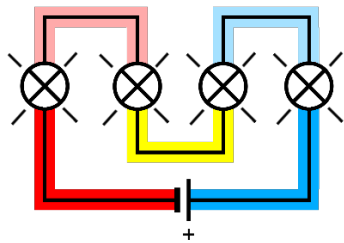
Im Endzustand ist der Druckunterschied am Handgelenk (mit großem Widerstand) so hoch bzw. der Druckunterschied am Finger (mit kleinem Widerstand) so gering, dass die Elektronenströmung durch Finger und Handgelenk gleich groß ist.

Wenn man also den Finger und das Handgelenk in Reihe an das Reizstromgerät anschließt, teilt sich der Druckunterschied auf beide Körperteile auf. Dabei gilt: Je größer der Widerstandswert R , desto größer der am jeweiligen Widerstand bzw. Körperteil anliegende Druckunterschied.

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.

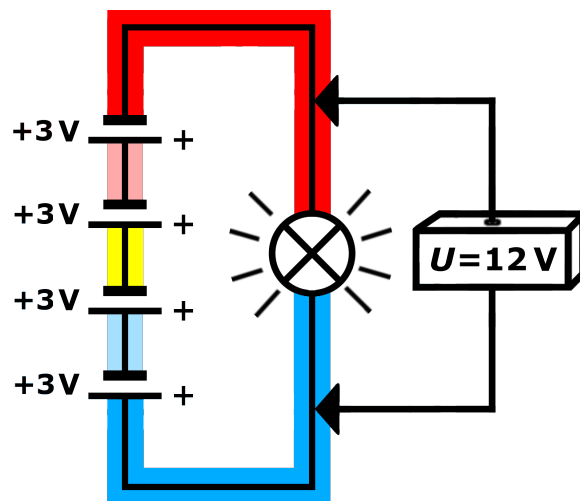
Reihenschaltungen von Batterien

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:

$$U_{\text{gesamt}} = U_{\text{Batterie 1}} + U_{\text{Batterie 2}} + U_{\text{Batterie 3}} + \dots$$



Vorsicht

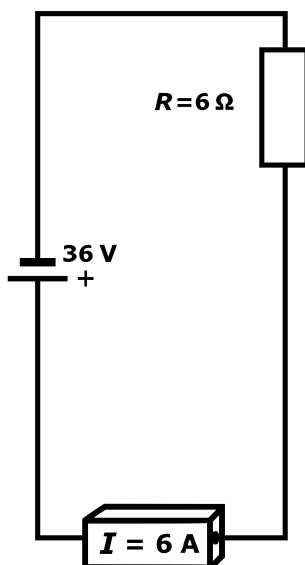


- In der Physik interessiert man sich immer nur für die Spannung und die Intensität der Elektronenströmung im Endzustand eines Stromkreises, da sich der Endzustand im Prinzip sofort einstellt. Die Betrachtung des Übergangszustands erklärt nur, wie es zum Endzustand mit den jeweiligen Spannungen kommt.
- 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 (denke an den „starrten Elektronenring“ oder eine Fahrradkette).
- Strömen bei einer Reihenschaltung im Endzustand z.B. 0,01 A durch das eine Knie und 0,01 A durch das andere Knie, so beträgt die Intensität der Elektronenströmung an allen Stellen im (unverzweigten) Stromkreis 0,01 A und nicht etwa 0,02 A.

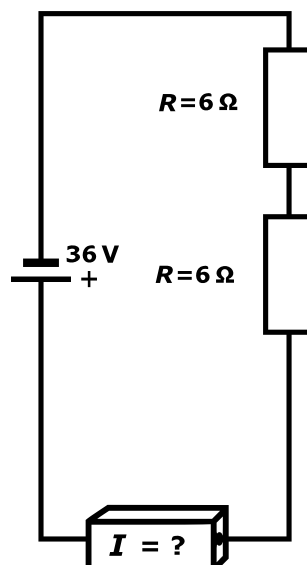
Übungsaufgaben

① Betrachte die unten abgebildeten drei Schaltungen.

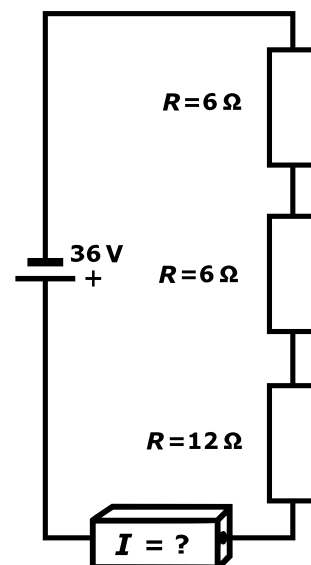
- a) Gib für jede Schaltung den Gesamtwiderstand und die Intensität der Elektronenströmung an, die das Amperemeter anzeigt.
- b) Jannis sagt mit Blick auf die Stromkreise: „Es ist klar, dass die Intensität der Elektronenströmung von Schaltung 1 nach Schaltung 3 immer kleiner wird. In Schaltung 1 gibt es schließlich nur einen Widerstand, in Schaltung 3 hingegen gleich drei. Mehr Widerstände verbrauchen mehr Strom!“ Die eigentliche Aussage von Jannis ist korrekt. Erkläre, was allerdings an seiner Begründung kritisiert werden kann.



Schaltung 1



Schaltung 2



Schaltung 3

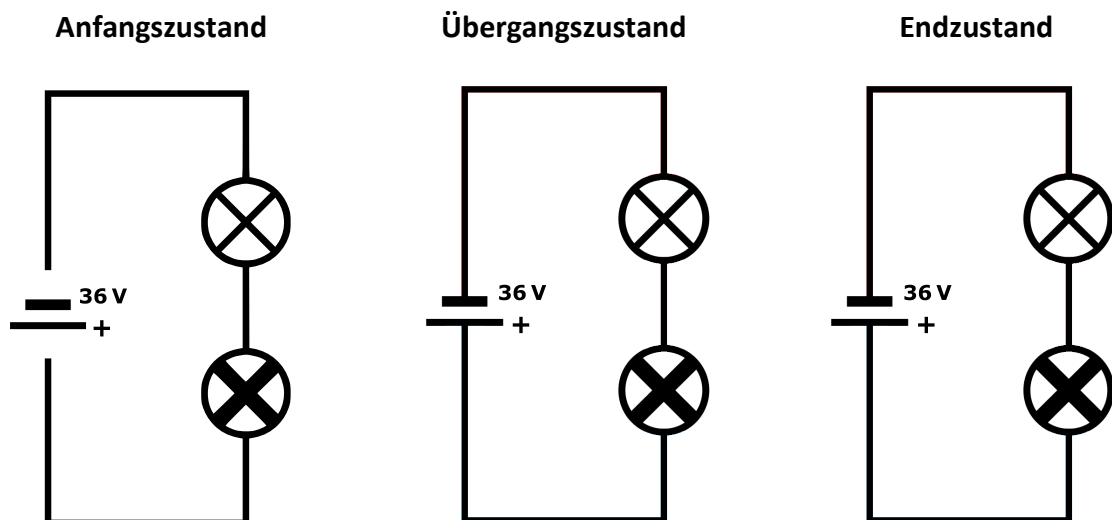
② Bei einem Lügendetektortest werden Elektroden an zwei Finger angeschlossen (siehe Bild). Das kannst du als Reihenschaltung von Widerständen auffassen: Die Haut am Übergang von Elektrode zum Finger (Widerstand 1), der eine Finger (Widerstand 2), der andere Finger (Widerstand 3) und die Haut am anderen Übergang (Widerstand 4). Beim Lügendetektortest wird dann der Gesamtwiderstand gemessen.



- Stelle eine Vermutung auf, wie der Schaltplan beim Lügendetektortest aussieht.
- Recherchiere, wie sich der elektrische Widerstand von Haut bei Stress verändert. Finde auch eine Begründung.
- Erkläre, weshalb der Gesamtwiderstand sinkt, wenn jemand lügt.

③ Betrachte die unten dargestellten Schaltpläne.

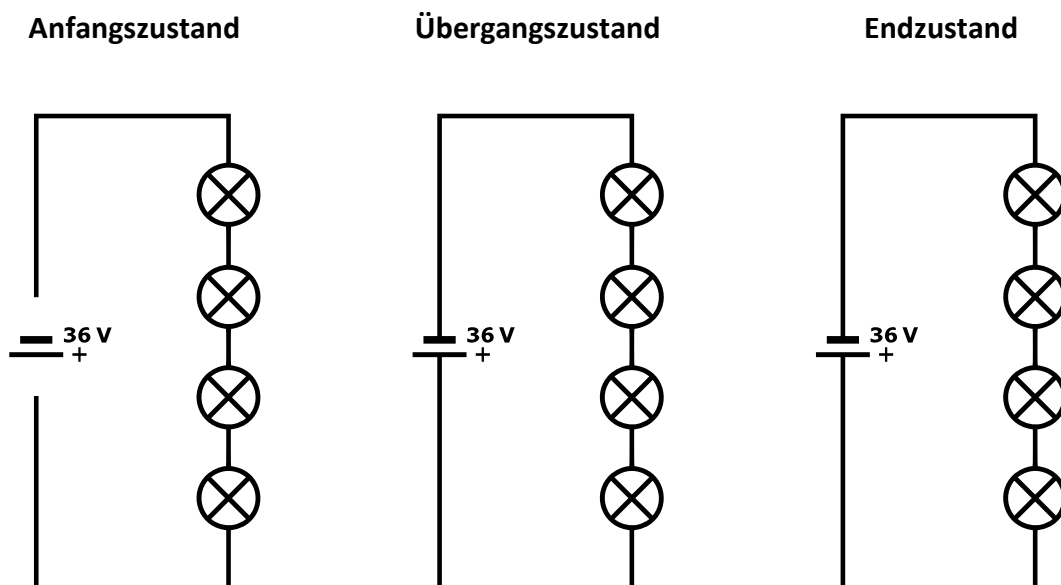
- Zeichne mithilfe der Farbdarstellung ein, wie sich die elektrischen Drücke in den einzelnen Leiterabschnitten vom Anfangszustand zum Endzustand verändern.
- Begründe dann mithilfe der elektrischen Druckunterschiede, warum im Endzustand die Intensität der Elektronenströmung durch beide Lämpchen gleich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



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

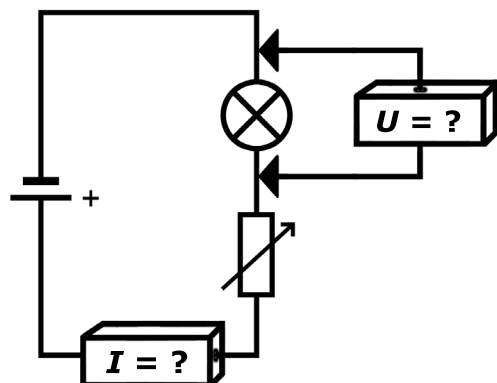
④ Betrachte die unten dargestellten Schaltpläne mit vier identischen Lämpchen.

- Zeichne mithilfe der Farbdarstellung ein, wie sich die elektrischen Drücke in den einzelnen Leiterabschnitten vom Anfangszustand zum Endzustand verändern.
- Begründe, ob das oberste oder unterste Lämpchen im Übergangszustand zuerst leuchtet – oder beide gleichzeitig!
- Begründe mithilfe 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) mithilfe der an den Lämpchen anliegenden Druckunterschieden.
- Das kaputte Lämpchen wird aus der Schaltung entfernt und der Stromkreis wieder geschlossen. Erkläre einmal mithilfe des Gesamtwiderstands und einmal mithilfe der anliegenden elektrischen Druckunterschiede, warum die verbleibenden drei Lämpchen jetzt heller leuchten.

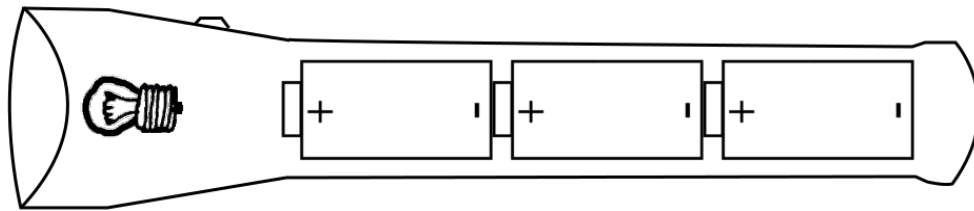


⑤ Betrachte die Schaltung rechts.

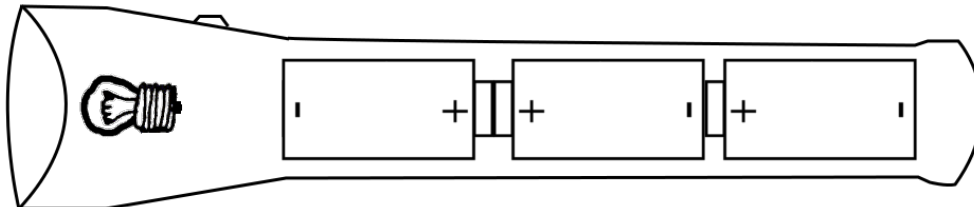
- Angenommen, der variable Widerstand und das Lämpchen haben zunächst den gleichen Widerstandswert R . Begründe, was das für die Spannung bedeutet, die an dem Lämpchen und dem variablen Widerstand anliegt.
- Nun wird der Widerstandswert R des variablen Widerstands immer weiter erhöht. Erläutere, wie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



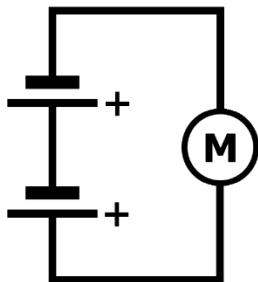
⑥ Betrachte die unten dargestellte Skizze einer Taschenlampe.



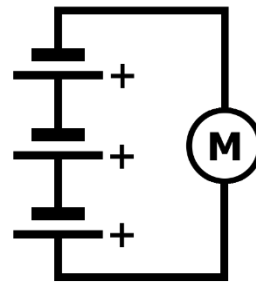
- Zeichne die nötigen Verbindungskabel ein, sodass das Lämpchen leuchten kann.
- Gib an, wie groß die Gesamtspannung in der oberen Darstellung ist, wenn jede der in Reihe geschalteten Batterien eine Spannung von $U = 1,5 \text{ V}$ besitzt.
- Begründe, warum es z.B. bei Taschenlampen von Vorteil ist,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



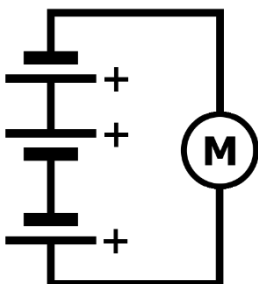
⑦ Sortiere die unten dargestellten Schaltungen von Batterien danach, wie schnell sich der Motor jeweils dreht (Reihenfolge: von langsam nach schnell). Gib für jede Schaltung die erzeugte Gesamtspannung an, wenn jede Batterie eine Spannung von $U = 1,5 \text{ V}$ besitzt.



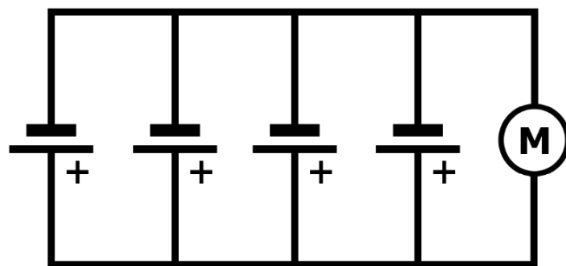
A



B



C



D

9) Das ohmsche Gesetz

Reisetipps für die USA

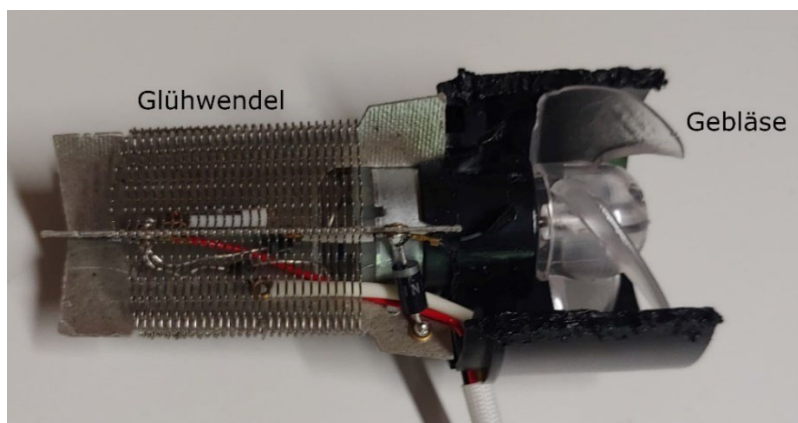
Fragdasforum.de	
ANNA dabei seit: Dezember 2019	Föhn in den USA nutzbar oder nicht? <i>Föhn von HDryer: HDryer 2509</i> Hallo, ich werde bald in die USA reisen und möchte meinen Föhn mitnehmen. Nun bin ich aber verwirrt, was die Volt-Zahl angeht: Auf meinem Föhn steht 115 V bis 120 V/230 V bis 240 V. Ich bin immer davon ausgegangen, dass Elektrogeräte in den USA mit einer Spannung von 120 V betrieben werden müssen, um zu funktionieren. Kann ich meinen Föhn nun gefahrlos benutzen oder nicht??? LG Anna
PAUL dabei seit: August 2018	Hallo Anna, ich war letztes Jahr in den USA. Dort habe ich die Erfahrung gemacht, dass ich meinen Föhn mit einem Adapter zwar an die Steckdosen anschließen konnte, aber nur ein sehr laues Lüftchen rausgekommen ist. ... Haare trocknen konnte ich also vergessen! ☹ LG Paul

Warum kommt aus dem aus Deutschland mitgebrachten Föhn in den USA nur ein „laues Lüftchen“?



Damit wir den Grund für das „laue Lüftchen“ verstehen können, müssen wir zuerst verstehen, wie ein Reiseföhn funktioniert.

Ein Reiseföhn besteht in seinem Inneren im Wesentlichen aus zwei Teilen: Einer Glühwendel und einem Gebläse (siehe Abbildung).



Schließt man den Föhn an eine Steckdose an, so bewirkt der elektrische Druckunterschied eine Elektronenströmung durch die Glühwendel. Dadurch wird die Glühwendel stark erhitzt, wodurch sich auch die Luft im Föhn erwärmt. Das Gebläse bläst die heiße Luft nach außen und wir können unsere Haare trocknen. Die Glühwendel besitzt wie jedes Bauteil in einem elektrischen Stromkreis einen Widerstandswert R .

Ist der Widerstandswert R konstant?

Wie bei der Glühwendel hängt der Widerstandswert R bei den meisten Metallen 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 Zusammenstößen 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.

Beispiel

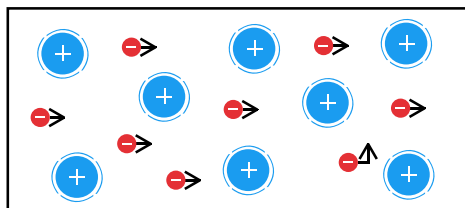
Die Spannung U an einer Glühwendel wird schrittweise erhöht. Dabei wird jeweils die zugehörige Intensität der Elektronenströmung I gemessen. Anschließend wird über die Formel

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

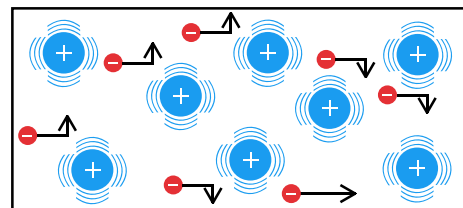
der Widerstandswert R bestimmt.

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.



kleinerer Widerstand



größerer Widerstand

Nicht-konstanter Widerstand: Mit zunehmender Intensität der Elektronenströmung kommt es zu einer höheren Temperatur im Leiter und damit zu stärkeren Schwingungen der Atomrümpfe. Dadurch kommt es häufiger zu Kollisionen der Elektronen mit den Atomrümpfen, weshalb der Widerstand im Bild rechts größer als im Bild links ist.

Gibt es Materialien mit konstantem Widerstandswert R ?

Das ohmsche 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 **ohmscher Widerstand**.

Bei einem ohmschen 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 ohmschen Widerständen proportional zur am Widerstand anliegenden Spannung U : $I \sim U$

Wenn ein ohmscher Widerstand vorliegt, kann man das **ohmsche Gesetz**

$$R = \text{konstant}$$

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

Im Beispiel rechts ist der Widerstandswert R bei einem ohmschen Widerstand immer konstant, also unabhängig von der Intensität der Elektronenströmung I und der Temperatur.

Beispiel

Die Spannung U an einem ohmschen 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 ohmschen Widerstand.

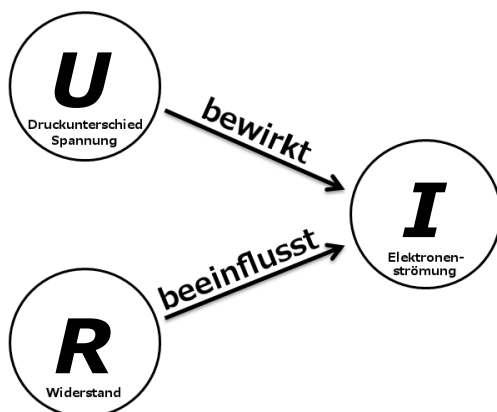
Wichtig: Fast alle Haushaltsgeräte (wie der Reiseföhn) sind **keine** ohmschen Widerstände!

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 **ohmschen Widerstand** ein elektrischer Druckunterschied U (=Spannung) an, so kannst du die daraus resultierende Intensität der Elektronenströmung I (= Stromstärke) ganz einfach mit der folgenden Gleichung berechnen:

Bekannter Wirkungszusammenhang



Gleichung zur Berechnung der Stromstärke I

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

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

Beispiel

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

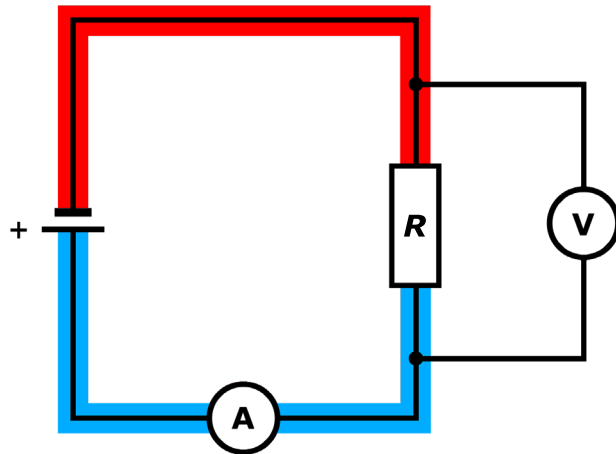
$$I = \frac{U}{R} = \frac{12\text{ V}}{3\ \Omega} = 4\text{ A}$$

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 A und ein Voltmeter V, die ab nun verwendet werden

Der Reiseföhn

Wie du schon weißt, werden in den USA und in Europa unterschiedliche Netzspannungen verwendet: in den USA 120 V und in Europa 230 V . Wenn du also einen Reiseföhn an eine Steckdose in den USA ansteckst, liegt an diesem ein geringerer elektrischer Druckunterschied an als in Europa.

Anna hat nun in der Schule gelernt, was ein ohmscher Widerstand ist. Sie weiß auch, dass **ihr Reiseföhn kein ohmscher Widerstand ist**, weil der Widerstand nicht konstant ist. Trotzdem möchte sie die Stromstärke **näherungsweise** berechnen. Obwohl sie weiß, dass der Widerstand nicht konstant ist, nimmt sie für ihre näherungsweise Berechnung einen konstanten Widerstand von $R = 23\ \Omega$ an.

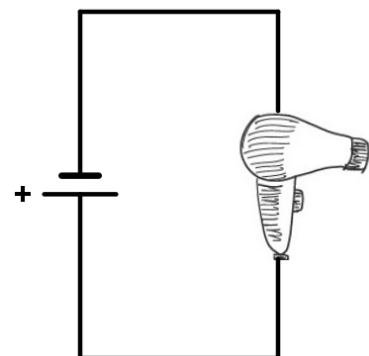
Zunächst schließen wir unseren Reiseföhn an eine Steckdose in den USA an. Es herrscht also ein elektrischer Druckunterschied von 120 V . Wie groß ist die Stromstärke durch den Föhn?

$$I = \frac{U}{R} = \frac{120\text{ V}}{23\ \Omega} \approx 5,2\text{ A}$$

Jetzt schließen wir unseren Reiseföhn in Europa an. Es herrscht also ein elektrischer Druckunterschied von 230 V .

Wie groß ist nun die Stromstärke durch den Föhn?

$$I = \frac{U}{R} = \frac{230\text{ V}}{23\ \Omega} = 10\text{ A}$$



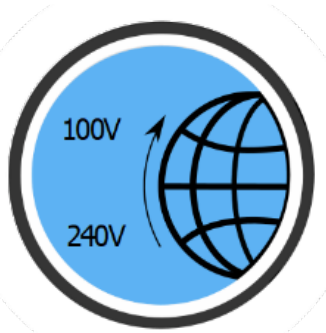


Warum erzeugt der Föhn in den USA nur ein laues Lüftchen?

Wenn Anna ihren europäischen Föhn also in den USA verwendet, kommt es nur zu einer geringen Stromstärke, weil die Netzspannung in den USA geringer ist. Da die elektrische Leistung von der Stromstärke und der Spannung abhängt, erzeugt ihr europäischer Föhn in den USA daher nur ein „laues Lüftchen“.



Viele Reiseföhns verfügen deshalb heutzutage über einen Schalter, mit dem sie auf die im jeweiligen Land verwendete Netzspannung eingestellt werden können (siehe Abbildung unten). Reiseföhns mit dieser Funktion können sowohl in den USA als auch in Europa betrieben werden.



Aufkleber für umschaltbare Netzspannung



Umschalter für die Netzspannung auf einem Föhn

Durch das Umschalten wird der Widerstand im Föhn so verändert, dass die Stromstärke (= Elektronenströmung) bei der jeweiligen Spannung (= elektrischen Druckunterschied) groß genug ist, damit der Föhn ordnungsgemäß funktioniert. Um einen europäischen Föhn bei den 120 V Netzspannung der USA (statt 230 V in Europa) benutzen zu können, muss also der Widerstand entsprechend verkleinert werden. Dann kommt es bei 120 V Netzspannung trotzdem zu einer Stromstärke, die groß genug ist, damit der Föhn ordnungsgemäß funktioniert.

Vergisst Anna aber nach ihrem Urlaub, den Schalter wieder auf die höhere europäische Netzspannung von 230 V umzustellen, käme es infolge des geringen Widerstands zu einer zu großen Stromstärke und der Föhn würde überhitzen.

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 ohmschen Widerständen aus der Spannung U und dem Widerstandswert R mithilfe 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	

- a) Begründe, ob einer der beiden Widerstände ein ohmscher Widerstand ist. Beschreibe in deinen eigenen Worten den Unterschied zwischen einem ohmschen Widerstand und einem nicht-ohmschen Widerstand.
- b) Gib an, wie sich die Stromstärke durch einen ohmschen Widerstand verändert, wenn die anliegende Spannung verdoppelt wird.
- c) Gib an, wie sich die Stromstärke durch einen Widerstand, der kein ohmscher Widerstand ist, verändert, wenn die anliegende Spannung verdoppelt wird.
- d) Du wirst gebeten, für Widerstand A und Widerstand B die Stromstärke bei einer Spannung von 20 V auszurechnen. Diskutiere, inwiefern das bei Bauteil A bzw. Bauteil B möglich ist.

② Berechnung der Stromstärke (= Intensität der Elektronenströmung)

- a) An eine Batterie mit einer Spannung von $U = 9 \text{ V}$ wird ein ohmscher Widerstand von $R = 3 \Omega$ angeschlossen. Berechne die Stromstärke I durch diesen Widerstand.
- b) Begründe ohne zu rechnen anhand der Gleichung $I = \frac{U}{R}$, ob die Stromstärke I ab- oder zunimmt, wenn die Spannung U an einem ohmschen Widerstand R vergrößert wird.
- c) Berechne, wie sich die Stromstärke I durch einen ohmschen Widerstand mit $R = 2 \Omega$ verändert, wenn die anliegende Spannung U schrittweise auf folgende Werte erhöht wird:

$$U = 6 \text{ V}; \quad U = 8 \text{ V}; \quad U = 10 \text{ V}; \quad U = 12 \text{ V}.$$

Diskutiere, inwiefern sich die Ergebnisse deiner Berechnungen mit deinen Überlegungen von Aufgabenteil b) decken.

- d) Begründe ohne zu rechnen anhand der Gleichung $I = \frac{U}{R}$, ob die Stromstärke I ab- oder zunimmt, wenn der Widerstandswert R bei konstanter Spannung U erhöht wird.
- e) Berechne die Stromstärke I , die bei einer konstanten Spannung von $U = 20 \text{ V}$ durch die folgenden ohmschen Widerstände R fließt:

$$R = 2 \, \Omega; \quad R = 4 \, \Omega; \quad R = 5 \, \Omega; \quad R = 10 \, \Omega.$$

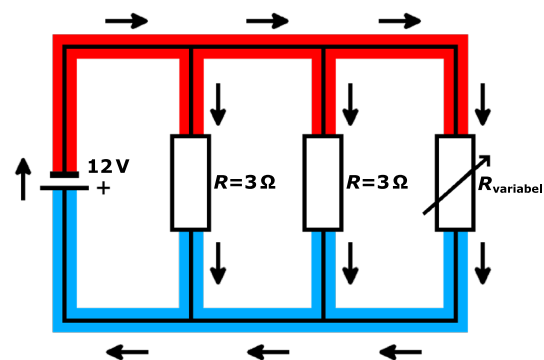
Diskutiere, inwiefern sich die Ergebnisse deiner Berechnungen mit deinen Überlegungen von Aufgabenteil d) decken.

- f) Finde für einen ohmschen Widerstand drei mögliche Kombinationen von Spannung U und Widerstandswert R , sodass es zu einer Stromstärke von $I = 5 \text{ A}$ kommt. Erkennst du einen Zusammenhang zwischen den drei Kombinationen? Erkläre den Zusammenhang mithilfe des Modells des elektrischen Drucks.

③ Marisa, Thomas und Achmet sind gemeinsam im Urlaub in den USA. Sie sind auf dem Sprung ins Kino und möchten sich gleichzeitig die Haare föhnen. Sie verwenden einen Mehrfachstecker im Bad ihres Hostels. Der Föhn von Thomas hat unterschiedliche Leistungsstufen. Für die unterschiedlichen Stufen weist die Glühwendel des Föhns unterschiedliche Widerstandswerte R auf. Betrachte die Parallelschaltung der Haartrockner unten. Der stufenverstellbare Föhn von Thomas ist mit R_{variabel} bezeichnet, weil der Widerstandswert der Glühwendel variabel, d.h. verstellbar ist.

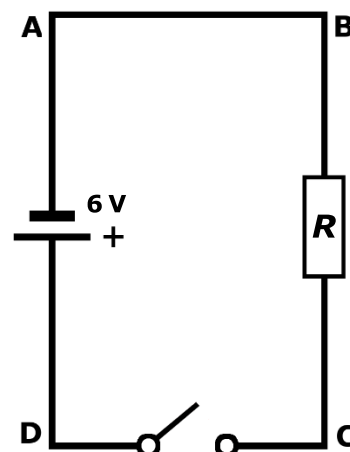
- a) Zunächst verwendet Thomas die niedrigste Stufe. Der Widerstandswert R_{variabel} der Glühwendel beträgt dabei $12 \, \Omega$. Berechne die Stromstärke an den verschiedenen Pfeilen der Schaltung.
- b) Erläutere ohne Rechnung, wie sich die Stromstärken an den Pfeilen verändern, wenn Thomas seinen Föhn auf die zweite Stufe einstellt und sich somit der Widerstandswert auf $R_{\text{variabel}} = 6 \, \Omega$ halbiert.
- c) Berechne nun die Stromstärke an den verschiedenen Pfeilen für die in b) beschriebene Situation.

- d) Gib die Stromstärken an den Pfeilen an, wenn Thomas seinen Föhn von der Mehrfachsteckdose absteckt.



④ Der Einschaltknopf eines Föhns funktioniert wie ein elektrischer Schalter (siehe Schaltskizze rechts). Der Widerstand steht für die Glühwendel des Föhns.

- a) Gib an, wie groß die Spannung bei ausgeschaltetem Föhn zwischen den folgenden Punkten ist:
- A und B
 - B und C
 - C und D
 - D und A
- b) Gib die Spannung zwischen den oben genannten Punkten bei eingeschaltetem Föhn an.

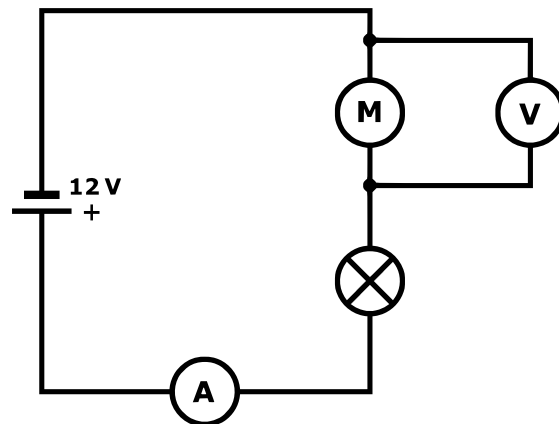


10) Übungen zur Wiederholung und Vertiefung

① Schaltung mit Lämpchen und Motor

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

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



② Herleitung der Formel zur Berechnung des Ersatzwiderstands bei Parallelschaltungen

Du weißt bereits: Bei Reihenschaltungen kannst du den Ersatzwiderstand ganz leicht durch das Aufaddieren der einzelnen Widerstände berechnen (siehe Seite 41). Bei Parallelschaltungen geht das etwas anders. Das sollst du dir in dieser Aufgabe selbst herleiten.

Du weißt: Die gesamte Stromstärke I_{gesamt} ergibt sich aus der Summe der einzelnen Ströme durch die parallel geschalteten Widerstände:

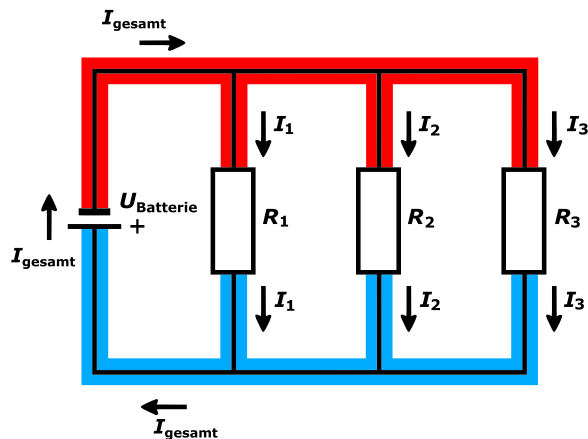
(A) $I_{\text{gesamt}} =$

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

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

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

(C) $I_{\text{gesamt}} = \frac{U_{\text{Batterie}}}{R_{\text{Ersatz}}}$



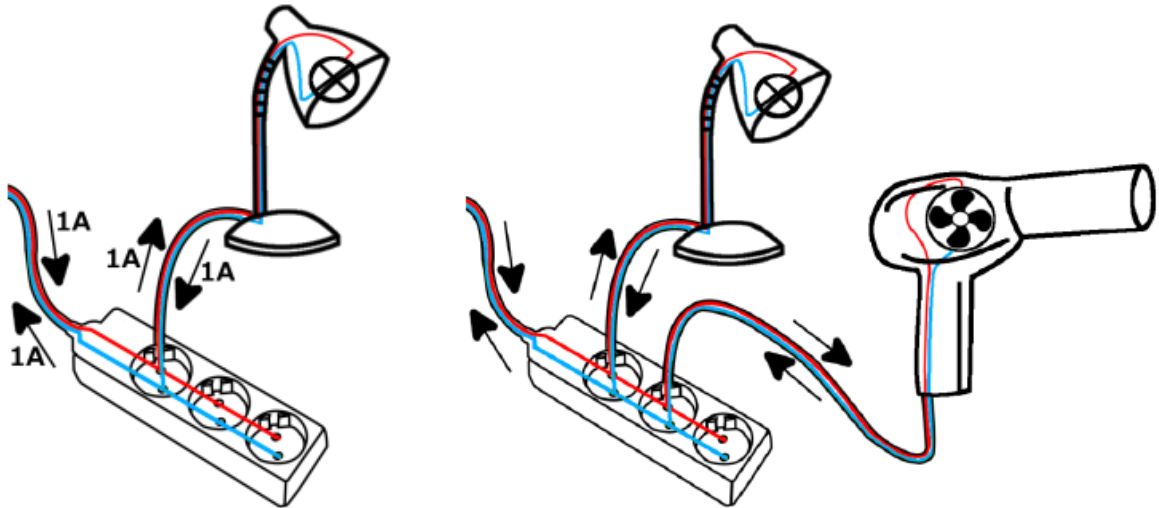
Vervollständige die Gleichungen (A) und (B). Leite die Formel zur Berechnung des Ersatzwiderstands her, indem du (B) und (C) in die Gleichung (A) einsetzt. Dann musst du nur noch einen Schritt vornehmen und erhältst:

$$\frac{1}{R_{\text{Ersatz}}} = \dots$$

Die Lösung findest du auf Seite 37.

③ Die Gefahr von Mehrfachsteckdosen

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



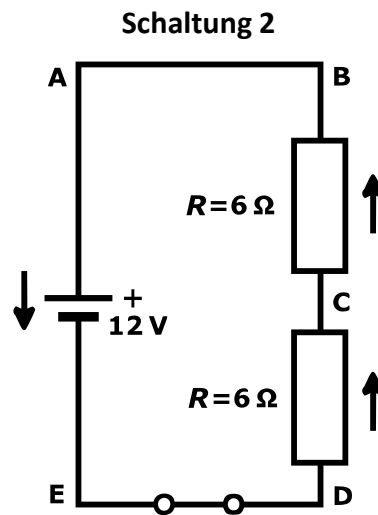
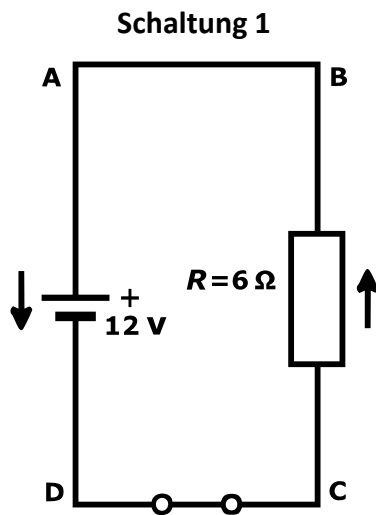
Nun wird zusätzlich ein Föhn mit einer Stromstärke von 7 A an die Mehrfachsteckdose angeschlossen (siehe rechtes Bild).

- Benenne, wie die Lampe und der Föhn verschaltet sind.
- Schreibe die Stromstärke bei Föhn, Lampe und Mehrfachsteckdose an die Pfeile.
- Vergleiche den Gesamtwiderstand von Lampe und Föhn in der obigen Situation mit den Einzelwiderständen von Lampe und Föhn, wenn diese jeweils über eine separate Steckdose betrieben werden.
- Begründe, warum der Föhn nicht ausgeht, wenn der Glühdraht der Lampe durchbrennt, die Lampe also kaputtgeht.
- Angela schließt an die noch freie Steckdose der Mehrfachsteckdose eine weitere Mehrfachsteckdose mit neun Steckdosen an, um damit weitere Elektrogeräte zu betreiben (z.B. einen Wasserkocher und einen Staubsauger). Beschreibe, wie sich hierdurch die Stromstärke durch die Zuführungskabel der ursprünglichen Mehrfachsteckdose ändert und begründe, warum das gefährlich ist!

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

④ Spannung und Stromstärke in Reihenschaltungen

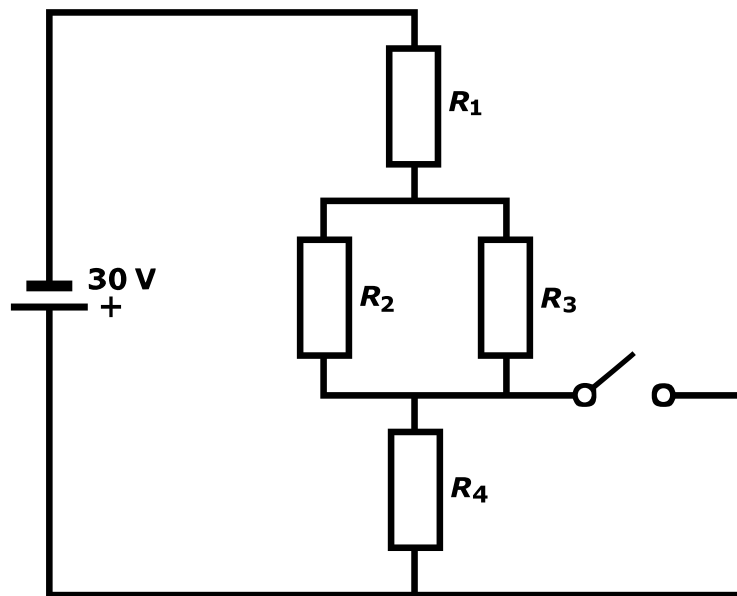
In Schaltung 1 befindet sich ein ohmscher Widerstand mit Widerstandswert $R = 6\ \Omega$. Dann wird ein zweiter (gleicher) Widerstand hinzugefügt (Schaltung 2).



- a) Erkläre ohne zu rechnen, wie sich hierdurch die Stromstärke verändert. Argumentiere einmal mit der Spannung (= Druckunterschied) und einmal mit dem Gesamtwiderstand.
- b) Berechne nun die Stromstärke I für beide Schaltungen und überprüfe, ob das Ergebnis zu deiner Antwort zur Aufgabe a) passt.
- c) Begründe für beide Schaltungen, wo jeweils ein Amperemeter eingebaut werden kann, um die jeweilige Stromstärke zu messen.
- d) Gib die Spannung in Schaltung 1 zwischen den folgenden Punkten an:
 - A und B
 - B und C
 - C und D
 - D und A
- e) 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
- f) Nun wird der Schalter in beiden Schaltungen geöffnet. Gib an, was sich hierdurch an den Antworten auf die Fragen d) und e) verändert.
- g) Zeichne in Schaltplan 1 ein, wo ein Voltmeter eingebaut werden müsste, um die elektrische Spannung zum einen zwischen den Punkten B und C und zum anderen zwischen den Punkten C und D zu messen.

⑤ Gemischte Schaltung

Betrachte die untenstehende Schaltung mit vier gleichen ohmschen Widerständen.



- Vergleiche die Stromstärke durch R_1 mit der Stromstärke durch R_4 bei offenem Schalter.
- Vergleiche die Stromstärke durch R_1 mit der Stromstärke durch R_3 bei offenem Schalter.
- Der Schalter wird geschlossen. Erläutere, wie sich dadurch die Stromstärken durch R_1 und R_4 ändern.
- Vergleiche die Stromstärke durch R_1 , R_2 und R_3 bei geschlossenem Schalter.
- Was bedeutet das für die an R_1 , R_2 und R_3 anliegende Spannung? In welchem Verhältnis steht die Spannung an Widerstand R_1 im Vergleich zur Spannung, die jeweils an R_2 und R_3 anliegt, wenn der Schalter geschlossen ist?
- Basierend auf diesen Überlegungen: Wie groß muss die Spannung an R_1 sowie an R_2 bzw. R_3 sein, wenn der Schalter geschlossen ist?
- Jeder der vier verwendeten ohmschen Widerstände hat einen Widerstandswert von $R = 2\ \Omega$. Wie groß ist dann die Stromstärke durch R_1 sowie durch R_2 und R_3 , wenn der Schalter geschlossen ist?
- Berechne den Ersatzwiderstand von R_2 und R_3 .
- 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 R_3 größer oder kleiner wird, wenn bei offenem Schalter der Widerstand R_2 gegen einen ohmschen Widerstand mit doppelt so großem Widerstandswert ersetzt wird.
- Berechne für diesen Fall die Stromstärke durch den Widerstand R_4 .

⑥ Energieübertragung mit Stromkreisen

Stromkreise werden zur Übertragung von Energie genutzt (siehe Kapitel 1). Du kannst berechnen, wie viel Energie pro 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, erhältst du die Energiemenge, die pro Sekunde zu dem elektrischen Gerät übertragen wird (z.B. von einem Windpark zu einem Zug). Diese Größe nennt man elektrische Leistung P (= Power, engl. für Leistung). Sie wird in Watt (abgekürzt W) angegeben:

$$P = U \cdot I$$

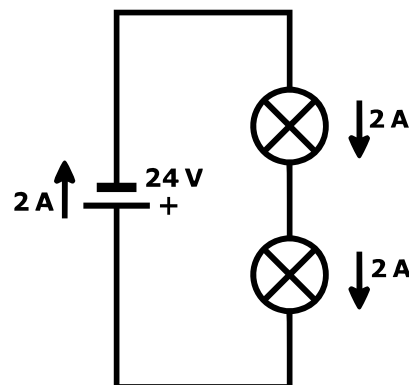
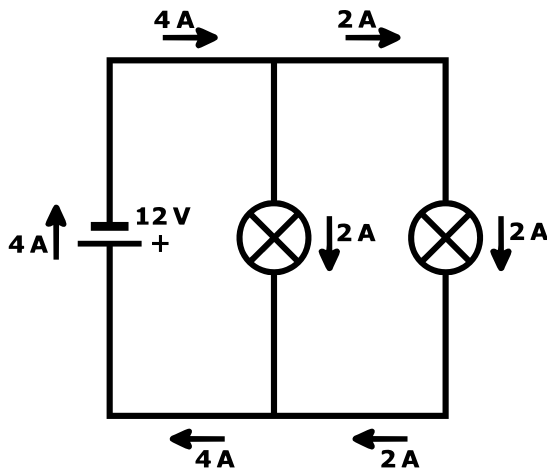
- Handys werden oft bei einer Spannung von 5 V und einer Stromstärke von 2 A geladen. Berechne die elektrische Leistung.
- Ein Hersteller wirbt mit einem Smartphone, das mit einer Stromstärke von 4,6 A und einer Spannung von 20 V geladen werden kann. Berechne die elektrische Leistung.
- In Zügen findet man neben Steckdosen oftmals den rechts abgebildeten Aufkleber. Begründe, ob das Smartphone aus Aufgabenteil b) dort aufgeladen werden kann.



- Begründe, ob man einen handelsüblichen Föhn an einer Zugsteckdose betreiben darf.

⑦ Die Leistung in Reihen- und Parallelschaltungen

Betrachte die unten dargestellte Parallel- und Reihenschaltung von jeweils zwei gleichen Lämpchen, die 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.

Exkurs: Der Defibrillator

Defibrillator – Ein Lebensretter in der Not

Bei Herzstillstand oder Herzrhythmusstörungen zählt jede Sekunde. Damit keine wertvolle Zeit bis zum Eintreffen des Notarztes verloren geht, wurde der Automatisierte Externe Defibrillator (AED) entwickelt. In Europa sind solche Defibrillatoren (kurz: „Defis“) mittlerweile an vielen öffentlichen Gebäuden und Plätzen verfügbar.

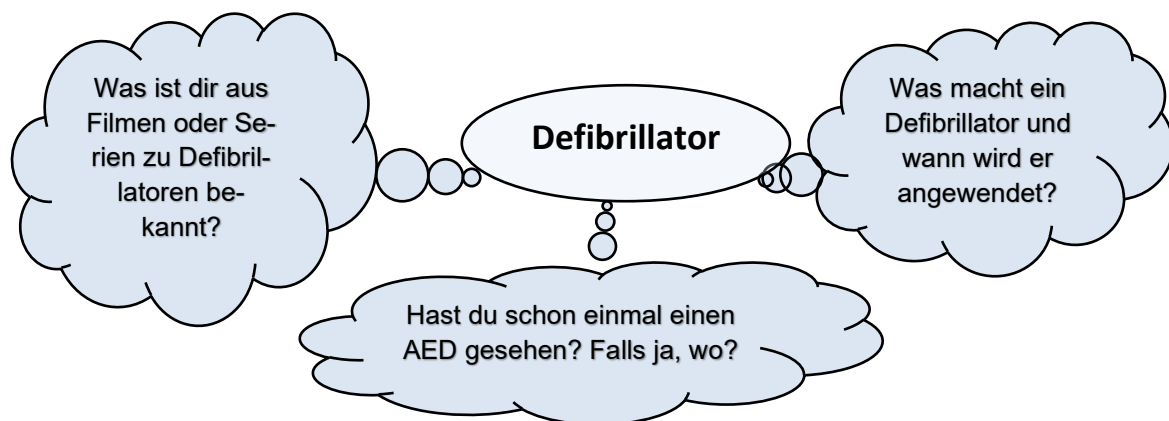
Die Bedienung eines AEDs ist durch Bilder und Sprachansagen selbsterklärend. Seit einigen Jahren gibt es auch Smartphone-Apps, die den Weg zu Standorten von AED-Geräten angeben.

**Doch wie funktioniert eigentlich ein Defibrillator?
Kann er gefährlich werden für die helfende Person?**



⑧ Grundlegendes zum Defibrillator

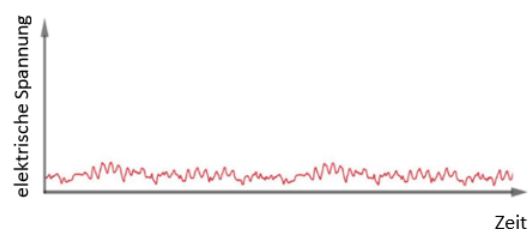
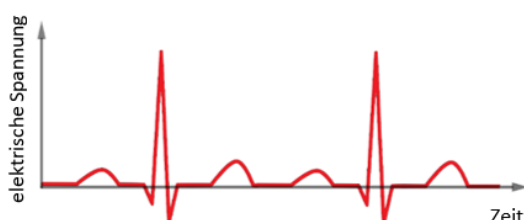
- a) Beschreibe, was du bisher über Defibrillatoren weißt. Beantworte dafür die Fragen in den Sprechblasen.



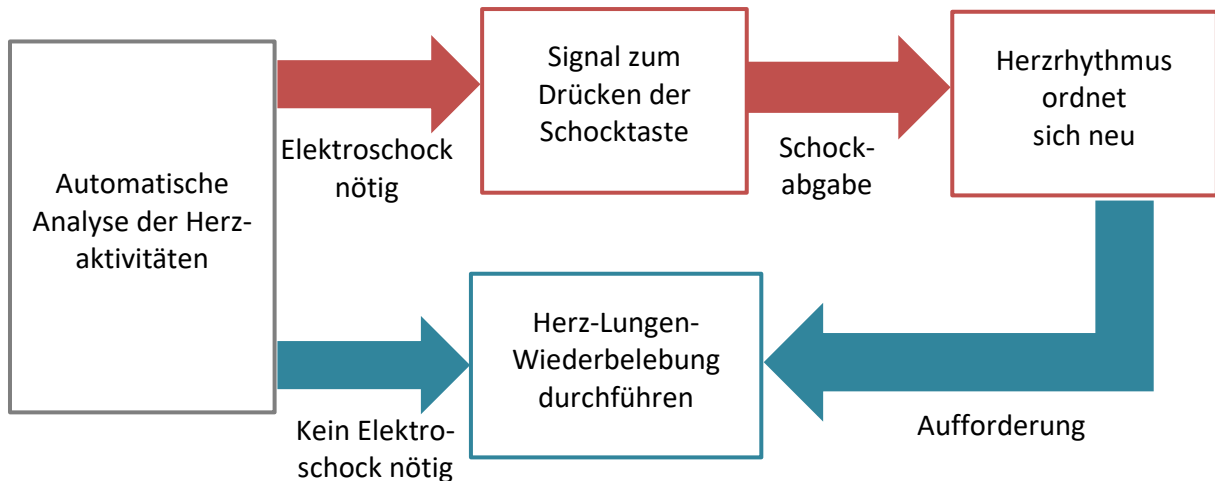
Bevor der Defibrillator eingesetzt wird, muss sichergestellt werden, dass die bewusstlose Person wirklich unter Herzrhythmusstörungen wie z.B. Kammerflimmern leidet. Dies kann mit einem EKG-Bild überprüft werden, das die elektrische Aktivität des Herzens anzeigt.

Genau gesagt gibt ein EKG-Bild die elektrische Spannung des Herzmuskels im Lauf der Zeit an. Unten sind zwei EKG-Bilder dargestellt. Eines davon beschreibt ein gesundes Herz, das andere zeigt ein Kammerflimmern.

- b) Entscheide, welches EKG-Bild von einem gesunden Herz stammt und welches von einem Herz mit Kammerflimmern.



Ob ein Herzkammerflimmern vorliegt, wird von einem AED automatisch festgestellt. Wenn der AED mithilfe eines automatischen EKGs ein Kammerflimmern erkennt, gibt er gezielte Elektroschocks ab, um das Kammerflimmern zu unterbrechen. Hierzu müssen zwei Klebeelektroden an die bewusstlose Person im Brustbereich angebracht werden. Die Wiederbelebung mithilfe eines AED läuft dabei nach folgendem Schema ab:



- c) Beschreibe, wo du schon einmal einen AED in deiner Umgebung gesehen hast. Welche Besonderheiten sind dir am AED aufgefallen bzw. in Erinnerung geblieben? Informiere dich, ob deine Schule einen AED hat.

⑨ Stellt der Defibrillator für helfende Personen eine potenzielle Gefahr dar?

In Filmen oder Serien hört man oft den Satz „Defi geladen, alle weg – Schock!“. Auch Personen, die einen AED verwenden, dürfen die bewusstlose Person während des „Elektroschocks“ nicht berühren. Berührt der Helfer oder die Helferin die bewusstlose Person mit beiden Händen, so ist der Helfer – sehr vereinfacht gesagt – zur bewusstlosen Person „parallel geschaltet“.



Um herausfinden zu können, wie gefährlich die Berührung der bewusstlosen Person ist, müssen wir zuerst wissen, welche Stromstärken entstehen können. Dies gelingt durch die Berechnung eines sogenannten Ersatzwiderstandes (siehe S. 37).

Der Ersatzwiderstand R_{Ersatz} bei Parallelschaltungen kann mithilfe der parallel geschalteten Widerstände $R_1, R_2, R_3, \dots$ berechnet werden:

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

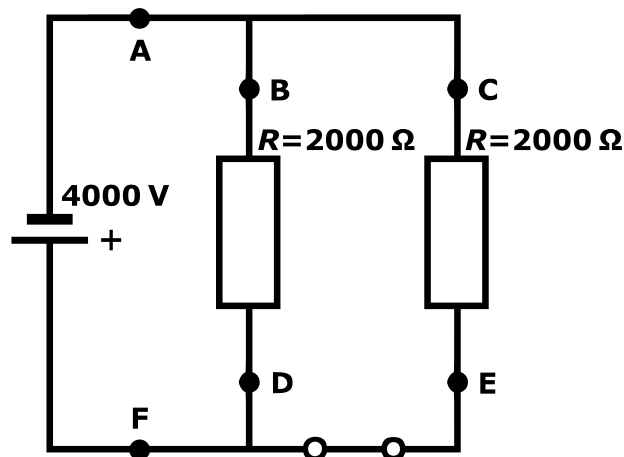
Anwendung der Formel zur Berechnung des Ersatzwiderstands bei Parallelschaltungen

Mithilfe dieser Formel können wir einschätzen, welche Stromstärke aufgrund der elektrischen Spannung insgesamt vorliegt, wenn die bewusstlose Person während des Betätigens des Defibrillators berührt wird. Der elektrische Widerstandswert von Menschen und Tieren hängt natürlich von vielen Dingen ab, z.B. davon, wo der Stromfluss im Körper stattfindet, ob die Haut feucht ist oder auch von der Körpergröße.

Um einen genauen Wert geht es uns hier jedoch nicht. Wir möchten nur herausfinden, ob die Berührung der bewusstlosen Person gefährlich sein kann. Daher nehmen wir als Vereinfachung an, dass wir es mit ohmschen Widerständen zu tun haben. Konkret nehmen wir für die bewusstlose und helfende Person einen durchschnittlichen Widerstandswert von jeweils $R = 2000 \, \Omega$ an.

Betrachte die nachfolgende Darstellung einer Parallelschaltung. Die beiden Widerstände stehen dabei für die bewusstlose und die helfende Person. Die Spannungsquelle steht für den Defibrillator aus unserem Beispiel. Wir nehmen an, dass beide Personen keinen leitenden Kontakt zum Boden haben, also nicht „geerdet“ sind.

Bestimme zunächst bei den nachfolgenden Aufgaben a) bis d) die richtige Lösung und begründe deine Antwort.



- 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) Wir fassen die beiden Personen jetzt als ohmsche Widerstände auf.
- Berechne die Stromstärke durch die Punkte D bzw. E.
 - Berechne die Stromstärke durch die Punkte A bzw. F.
- g) Nun lässt die helfende Person die bewusstlose Person mit einer Hand los, weshalb im obigen Schaltplan der Schalter geöffnet wird. Sie hat also nur noch mit einer Hand Kontakt mit ihr. Gib an, wie dies die Antworten bei e) und f) verändert.
- h) Die beiden einzelnen Widerstände der Parallelschaltung bei geschlossenem Schalter sollen durch einen einzigen Ersatzwiderstand ersetzt werden. Berechne den Widerstandswert R des Ersatzwiderstandes.
- i) Kann der Defibrillator die helfende Person gefährden?
Für wie groß schätzt du auf Basis der Rechnungen die Gefahr für die helfende Person bei der Benutzung eines Defibrillators ein? Ist die Stromstärke, die der Defibrillator aufbringt, hoch genug, um die helfende Person bei Berührung des Bewusstlosen zu gefährden? Vergleiche deine Schlussfolgerung mit dem, was du in einer Recherche in vertrauenswürdigen Quellen herausfindest. Diskutiere auch, inwieweit die für die Rechnung getroffenen Annahmen realistisch sind.

Bildquellen

Seite	Beschreibung	Lizenz	Quelle
Cover	Electric Eel (by Scott)	CC BY-SA 2.0	https://www.flickr.com/photos/skippy/29144192/
1	Autoscooter	Pixabay License	https://pixabay.com/de/photos/jahrmarkt-rummelplatz-autoscooter-363975/
1	Netz & Schleifkontakt	Pixabay License	https://pixabay.com/de/photos/jahrmarkt-rummelplatz-autoscooter-363975/
1	Unterseite Autoscooter (by Philip Bosma)	CC BY 3.0	https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Onderkant_botsauto.jpg
1	Stahlbürste (by Philip Bosma)	CC BY 3.0	https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Onderkant_botsauto.jpg
1,6,9,12, 17,24,31, 41,53,65	Fragezeichenmännchen	Pixabay License	https://pixabay.com/de/illustrations/fragezeichen-frage-antwort-1019820/
3,7,10, 14,18,26, 32,33,43, 57	Ausrufungszeichenmännchen	Pixabay License	https://pixabay.com/de/illustrations/fragezeichen-frage-hilfe-antwort-2314115/
3	Auto tanken	Pixabay License	https://pixabay.com/de/photos/tanken-tankstelle-zapfs%C3%A4ule-benzin-2157211/
5	Föhn	©	Sarah Zloklikovits
5	Lampe	©	Sarah Zloklikovits
5	Der heiße Draht	CC BY 3.0 DE	http://www.supra-lernplattform.de/images/stories/Elektrizitaet/doks/ue2b_geschspiel.pdf
9	Schlag an Türklinke	©	Sarah Zloklikovits
10	Elektrischer Druck bei Türklinke	©	Sarah Zloklikovits
12,14	Electric Eel (by Scott)	CC BY-SA 2.0	https://www.flickr.com/photos/skippy/29144192/
17f	Nebelschlussleuchte (by HyperbolicSheet)	CC BY-SA 3.0	https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/80/RearFogLightMercedes.png/1200px-RearFogLightMercedes.png
20	Autobatterie	Pixabay License	https://pixabay.com/de/vectors/autobatterie-batterien-drei-akku-306959/
24	Fossil	Pixabay License	https://pixabay.com/de/photos/antike-tierarch%C3%A4ologie-knochen-21607/
25	Knochen in Schaltung	Pixabay License	https://pixabay.com/de/vectors/knochen-hund-skelett-157272/
31	Wolf	Pixabay License	https://pixabay.com/de/photos/wolf-predator-tierwild-2952937/

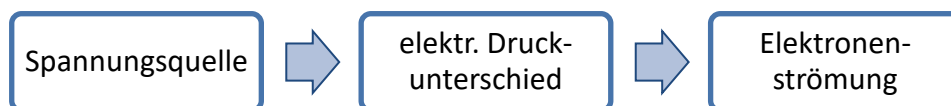
31ff	ClipArt eines Pferds (by Frankes), Wolfs (by Frankes) und Blitzes (by ZaWertun)	Public Domain	https://openclipart.org/detail/215071/wolf-coloured https://openclipart.org/detail/220784/horse-coloured https://openclipart.org/detail/190134/lightning
36	Haus mit Weihnachtsbeleuchtung	Pixabay License	https://pixabay.com/de/photos/weihnachtshaus-nacht-xmas-lights-554727/
39	ClipArt eines Straußes	Pixabay License	https://pixabay.com/de/vectors/tier-australien-vogel-emu-2024308/
40	Rotes Licht auf der Signallampe (by Bnielsen)	Public Domain	https://openclipart.org/detail/88123/led-red
41	Abbildung zweier Knie mit Reizstrom	©	Thomas Wilhelm
41ff	Alle Zeichnungen zu Schaltplänen mit Reizstrom am Knie	©	Sarah Zloklikovits
46f	Hand	Public Domain	https://openclipart.org/detail/177491/pointing-finger
50	Lügendetektortest	©	Lafayette Instruments
56f	Föhn	©	Franziska Keursten
57	Umschalter für Netzspannung auf Föhn	©	Franziska Keursten
65	EKG-Bilder zu Kammerflimmern	©	Franziska Keursten
66	Defibrillator	Pixabay License	https://pixabay.com/de/photos/powerheart-aed-defibrillator-2420178/
Klappen-text	Mitte: Electric Eel (by Scott)	CC BY-SA 2.0	https://www.flickr.com/photos/skippy/29144192/
Klappen-text	ClipArt eines Pferds (by Frankes), Wolfs (by Frankes) und Blitzes (by ZaWertun)	Public Domain	https://openclipart.org/detail/215071/wolf-coloured https://openclipart.org/detail/220784/horse-coloured https://openclipart.org/detail/190134/lightning

Wichtige physikalische Größen

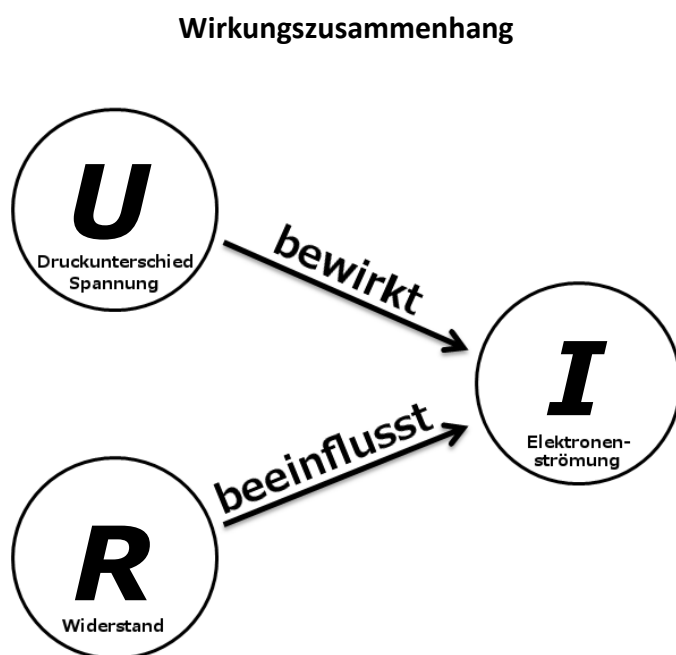
Physikalische Größe	Formelzeichen	Einheit	Erklärung
Elektrische Spannung („Elektrischer Druckunterschied“)	<i>U</i>	V (Volt)	S. 13-14
Stromstärke („Intensität der Elektronenströmung“)	<i>I</i>	A (Ampere)	S. 18-19
Elektrischer Widerstand (engl: „Resistance“)	<i>R</i>	Ω (Ohm)	S. 25-26

Batterien als Spannungsquellen

Batterien und Steckdosen sind Spannungsquellen, d.h. sie sorgen für eine bestimmte elektrische Spannung („elektrischen Druckunterschied“) und nicht für eine bestimmte Elektronenströmung. Dies wird deutlich, wenn du dir die Erklärungen auf Seite 32 bis 34 anschaust.



Berechnung der Stromstärke bei ohmschen Widerständen



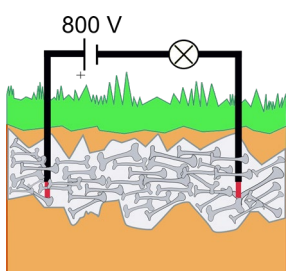
Gleichung zur Berechnung
der Stromstärke *I*

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

Eine Einführung in die Elektrizitätslehre mit Potenzial und Kontexten

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. Hierzu werden die physikalischen Inhalte an diversen spannenden Kontexten u.a. aus der Biologie, der Medizin, der Goelektrik sowie technischen Fragestellungen erarbeitet. Auf diese Weise soll den Schülerinnen und Schülern die große Bedeutung der Elektrizität für Natur und Gesellschaft aufgezeigt werden.

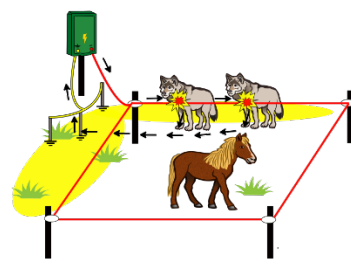
Aus physikalischer Sicht wird in der Unterrichtskonzeption besonderer Wert daraufgelegt, den Lernenden eine anschauliche Vorstellung der elektrischen Spannung und ihrer Bedeutung in Hinblick auf den elektrischen Strom zu ermöglichen. Hierzu wird das elektrische Potenzial mit dem Luftdruck bzw. dem sogenannten „elektrischen Druck“ in einem Leiter verglichen und die elektrische Spannung dementsprechend als „elektrischer Druckunterschied“ noch vor dem elektrischen Strom eingeführt.



Wie finden Archäologen
Dinosaurierknochen?



Sind elektrische Fische ge-
fährlich für Menschen?



Wie können Pferde vor
Wölfen geschützt werden?

ISBN 978-3-00-063423-9

