



# Lehrkraft

## Skript zur Elektrizitätslehre

Download der PUMA : Spannungslabor Applikation  
<https://t1p.de/PUMA-1>



Browser-Version der Simulation PUMA  
<https://www.physik.app/spannungslabor/index.html>

Verwendete Symbole:



Experiment



PUMA-AR-App verwenden



PUMA-Simulation verwenden

# 1. Die Spannung



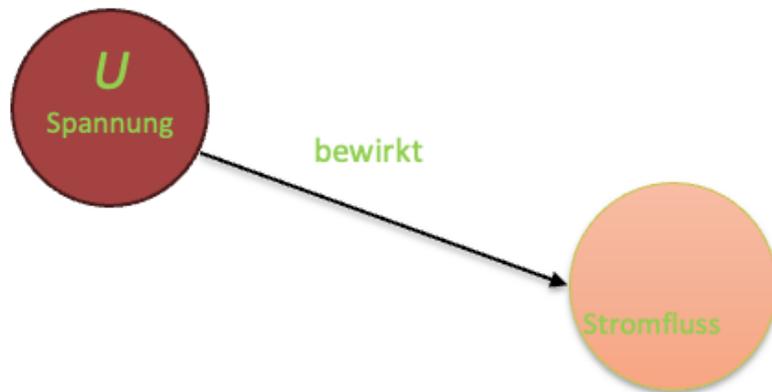
## Experiment: Die Lampe soll leuchten!

Um z.B. eine Glühlampe zum Leuchten zu bringen, benötigt man einen Antrieb. Die elektrische **Spannung** (z.B. einer Batterie) verrät uns die Stärke dieses Antriebs. Nur durch diesen Antrieb kann ein elektrischer Strom fließen und die Lampe leuchten.



Formelzeichen Spannung:  $U$

Einheit:  $[U] = 1 \text{ V}$  (sprich „Volt“)



## Verschiedene Batterien im Stromkreis

Fragestellung: Wie ändert sich die Lämpchen-Helligkeit, wenn man verschiedene Batterien (mit verschiedenen Spannungen) verwendet?

Beobachtung:

Je größer die Spannung (d.h. je **stärker** der Antrieb), desto **heller** leuchtet die Lampe (und desto **größer** ist der Stromfluss)

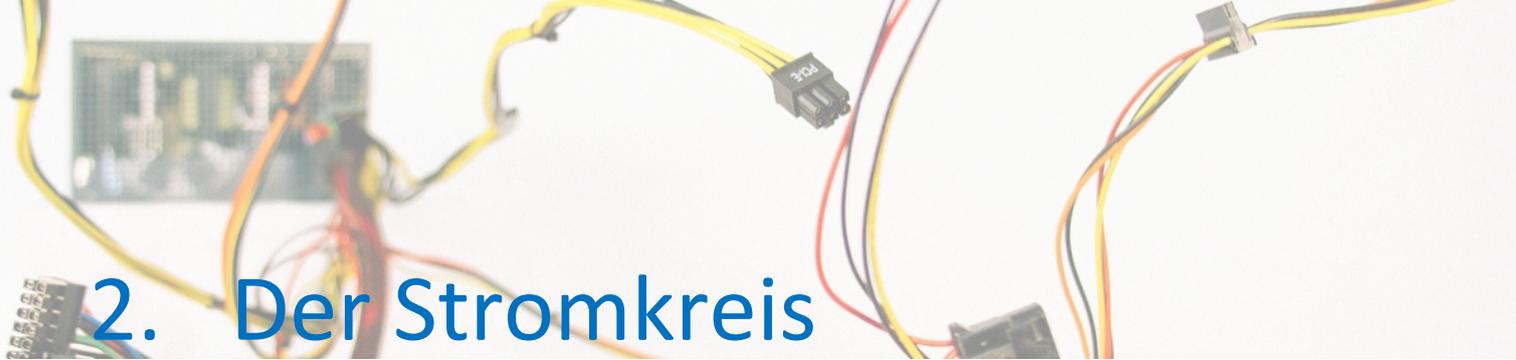
Bemerkung:

Eine Batterie (oder Steckdose) ist „dumm“. Die ausgegebene Spannung ist immer gleich, egal wie der Stromkreis aussieht.

Verschiedene Spannungen:

- AA-Batterie (  $1,5 \text{ V}$  )
- Autobatterie (  $12 \text{ V}$  )
- Haushaltsnetz in Deutschland (  $230 \text{ V}$  )
- Blitz (  $100 \text{ kV} - 100 \text{ MV}$  )





## 2. Der Stromkreis



Schülerexperiment: „Bringt das Lämpchen zum Leuchten“

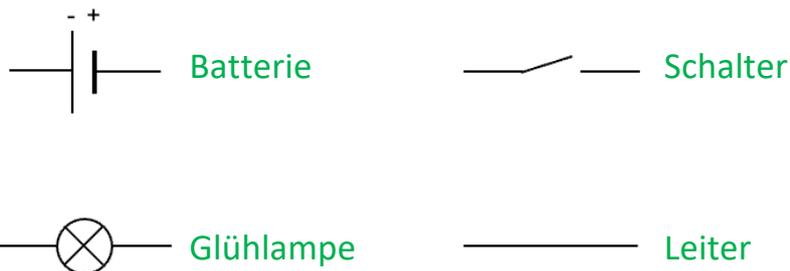


Überlegt euch mithilfe der **App PUMA : Spannungslabor** die Antwort auf folgende Fragen und füllt dann den Lückentext aus:

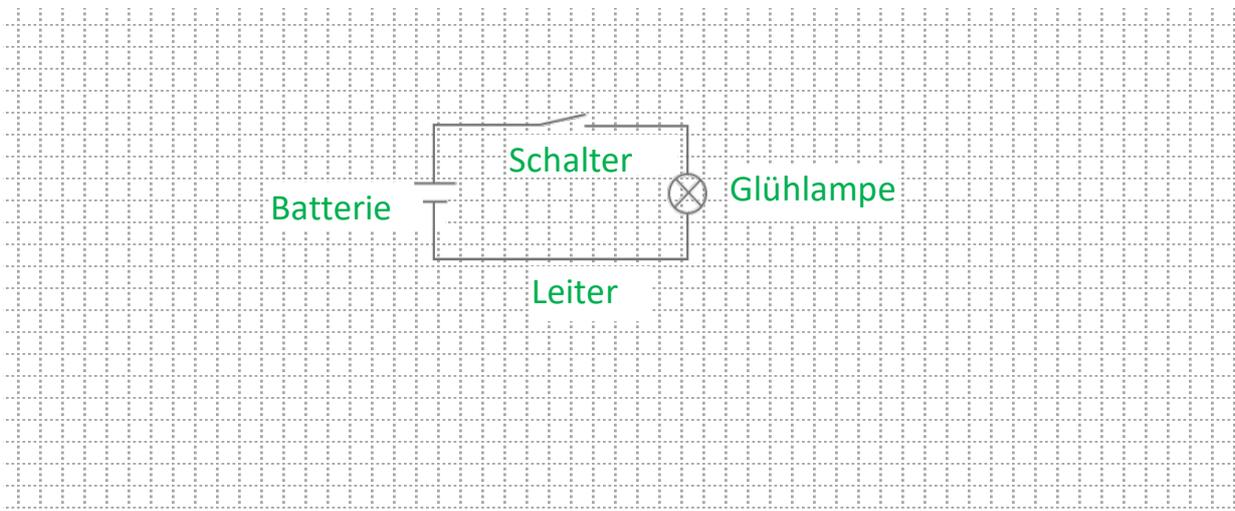
- Unter welchen Bedingungen leuchtet das Lämpchen?
- Was passiert im Inneren des Leiters? Wann beginnen welche Elektronen sich zu bewegen?

Ein Lämpchen leuchtet nur in einem **geschlossenen** Stromkreis, d.h. wenn beide Kontakte des Lämpchens mit **einem Antrieb / einer Spannung** (z.B. den beiden Polen einer Batterie) verbunden sind.

Um Stromkreise übersichtlich darzustellen, verwenden wir in der Physik sogenannte Schaltpläne. Für die Batterie, den Schalter, das Kabel und die Lampe werden dabei bestimmte Symbole verwendet:



Zeichne einen Schaltplan für einen Stromkreis aus Batterie, Schalter, Glühlampe und Verbindungskabeln:

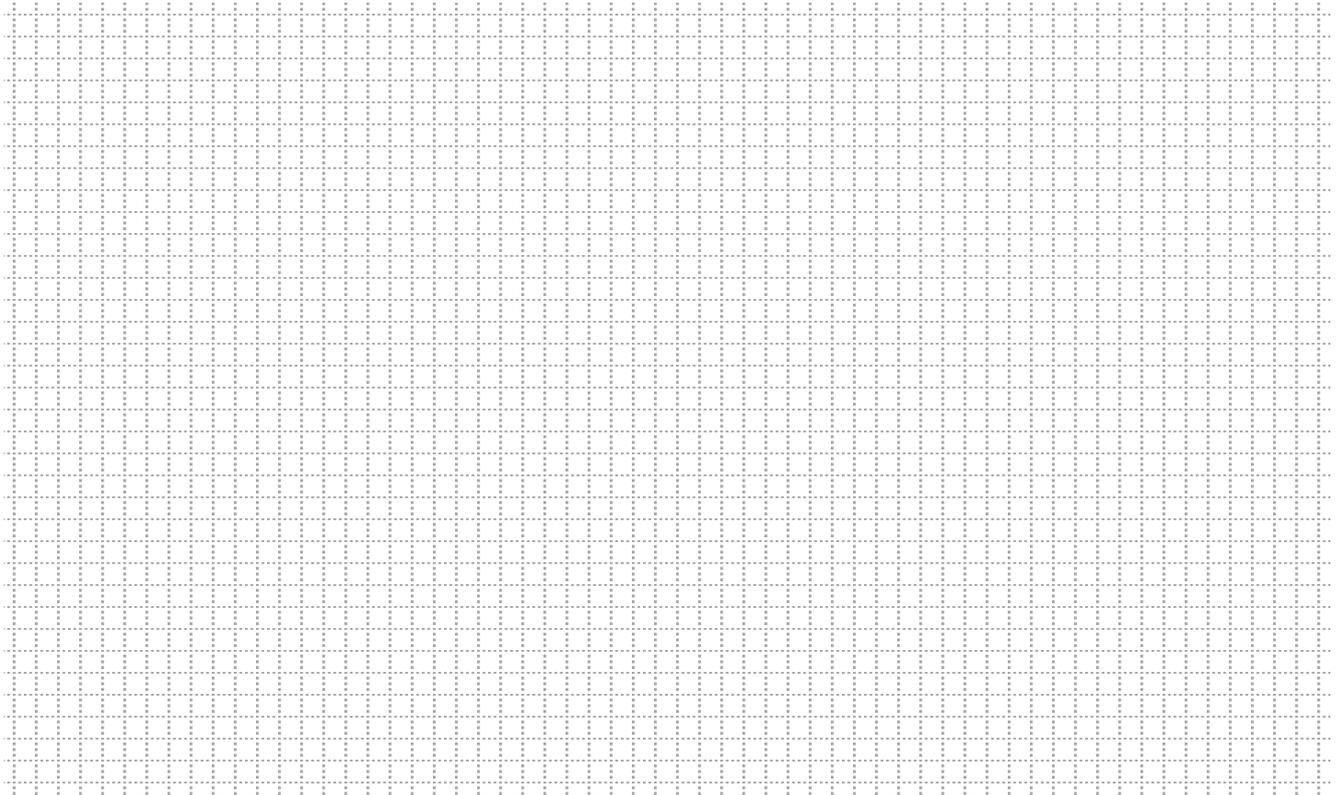
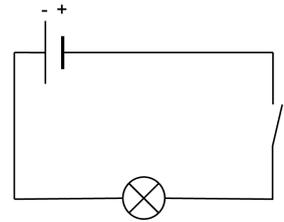


## Hausaufgabe:

Heimexperiment:



- Baue dir einen einfachen Stromkreis aus einer Batterie, einem Schalter und einer Glühbirne (siehe Abb.).
- Beobachte die Elektronenbewegungen beim Öffnen und Schließen des Schalters und beschreibe was du siehst.
- Finde heraus, ob es wichtig ist an welcher Stelle der Schalter eingebaut wird.



### A2 Viele Spannungen ....

Sehr kleine oder sehr große Spannungen gibt man z.B. in  $\mu V$  oder  $kV$  an. Dabei verwendet man folgende Umrechnungsfaktoren:

Mikro:  $\mu = \frac{1}{1\,000\,000} = 0,000\,001$

Kilo:  $k = 1000$

Milli:  $m = \frac{1}{1000} = 0,001$

Mega:  $M = 1\,000\,000$

**Auftrag: Rechne die folgenden Spannungen in die jeweils angegebene Einheit um.**

a)  $5\,kV = 5000\,V$

f)  $12\,000\,V = 12\,kV$

b)  $3,2\,MV = 3\,200\,000\,V$

g)  $0,0023\,V = 2300\,\mu V$

c)  $750\,mV = 0,75\,V$

h)  $5,7\,MV = 5700\,kV$

d)  $0,004\,kV = 4\,V$

i)  $85\,\mu V = 0,085\,mV$

e)  $1,5\,\mu V = 0,000\,0015\,V$

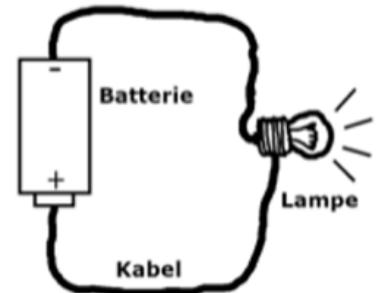
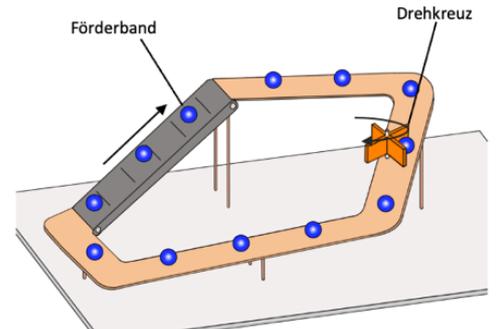
j)  $0,6\,mV = 600\,\mu V$

# 3. Das Höhenmodell

Einen Stromkreis kann man sich wie eine Murmelbahn vorstellen.

Finde Entsprechungen:

Murmelbahn	Stromkreis
Bahnelement	Leiter
Aufzug	Batterie
Murmeln	Elektronen
Räder	Lampe
Höhenunterschied	Spannung
Geschlossene Bahn	Geschlossener Kreis



Wir untersuchen das Höhenmodell mit der Simulation:

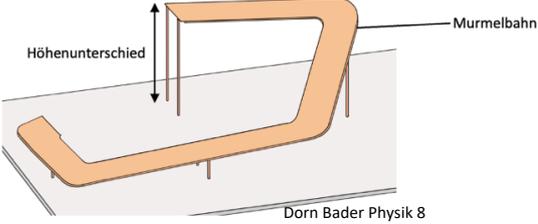
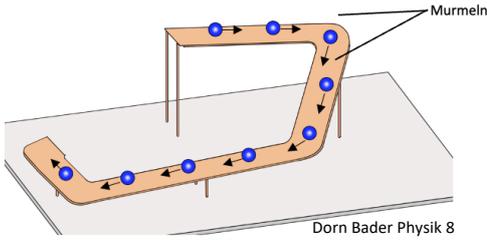
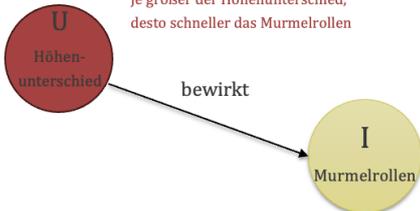
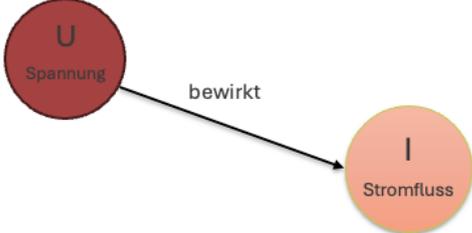
Beschreibe,

- a) wie eine große Spannung im Höhenmodell dargestellt wird.
- b) wie die Elektronenbewegung aussieht, wenn es keinen Höhenunterschied gibt.
- c) wie die Elektronenbewegung und der Höhenunterschied zusammenhängen.

Grid area for writing answers.

## Murmelbahn

## Elektrischer Stromkreis

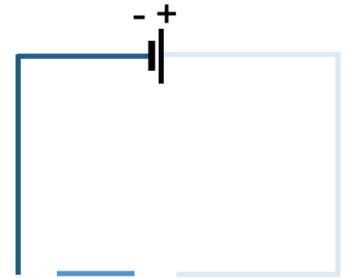
<p>Eine Murmelbahn besitzt frei bewegliche <b>Murmeln</b>.</p>	<p>Ein Elektrischer Leiter besteht aus Kupfer mit frei beweglichen <b>Elektronen</b>.</p>
<p>Anfangs befinden sich alle Murmeln am niedrigsten Punkt (z.B. auf dem Tisch). Das Förderband befördert die Murmeln vom niedrigsten zum höchsten Punkt der</p>  <p>Murmelbahn nach oben. Es <b>erzeugt</b> somit einen Höhenunterschied zwischen den Kugeln.</p>	<p>Ist ein elektrischer Leiter mit keiner Spannungsquelle verbunden, befinden sich auch die Elektronen auf dem niedrigsten „elektrischen“ Niveau. Schließt man eine Batterie an, so sorgt diese für einen (elektrischen) <b>Höhenunterschied</b> zwischen ihrem Plus- und Minuspol. Umgekehrt ist ein vorhandener „elektrischer Höhenunterschied“ zwischen zwei Stellen im Stromkreis ein Hinweis auf eine zwischen diesen Punkten anliegende <b>Spannung</b>.</p>
<p>Die Murmeln rollen nicht einfach so. Der Grund für ihr Bewegen ist immer ein <b>Höhenunterschied</b>, d.h. ohne diesen rollen sie nicht. Die Murmeln rollen dabei immer von Punkten großer Höhe der Rollbahn zu niedrigeren.</p> 	<p>Die Elektronen bewegen sich nicht einfach so. Der Grund für ihre Bewegung ist immer ein „elektrischer Höhenunterschied“ (d.h. eine <b>Spannung</b>). Die Elektronen bewegen sich dabei immer von Punkten großer „elektrischer Höhe“ zu niedrigeren.</p>
<p>Je größer der Höhenunterschied, desto schneller das Murmelrollen.</p>	<p>Ist die Batterie sehr „stark“ (große Voltzahl/Spannung) folgt daraus auch ein großer „elektrischer Höhenunterschied“ und die Elektronen bewegen sich <b>schneller</b>.</p>
<p>Merke:</p> 	

### Farbe statt Höhe:

Da man eine Höhe schlecht zeichnen kann, verwendet man zur Darstellung eine Farbe:

Den elektrisch „niedrigsten“ Punkt (der Plus-Pol und alles was mit ihm verbunden ist) zeichnet man hellblau, den elektrisch „höchsten“ Punkt (der Minus-Pol und alles was mit ihm verbunden ist) zeichnet man sehr dunkelblau (vgl. Beispiel rechts).

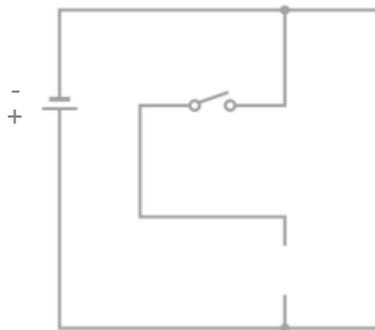
Nicht mit der Batterie verbundene Leiterstücke werden „mittel-blau“ gezeichnet.



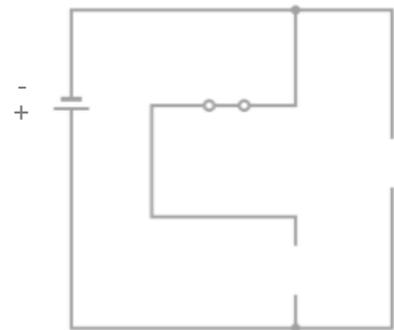
### Beispiel:

Betrachte die rechts abgebildeten Schaltpläne. **Zeichne** den „elektrischen Höhenunterschied“ mit Hilfe der Farbdarstellung ein.

Beachte, dass der Schalter einmal offen und einmal geschlossen ist.



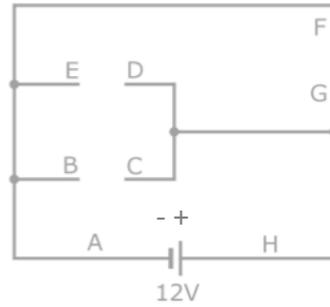
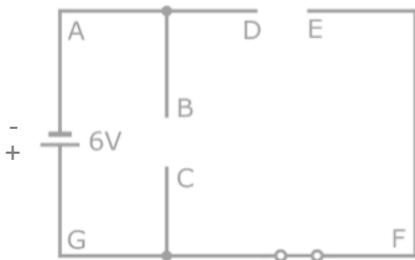
Schalter offen



Schalter geschlossen

Hausaufgabe: nach Burde, J.-P. et al (2018) Eine Einführung in die Elektrizitätslehre mit Potential ([www.einfache-elehre.de](http://www.einfache-elehre.de))

a) Betrachte die beiden unten dargestellten Schaltpläne und zeichne den „elektrischen Höhenunterschied“ mit Hilfe der Farbdarstellung ein.



b) Was für ein elektrischer Höhenunterschied – 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 ...	Spannung $U$ in V
A und B	0
B und C	6
B und D	0
D und E	6
E und F	0
F und C	0
C und G	0

Elektrische Spannung zwischen Punkten ...	Spannung $U$ in V
A und B	0
B und C	12
C und D	0
D und E	12
E und F	0
F und G	12
G und C	0
D und H	0

# 4. Die Stromstärke



Wieder ein einfacher Stromkreis:



- a) Beschreibe die Bewegung der Gesamtheit der Elektronen im Leiter.
- b) Erkläre, welche Aufgabe der Batterie im Stromkreis zukommt.
- c) Wie hängt die Bewegung der Elektronen mit der Spannung zusammen?

Grid area for writing answers to questions a, b, and c.

## a) Aufgabe der Batterie

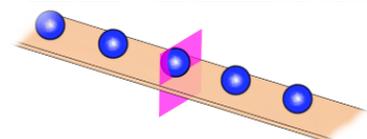
Für jedes Elektron, das durch das Lämpchen den elektrischen Höhenunterschied zurücklegt, hebt die Batterie (durch chemische Prozesse) ein anderes Elektron um diesen elektrischen Höhenunterschied an. Es kommt zu einem **dauerhaften Stromfluss**.

Zum Vergleich: Das Förderband bringt für jede Murmel, die die Bahn nach unten rollt, wieder eine Murmel zum oberen Ende.

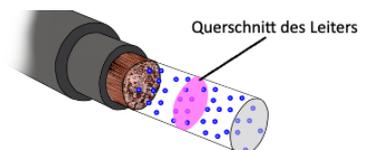
## b) Die Stromstärke

Die „Murmel-Stromstärke“ (vgl. Auto-Stromstärke auf der Autobahn) gibt die Anzahl der Murmeln an, welche pro Sekunde durch einen Abschnitt der Rollbahn rollen.

Auf ähnliche Weise gibt die elektrische **Stromstärke** an, **wie viele Elektronen sich pro Sekunde durch den Querschnitt eines Leiters bewegen**.



Anzahl der Murmeln, die pro Sekunde durch einen Abschnitt der Bahn rollen



Anzahl der Elektronen, die sich pro Sekunde durch den Querschnitt eines Leiters bewegen

**Formelzeichen Stromstärke:**  $I$   
**Einheit:**  $[I] = 1 A$  („Ampere“)

### (Haus-)Aufgabe

Sehr kleine oder sehr große Stromstärken gibt man z.B. in  $\mu A$  oder  $kA$  an. Dabei verwendet man folgende Umrechnungsfaktoren:

$$\text{Mikro: } \mu = \frac{1}{1\,000\,000} = 0,000\,001$$

$$\text{Kilo: } k = 1000$$

$$\text{Milli: } m = \frac{1}{1000} = 0,001$$

$$\text{Mega: } M = 1\,000\,000$$

**Auftrag: Rechne die folgenden Stromstärken in die jeweils angegebene Einheit um.**

- a) 2,5 kA = 2 500 A
- b) 0,9 MA = 900 000 A
- c) 320 mA = 0,32 A
- d) 0,005 kA = 5 A
- e) 7,2  $\mu A$  = 0,000 0072 A
- f) 8 500 A = 8,5 kA
- g) 0,00042 A = 420  $\mu A$
- h) 6,3 MA = 6 300 kA
- i) 0,025 mA = 25  $\mu A$
- j) 0,0042 A = 4,2 mA

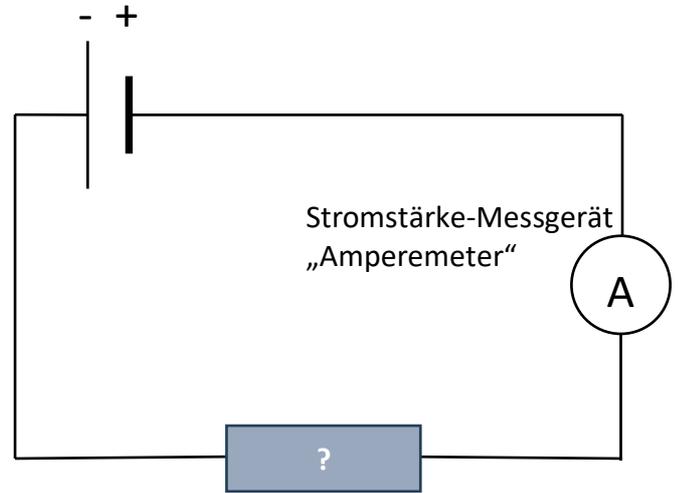


# 5. Der Widerstand



## Stromkreise mit verschiedenen Widerständen

Wir setzen **verschiedene Bauteile** in einen Stromkreis ein und betrachten jeweils die Stromstärke, die sich bei **derselben Spannung** einstellt.



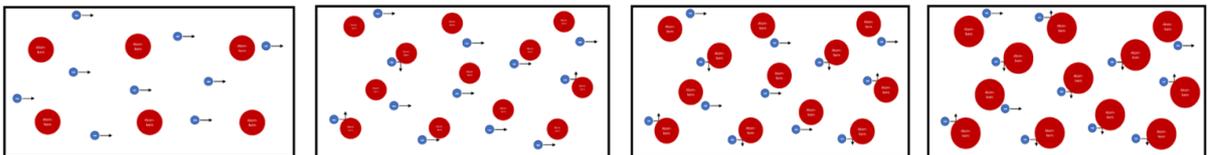
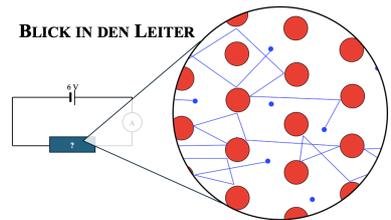
### Ergebnis:



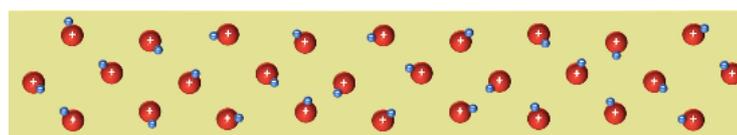
Bei gleicher Spannung stellt sich, je nach Bauteil, eine andere Stromstärke ein.



Wir stellen uns vor, dass beim Weg durch den Leiter Elektronen mit den Atomrümpfen stoßen. Dies erzeugt einen **elektrischen Widerstand**.



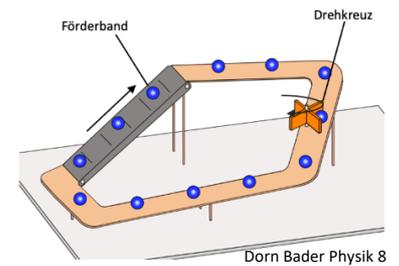
*guter Leiter (geringer Widerstand)-----schlechter Leiter (großer Widerstand)*



*Isolator (= Nicht-Leiter). Keine freien Elektronen!*

## 5.1. Der Widerstandswert

Um ein Maß dafür zu haben, wie stark der Elektronenfluss durch einen Widerstand (z.B. ein Lämpchen) **gehindert** wird, bestimmt man den Widerstandswert  $R$ . Im Murmelbahnmodell gibt dieses Maß an, wie stark das Rollen der Murmeln durch den Widerstand eines **Drehkreuzes/Rädchen** behindert wird.



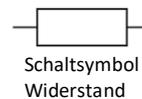
Der Widerstandswert  $R$

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

**Formelzeichen Widerstand:  $R$**

(aus dem Englischen „Resistance“ = Widerstand)

Einheit:  $[R] = 1 \Omega$  (sprich „Ohm“)



Der Widerstand wird durch folgende Formel festgelegt:

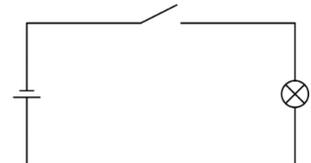
$$\text{Widerstandswert} = \frac{\text{Spannung}}{\text{Stromstärke}}, \text{ d. h. } R = \frac{U}{I}$$

$$[R] = 1 \Omega = 1 \frac{\text{V}}{\text{A}}$$

### Hausaufgabe:



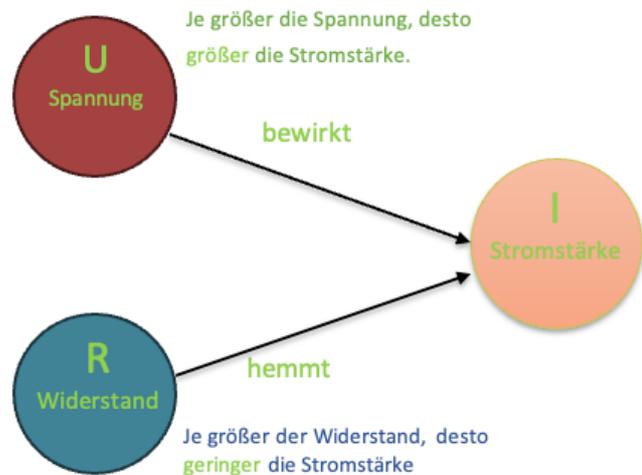
- Baue dir einen einfachen Stromkreis aus einer Batterie, einem Schalter und einer Glühbirne (siehe Abbildung).
- Verändere die angelegte **Spannung**. Beschreibe die Änderung der Elektronenbewegung.
- Verändere nun den **Widerstandswert** der Glühlampe. Beschreibe die Änderung der Elektronenbewegung.
- Beobachte die Elektronenbewegungen beim Öffnen und Schließen des Schalters. Überlege dir, ob der Schalter auch einen elektrischen Widerstand besitzt. Unterscheide dabei ob der Schalter geschlossen oder geöffnet ist.



## 5.2. Der Zusammenhang zwischen Spannung, Elektronenfluss und Widerstand

Im Experiment haben wir bei einer konstanten Spannung gesehen, dass die Stromstärke sinkt, wenn der Widerstand **vergrößert** wird. Man stellt sich dabei vor, dass die fließenden Elektronen durch **Stöße** in ihrer **Bewegung gehindert** werden.

Folgerung:  
Die Stromstärke hängt vom elektrischen Höhenunterschied (= **Spannung**) UND vom **Widerstand** des Stromkreises ab.



Diesen Zusammenhang sieht man auch in der Formel, welche man durch Umformen der Definitionsgleichung des Widerstandswerts ( $R = \frac{U}{I}$ ) erhält:

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

Beispiel:

Ein Lämpchen mit einem Widerstandswert von  $R = 8,0 \Omega$  wird an eine Batterie der Spannung  $U = 4,5V$  angeschlossen. Berechne die sich ergebende Stromstärke.

Rechnung:  $I = \frac{U}{R} = \frac{4,5V}{8,0 A} = 0,56 A$

Wiederholung:

milli:	$m = \frac{1}{1000} = 10^{-3} = 0,001,$	z.B. $I = 231 mA$
kilo:	$k = 1000 = 10^3,$	z.B. $R = 5 k\Omega$
Mega:	$M = 1000000 = 10^6,$	z.B. $U = 23 MV$
Mikro:	$\mu = 0,000001 = 10^{-6}$	z.B. $I = 22 \mu A$

Übungsblatt:

## Rechnen mit dem Widerstandswert

### Aufgabe 1 (entnommen Dorn-Bader Physik 8)

Rechne jeweils in die Einheit in der Klammer um:

- a)  $470 \Omega$  ( $0,47 \text{ k}\Omega$ )
- b)  $0,750 \text{ k}\Omega$  ( $750 \Omega$ )
- c)  $2,405 \text{ M}\Omega$  ( $2405 \text{ k}\Omega$ )
- d)  $8767,01 \text{ m}\Omega$  ( $8,76701 \Omega$ )

- e)  $4,7 \Omega$  ( $4700 \text{ m}\Omega$ )
- f)  $24,5 \text{ k}\Omega$  ( $0,0245 \text{ M}\Omega$ )
- g)  $0,068 \text{ k}\Omega$  ( $68\,000 \text{ m}\Omega$ )
- h)  $0,405 \text{ M}\Omega$  ( $405\,000 \Omega$ )

### Aufgabe 2 (entnommen Dorn-Bader Physik 8)

An eine Elektrizitätsquelle der jeweiligen Spannung wurde ein Elektrogerät angeschlossen und dann die Stromstärke gemessen. Berechne den Widerstandswert.

- a)  $U = 2,45 \text{ V}$ ,  $I = 0,35 \text{ A}$ ,  $R = 7,0 \Omega$
- b)  $I = 1,5 \text{ A}$ ,  $U = 12 \text{ V}$ ,  $R = 8,0 \Omega$
- c)  $U = 230 \text{ V}$ ,  $I = 0,46 \text{ A}$ ,  $R = 500 \Omega = 0,50 \text{ k}\Omega$
- d)  $I = 0,022 \text{ A}$ ,  $U = 110 \text{ V}$ ,  $R = 5000 \Omega = 5,0 \text{ k}\Omega$

- e)  $U = 9,0 \text{ V}$ ,  $I = 180 \text{ mA}$ ,  $R = 50 \Omega$
- f)  $I = 2,5 \text{ A}$ ,  $U = 19 \text{ V}$ ,  $R = 7,6 \Omega$
- g)  $U = 360 \text{ mV}$ ,  $I = 30 \text{ mA}$ ,  $R = 12 \Omega$
- h)  $I = 50 \text{ mA}$ ,  $U = 2,8 \text{ kV}$ ,  $R = 56 \text{ k}\Omega$

### Aufgabe 3 (entnommen Dorn-Bader Physik 8)

Bei einem Bauteil in einem Stromkreis hat man die folgenden Werte ermittelt ( $U$ : Spannung am Bauteil,  $I$ : Stromstärke im Bauteil;  $R$ : Widerstand des Bauteils). Bestimme jeweils mit der passenden Gleichung die fehlende elektrische Größe. Beachte die gültigen Ziffern.

- a)  $R = 330 \Omega$ ;  $I = 0,15 \text{ A}$ ,  $U = 50 \text{ V}$
- b)  $U = 12 \text{ V}$ ;  $R = 0,12 \Omega$ ,  $I = 0,10 \text{ kA}$
- c)  $I = 48 \text{ mA}$ ;  $U = 9,6 \text{ V}$ ,  $R = 0,20 \text{ k}\Omega$
- d)  $I = 180 \text{ mA}$ ;  $R = 47 \text{ k}\Omega$ ,  $8,5 \text{ kV}$

- e)  $I = 1,4 \text{ A}$ ;  $U = 3,4 \text{ kV}$ ,  $R = 2,4 \text{ k}\Omega$
- f)  $0,30 \text{ A}$ ;  $270 \text{ k}\Omega$ ,  $U = 81 \text{ kV}$
- g)  $6,0 \text{ V}$ ;  $3,000 \text{ A}$ ,  $R = 2,0 \Omega$
- h)  $1500 \text{ V}$ ;  $4,50 \text{ M}\Omega$ ,  $I = 0,333 \text{ mA}$

### Aufgabe 4 (© Wolfgang Lutz (phytet.de))

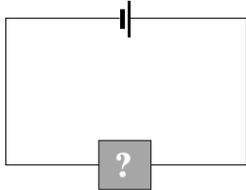
Auf einer Glühlampe ist immer abgedruckt für welche Spannung die Glühlampe ausgelegt ist. Häufig findet sich zusätzlich noch ein Wert für die Stromstärke. Finde die Glühlampe mit dem größten Widerstandswert.

- $L_1: 6,0 \text{ V}; 0,52 \text{ A}; R = 12 \Omega$
- $L_2: 3,7 \text{ V}; 250 \text{ mA}; R = 15 \Omega$
- $L_3: 12 \text{ V}; 15 \text{ mA}; R = 800 \Omega$  (größter Wert)



Foto: Chemie – Uni Paderborn

# 6. Messen von $I$ und $U$



„Das geheimnisvolle Bauteil“

Bestimme dessen Widerstandswert !

## Vorgehen:

Wir messen die Spannung  $U$  am Bauteil und die Stromstärke  $I$  und rechnen  $R = \frac{U}{I}$ .



Multimeter

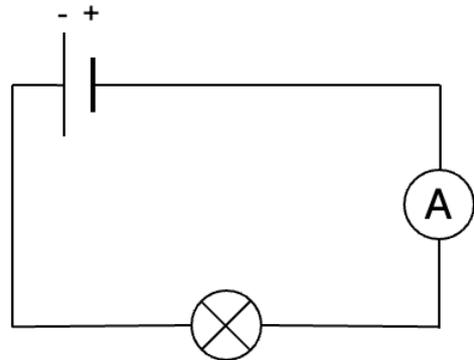
Zeige vor dem Einschalten des Multimeters der Lehrkraft deinen Versuchsaufbau !



## 6.1. Messen der **Stromstärke** mit einem Multimeter (unverzweigter Stromkreis)

a) Baue folgenden Stromkreis auf:

Um eine Stromstärke zu messen, müssen wir „zählen“, wie viele **Elektronen** in einer **bestimmten Zeit** an einer Stelle im Stromkreis vorbeifließen. Dafür müssen wir den Stromkreis **unterbrechen** und ein Messgerät einbauen. Man sagt, der Strom wird „in Reihe“ gemessen.



b) Baue das Amperemeter an zwei weiteren Stellen des Stromkreises ein. Vergleiche die gemessenen Stromstärken. Markiere die jeweiligen Stellen (1;2;3) im obigen Schaltplan.

Position	1	2	3
Gemessene Stromstärke:			

Ergebnis:

Die Stromstärke ist an jeder Stelle des Stromkreises gleich groß.



Erklärung:

(Nutze hierfür die Murmelbahn-Analogie bzw. die Visualisierung in der App)

Da es insgesamt nur einen Weg gibt, kann kein Elektron verschwinden und es muss immer die gleiche Stromstärke (Anzahl der Elektronen pro Sekunde im Stromkreis) geben!



Hausaufgabe:

1. Baue das Experiment aus dem Unterricht in einer Simulation nach.  
(Batterie, Schalter, Lampe)
2. Baue in den Stromkreis VOR und NACH der Lampe ein Amperemeter ein. Diskutiere vor diesem Hintergrund die umgangssprachliche Aussage: „Wenn die Lampe leuchtet, wird Strom verbraucht.“

*Hinweis PUMA-App:*

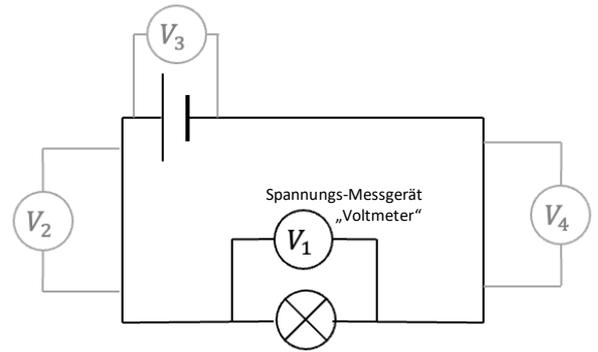
In der Simulation beinhalten die „Leiter“- und „Widerstands“-Bauteile jeweils ein Amperemeter. Um dieses zu verwenden aktiviert man zunächst die Messgeräte (Button  im Menü rechts) und drückt dann den Button  am jeweiligen Bauteil.

## 6.2. Messen der **Spannung** mit einem Multimeter (unverzweigter Stromkreis)



- a) Baue folgenden Stromkreis mit dem Voltmeter an der Glühlampe ( $V_1$ ) auf.

(Ignoriere zunächst die Messgeräte  $V_2, V_3$  und  $V_4$ .)



Beachte:

Eine Spannung wird immer zwischen **zwei** Punkten des Stromkreises gemessen. Das Spannungsmessgerät (**Voltmeter**) wird mit diesen beiden Punkten des Stromkreises verbunden.

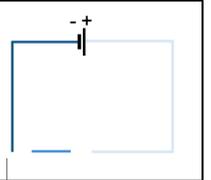
Man sagt die Spannung wird „parallel“ gemessen.



- a) Nutze die Darstellung in der PUMA-App und färbe im Schaltplan oben **alle** Leiterstücke nach dem Murmelbahnmodell blau ein.

ZUR ERINNERUNG:

Den elektrisch „niedrigsten“ Punkt (der Plus-Pol und alles was mit ihm verbunden ist) zeichnet man **hellblau**, den elektrisch „höchsten“ Punkt (der Minus-Pol und alles was mit ihm verbunden ist) zeichnet man sehr **dunkelblau** (vgl. Beispiel rechts).  
Nicht mit der Batterie verbundene Leiterstücke werden „mittel-blau“ gezeichnet.



- b) Stelle jetzt (mithilfe Höhendarstellung der App. ) eine Vermutung auf, an welchen der vier Messstellen du eine Spannung messen kannst, die **nicht 0 V** beträgt.
- c) Miss die Spannung an diesen vier Punkten:

Position	1	2	3	4
Gemessene Spannung:				



- d) Erkläre das Versuchsergebnis. Nutze wiederum die Analogie des elektrischen Höhenunterschieds im Murmelbahnmodell.

*Nur an den Messstellen 1 und 3 gibt es einen Höhenunterschied im Modell. Deswegen kann nur an diesen Stellen eine Spannung gemessen werden.*

### Merke:

Man kann nur eine Spannung messen, wenn ein Messpunkt auf einer **anderen Höhe** liegt wie der andere Messpunkt.

## Hausaufgabe:



1. Baue das Experiment aus dem Unterricht in der Simulation nach.  
(Batterie, Schalter, Lampe)
2. Verwende ein Voltmeter, um die Spannung an der Lampe, an der Batterie und an einem Leiterstück zu messen.
3. Baue zusätzlich ein Amperemeter in den Stromkreis ein und miss die Stromstärke.
4. Zeichne eine Schaltskizze mit allen Bauteilen und berechne aus der Stromstärke und der Spannung an der Lampe deren Widerstandswert.

*Hinweis PUMA-App:*

In der Simulation befindet sich auch ein Spannungsmess-Messgerät, welches man durch Aktivieren der Messgeräte (Button  im Menü rechts) aktivieren kann.

$$U = \underline{\hspace{2cm}} \quad I = \underline{\hspace{2cm}}$$



# 7. Kennlinien elektrischer Bauteile



## 7.1. Messung einer U-I-Kennlinie

Untersuchtes Bauteil:  
Glühlampe bzw. R2

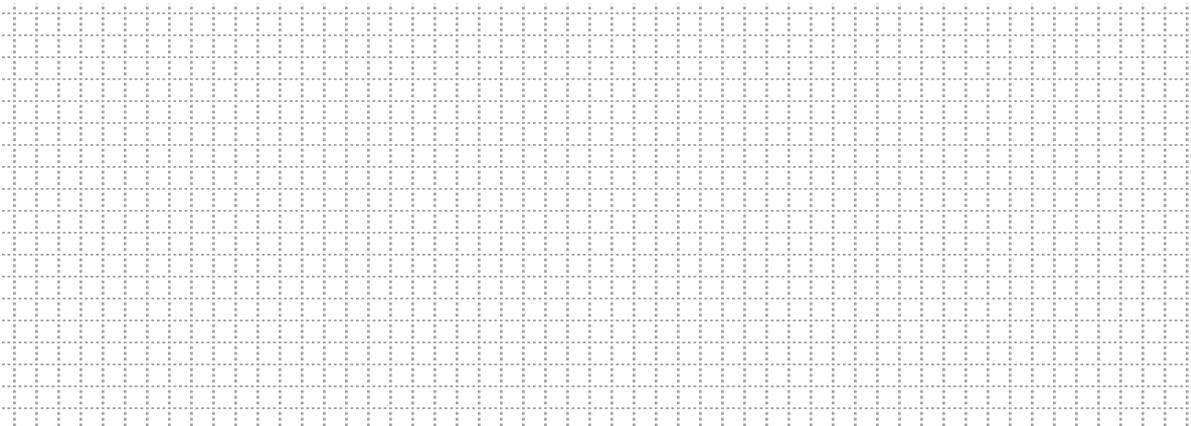
### Versuchsprotokoll

#### Ziel:

Ist der Widerstand des Bauteils immer gleich groß? Untersuchung der Stromstärke in Abhängigkeit der Spannung an einer Glühlampe und / oder eines Widerstands.

Zeige vor dem Einschalten des Netzteils der Lehrkraft deinen Versuchsaufbau !

#### Aufbau (beschrifteter Schaltplan):



#### Beschreibung:

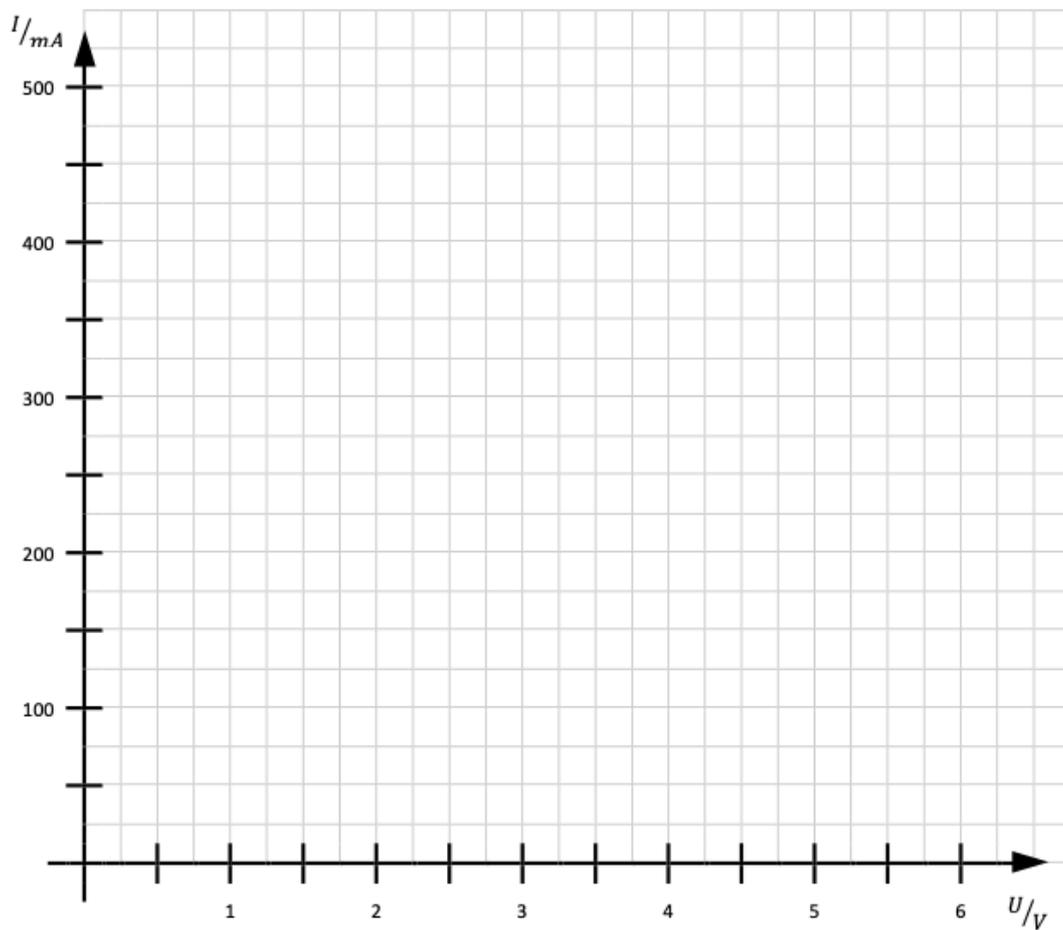
1. Die Messgeräte werden auf die passenden Messbereiche eingestellt ( $U_{max} = 6 V, I_{max} = 0,5 A$ )
2. Von 0 V ausgehend wird die Spannung schrittweise um je 1 V erhöht bis maximal 6 V
3. Dabei werden jeweils die Werte für die Spannung und die Stromstärke notiert

Messwerte:

Spannung $U$ in $V$	0	1	2	3	4	5	6
Stromstärke $I$ in $mA$							

Auswertung:

- Übertrage die Messwerte in das Diagramm. Achte auf die Achsenskalierung.
- Zeichne eine Ausgleichskurve für die Messwerte



## 7.2 Ohm'sche Widerstände

### Merke:

Die Kennlinie eines Bauteils verrät, wie sich der Widerstandswert eines Bauteils mit zunehmender Spannung verändert.

Um die Kennlinie aufzunehmen, schließt man das Bauteil an verschiedene Spannungen an und trägt die Stromstärke (y-Achse) über der Spannung (x-Achse) auf.



Kennlinie einer Glühlampe & eines Widerstands:

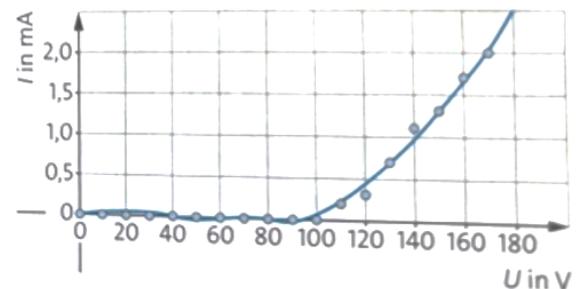


Ergibt sich eine Ursprungsgerade, d.h.  $I$  ist proportional zu  $U$ , so ist der Widerstandswert konstant. Man nennt das Bauteil dann auch „Ohm'schen Widerstand“.

### Aufgabe (entnommen aus Duden Physik 8, Cornelsen Verlag)

Gegeben ist die Kennlinie einer Glimmlampe

- Beschreibe den Verlauf der Kennlinie und gib an, ob es sich bei dem Bauteil um einen ohmschen Widerstand handelt.
- Lies den Wert der Stromstärke für  $U = 120 \text{ V}$  im Diagramm ab.
- Bestimme die Spannung bei einer Stromstärke von  $2 \text{ mA}$ .
- Berechne den Widerstandswert der Glimmlampe bei den abgelesenen Messwerten.

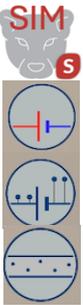


- Stromstärke bis ca.  $100 \text{ V}$  bei  $0 \text{ A}$ , steigt dann langsam an, KEINE Ursprungsgerade, kein Ohmscher Widerstand
- $I = 0,5 \text{ mA}$  (Wert von Ausgleichskurve ablesen)
- $U = 170 \text{ V}$
- $R_{120\text{V}} = \frac{U}{I} = \frac{120 \text{ V}}{0,0005 \text{ A}} = 0,2 \text{ M}\Omega$ ,  $R_{2\text{mA}} = \frac{U}{I} = \frac{170 \text{ V}}{0,002 \text{ A}} = 0,09 \text{ M}\Omega$

# 8. Die Parallelschaltung

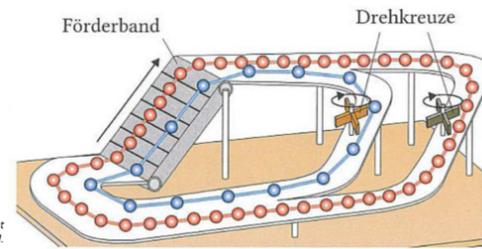
Hausaufgabe:

Der „einfache“ Stromkreis mit dem Widerstand  $R_2$  wird nun durch ein weiteres Bauteil (hier  $R_3$ ) erweitert, welches „parallel“ geschaltet wird. Es ergibt sich der Schaltplan am Ende dieser Seite.



1. Baut die Situation mithilfe der Simulation nach.
2. Überlegt euch mithilfe der Simulation wie ihr die folgenden Größen real messen könnt:
  - $U_{ges}$  (Spannung an der Batterie)
  - $U_2$  (Spannung am Widerstand  $R_2$ )
  - $U_3$  (Spannung am Widerstand  $R_3$ )
  - $I_{ges}$  (Stromstärke durch die Batterie)
  - $I_2$  (Stromstärke durch  $R_2$ )
  - $I_3$  (Stromstärke durch  $R_3$ )

Modelldarstellungen für die Parallelschaltung



Info: Das gelbe Rad hat einen größeren Widerstand.

Dorn Bader Physik 8

Zeichnet hierfür in den unten stehenden

Schaltplan kleine (beschriftete) Voltmeter und Amperemeter ein.

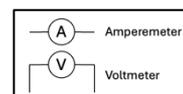
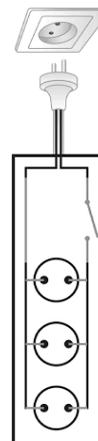
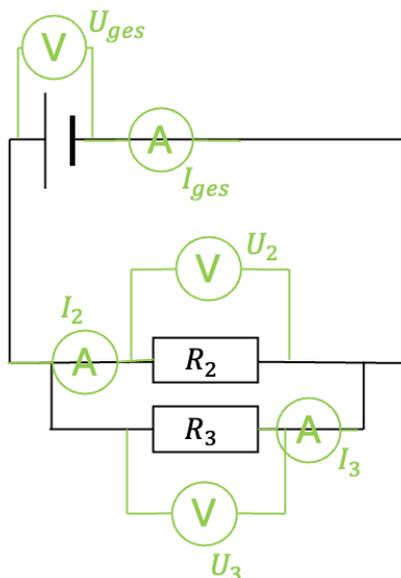
3. Färbt den Schaltplan gemäß des Murmelbahnmodells in Blautönen ein und verwendet das Murmelbahnmodell um die im Skript gelisteten **Hypothesen (S.23)** zu markieren, welche ihr als korrekt anseht. Kreuzt diese mit einem **grünen Stift** an.

## 8.1 Versuchsprotokoll zur Messung an einer Parallelschaltung



Ziel: Messung der Spannungen und Stromstärken in einer Parallelschaltung

Aufbau (beschrifteter Schaltplan):



Beschreibung des Versuchs:

Sowohl am Netzteil als auch an den beiden Widerständen wird jeweils die Spannung und die Stromstärke gemessen.

Kreuze **mit einem grünen Stift** jeweils die **Hypothese** an, welche dir für die **Parallelschaltung** richtig erscheint:

Am größeren Widerstand fällt 
 MEHR (H1)  
 GLEICH VIEL (H2)  
 WENIGER (H3)
  Spannung ab als am kleineren.

Durch den größeren Widerstand fließt eine als durch den kleineren Widerstand 
 HÖHERE (H4)  
 GENAUSO große (H5)  
 NIEDRIGERE (H6)
  Stromstärke

Messung:

	$U_{\text{ges}}$	$U_{R_2}$ <small>an <math>R_2 = 23 \Omega</math></small>	$U_{R_3}$ <small>an <math>R_3 = 34 \Omega</math></small>
$U/V$			
	$I_{\text{ges}}$	$I_{R_2}$ <small>an <math>R_2 = 23 \Omega</math></small>	$I_{R_3}$ <small>an <math>R_3 = 34 \Omega</math></small>
$I/mA$			

Auswertung:



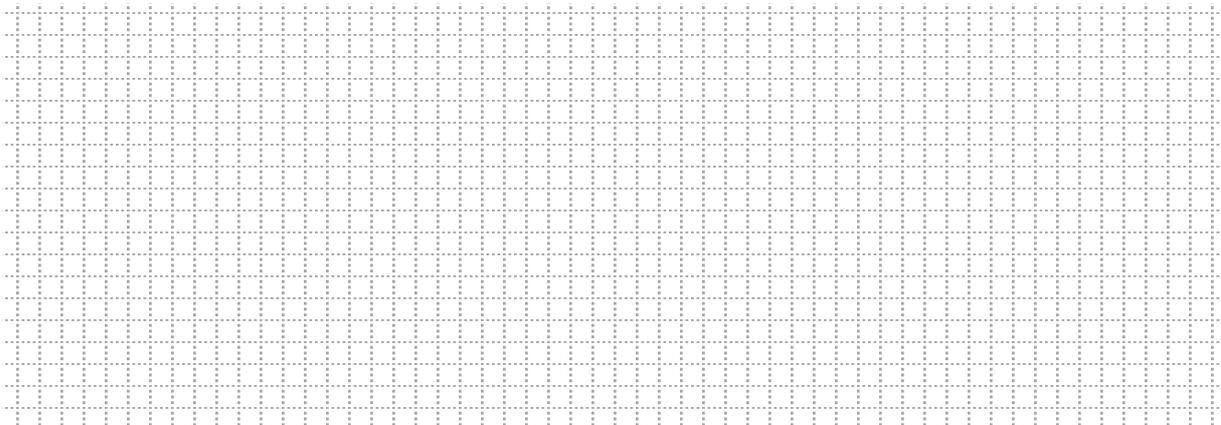
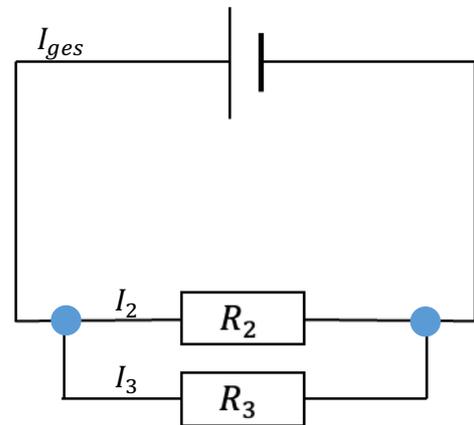
Merke:

	Beobachtung:	Erklärung: <i>(mit den Modellen)</i>
1	An parallel geschalteten Bauteilen fällt <b>gleich viel</b> Spannung ab.	Der <b>elektrische Höhenunterschied</b> vor und nach parallel geschalteten Bauteilen muss <b>gleich</b> sein.
2	Bei parallel geschalteten Bauteilen fließt durch das Bauteil mit dem <b>größeren</b> Widerstand weniger Strom als durch das Bauteil mit dem <b>kleineren</b> Widerstand.	Mehr Stöße mit Atomrümpfen ergeben (bei gleicher Spannung) eine <b>geringere</b> Stromstärke.

## Hausaufgabe:

Baut mithilfe der Simulation eine Parallelschaltung aus zwei Widerständen.

- Beobachtet die Bewegung der Elektronen v.a. an den rechts blau markierten „Knotenpunkten“. Notiert, eure Beobachtung.
- Versucht eine Formel zu finden, welche die Stromstärke im Gesamtstromkreis  $I_{ges}$  mit der Stromstärke  $I_2$  (durch  $R_2$ ) und der Stromstärke  $I_3$  (durch  $R_3$ ) verknüpft.



## 8.2. Zusammenfassung der Parallelschaltung

In einer Parallelschaltung gilt:

An jedem Zweig liegt die Spannung  $U_{ges}$  der Spannungsquelle an:

$$U_{ges} = U_1 = U_2 = \dots$$

Die Gesamtstromstärke  $I_{ges}$  entspricht der Summe der Teilstromstärken der Zweige:

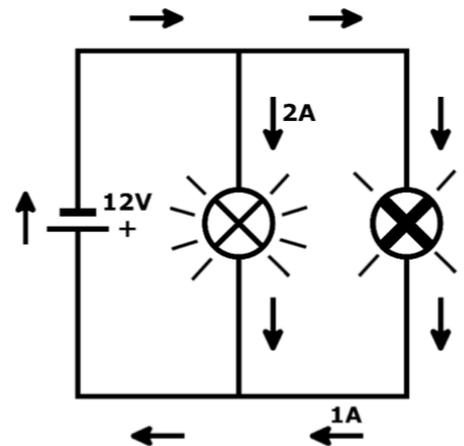
$$I_{ges} = I_1 + I_2 + \dots$$

## Arbeitsblatt zur Parallelschaltung:

### A1 Einfache Parallelschaltung nach Wolfgang Lutz (phytet.de)

Beachte den Schaltplan rechts. Bedenke, dass die Stromstärke immer eine Folge des elektrischen Höhenunterschieds ist.

- Zeichne mit Hilfe der Farbdarstellung zunächst die elektrischen „Höhen“ ein.
- Beschrifte die Pfeile mit den entsprechenden Stromstärken.
- Nun wird die Batterie umgepolt (d.h. Plus- und Minuspol vertauscht). Beschreibe was sich hier durch ändert und was nicht.
- Bestimme die Widerstandswerte  $R$  der beiden Lämpchen. ( $6 \Omega$  und  $12 \Omega$ )



Beachte folgende Darstellung



Lämpchen mit kleinem Widerstandswert

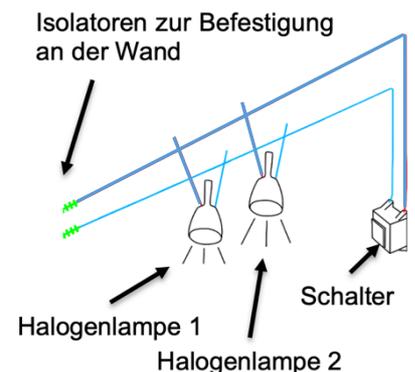


Lämpchen mit großem Widerstandswert

### A2 Deckenbeleuchtung nach Wolfgang Lutz (phytet.de)

Halogenlampen werden an Seilsysteme angeschlossen, die nahe der Decke eines Zimmers von Wand zu Wand gespannt werden. In der Abbildung verdeutlicht die Farben der Leitungen wie immer die elektrischen „Höhen“.

- Begründe, warum die beiden Halogenlampen parallel geschaltet sind. Zeichne hierfür eine Schaltplan.
- Gib die Stromstärke 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 Stromstärken verändern, wenn eine weitere Halogenlampe zwischen Halogenlampe 1 und den Isolatoren an der Wand eingebaut wird.
- Begründe, ob die bisherigen zwei Halogenlampen nach Einbau der neuen Halogenlampe weniger hell leuchten.
- Eine der drei Halogenlampen geht kaputt. Erkläre, inwiefern sich dadurch die Helligkeit der restlichen Halogenlampen ändert.



### A3 Stimmt's oder stimmt's nicht?

nach Burde, J.-P. et al (2018) Eine Einführung in die Elektrizitätslehre mit Potential (www.einfache-elehre.de)

Nutze die PUMA-Simulation, um folgende Fragen zu beantworten. Begründe jeweils deine Antwort.

- „Die Stromstärke in den Leitern, die direkt mit den Polen der Steckdose verbunden sind, hängt von der Anzahl der parallelgeschalteten Lämpchen ab. Die Steckdose hält nur die elektrische „Höhe“ (Antrieb) in diesen Leitern konstant. Deshalb ist eine Steckdose auch eine Spannungsquelle und keine Stromquelle.“ (**richtig**)
- „Liegen zwei Leiter auf der gleichen „elektrischen Höhe“, so ist auch die Stromstärke in diesen Leitern gleich groß.“ (**falsch**)

# 9. Die Reihenschaltung



## Hausaufgabe:

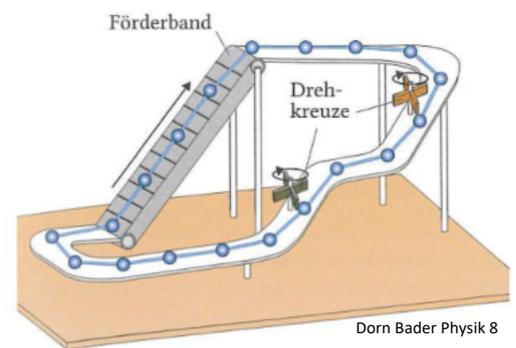
Bei einer Reihenschaltung werden zwei Bauteile nacheinander in einen Stromkreis eingebaut (vgl. Schaltplan am Ende dieser Seite.).

1. Baut mithilfe der Simulation eine Reihenschaltung aus zwei Widerständen auf.
2. Überlegt euch mithilfe der Simulation wie ihr die folgenden Größen real messen könnt:

- $U_{ges}$  (Spannung an der Batterie)
- $U_1$  (Spannung am Widerstand  $R_1$ )
- $U_3$  (Spannung am Widerstand  $R_3$ )
- $I_{ges}$  (Stromstärke durch die Batterie)
- $I_1$  (Stromstärke durch  $R_1$ )
- $I_3$  (Stromstärke durch  $R_3$ )

Zeichnet hierfür in den unten stehenden Schaltplan kleine (beschriftete) Voltmeter und Amperemeter ein.

3. Färbt den Schaltplan gemäß des Murmelbahnmodells in Blautönen ein und verwendet das Murmelbahnmodell um die im Skript gelisteten **Hypothesen (S.27)** zu markieren, welche ihr als korrekt anseht. Kreuzt diese mit einem **grünen Stift** an.



Info: Das gelbe Rad hat einen größeren Widerstand.

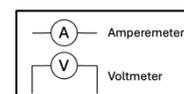
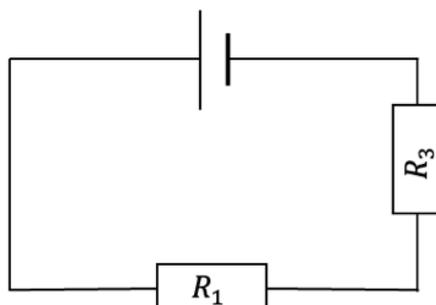


## 9.1 Versuchsprotokoll zur Messung an einer Reihenschaltung

### Ziel:

Messung der Spannungen und Ströme in einer Reihenschaltung

### Aufbau (beschrifteter Schaltplan):



Beschreibung:

Sowohl am Netzteil als auch an den beiden Widerständen wird jeweils die Spannung und die Stromstärke gemessen.

Kreuze mit einem grünen Stift jeweils die **Hypothese** an, welche dir für die **Reihenschaltung** richtig erscheint:

Am größeren Widerstand fällt  MEHR (H1)  
 GLEICH VIEL (H2)  
 WENIGER (H3) Spannung ab als am kleineren.

Durch den größeren Widerstand fließt eine.  HÖHERE (H4)  
 GENAUSO große (H5)  
 NIEDRIGERE (H6) Stromstärke als durch den kleineren Widerstand

Messung:

	$U_{ges}$	$U_{R1}$ <i>an <math>R_1 = 11 \Omega</math></i>	$U_{R3}$ <i>an <math>R_3 = 34 \Omega</math></i>
$U/V$			
	$I_{ges}$	$I_{R1}$ <i>an <math>R_1 = 11 \Omega</math></i>	$I_{R3}$ <i>an <math>R_3 = 34 \Omega</math></i>
$I/mA$			

Auswertung:

Merke:

	Beobachtung:	Erklärung: (mit den Modellen)
1	In einer Reihenschaltung ist die Stromstärke <b>überall gleich groß</b> .	In einem geschlossenen Stromkreis bewegen sich die Elektronen <b>alle gleich</b> .
2	Bei in Reihe geschalteten Bauteilen ist der Spannungsabfall umso größer, je <b>größer</b> der Widerstandswert des Bauteils ist.	Ein großer Widerstand benötigt für die gleiche Stromstärke einen stärkeren Antrieb, d.h. eine höhere <b>Spannung</b> .

## Hausaufgabe:



Baut mithilfe der Simulation einen Stromkreis auf, bei dem zwei Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  in Reihe geschaltet sind.

- Verwende die Messinstrumente der Simulation, um wie im Unterricht die Spannung am Netzteil  $U_N$ , am ersten Widerstand  $U_1$  und am zweiten Widerstand  $U_2$  zu messen.
- Begründe mithilfe des **Murmelbahnmodells**, warum folgende Gleichung gelten muss:  
 $U_N = U_1 + U_2$

$$U_N =$$

$$U_1 =$$

$$U_2 =$$

## 9.2. Zusammenfassung der Reihenschaltung

In einer Reihenschaltung gilt:

Die Stromstärke ist im gesamten Stromkreis und an allen Bauteilen gleich groß:

$$I_{ges} = I_1 = I_2 = \dots$$

Die Spannung am Netzgerät  $U_N$  entspricht der Summe der an Bauteilen abfallenden Spannungen:

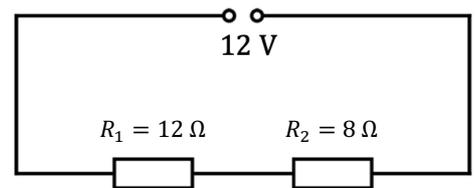
$$U_{ges} = U_1 + U_2 + \dots$$

## Arbeitsblatt zur Reihenschaltung:

### Aufgabe 1) Reihenschaltung von Widerständen

nach Wolfgang Lutz (phytet.de)

Zwei Widerstände ( $R_1 = 12 \Omega$  und  $R_2 = 8 \Omega$ ) werden in Reihe geschaltet und an eine Spannungsquelle mit  $12 V$  angeschlossen.

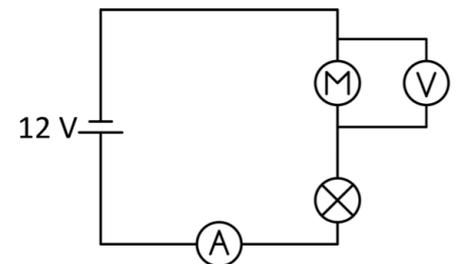


- Zeichne mit Hilfe der Farbdarstellung zunächst die elektrischen „Höhen“ in den rechten Schaltplan ein und mache dir damit plausibel, dass man anstatt der Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  auch EINEN Widerstand  $R_{12}$  mit  $R_{12} = R_1 + R_2$  verwenden kann.
- Bestimme hieraus zunächst die sich einstellende Stromstärke und dann die Teilspannungen an den Widerständen  $R_1$  und  $R_2$ .  
( $I = 0,60 A$ ;  $U_1 = 7,2 V$ ;  $U_2 = 4,8 V$ )

### Aufgabe 2) nach Wolfgang Lutz (phytet.de)

In der Schaltung rechts zeigt das Voltmeter eine Spannung von  $U_M = 8,4 V$  und das Amperemeter eine Stromstärke von  $I = 280 mA$  an.

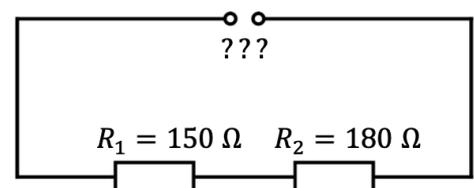
- Berechne die Widerstandswerte des Motors  $R_M$  und des Lämpchens  $R_L$ .  
( $U_L = 12 V - 8,4 V = 3,6 V$ ;  $R_M = \frac{U_M}{I} = 30 \Omega$ ;  $R_L = 13 \Omega$ )
- Leider leuchtet das Lämpchen nicht sehr hell. Was könntest du ändern, damit das Lämpchen heller leuchtet? Beschreibe drei Möglichkeiten.



### Aufgabe 3) Nochmal Reihenschaltung von Widerständen nach Wolfgang Lutz (phytet.de)

In einer Reihenschaltung sind zwei Widerstände mit den Widerstandswerten  $R_1 = 150 \Omega$  und  $R_2 = 180 \Omega$  verbaut. Berechne zunächst  $R_{12}$  (vgl. Aufgabe 2) und dann die Spannung die notwendig ist, damit es zu einer Stromstärke von  $46 mA$  kommt.

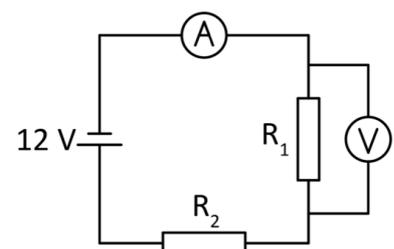
( $R_{12} = 330 \Omega$ ;  $U = 15 V$ )



### Aufgabe 4) Unbekannte Widerstände nach Wolfgang Lutz (phytet.de)

Alina und Bodo haben den rechts gezeichneten Schaltplan in einem Experiment nachgebaut. Am Amperemeter messen sie eine Stromstärke von  $25 mA$ .

- Berechne den Widerstandswert  $R_1$ , wenn  $R_2 = 120 \Omega$  ist.  
( $R_{ges} = 480 \Omega$ ;  $\rightarrow R_1 = 360 \Omega$ )
- Bestimme die Spannung, die das Voltmeter zeigt.  
( $U = I \cdot R = 9 V$ )



# 10. Komplexe Schaltungen

## A1 Parallel- und Reihenschaltungen mit drei Widerständen

Die drei Widerstände  $R_1 = 35,0 \Omega$ ,  $R_2 = 30,0 \Omega$  und  $R_3 = 25,0 \Omega$  werden **in Reihe** geschaltet und an eine Spannungsquelle mit  $12,0 \text{ V}$  angeschlossen.

- a) Fertige einen Schaltplan an.

Die drei Widerstände können durch einen einzigen Widerstand ersetzt werden, dessen Widerstandswert  $R_{123}$  die Summe der einzelnen Widerstände beträgt,

d.h.  $R_{123} = R_1 + R_2 + R_3$ .

- b) Berechne den Widerstandswert dieses „Ersatz“widerstandes nach der angegebenen Formel und die sich einstellende Gesamtstromstärke. ( $R_{ges} = 90,0 \Omega$ ;  $I = 0,133 \text{ A}$ )  
c) Berechne, wie groß die Spannungen an den einzelnen Widerständen sein müssen. ( $U_1 = I \cdot R_1 = 4,66 \text{ V}$ ;  $U_2 = 4,00 \text{ V}$ ;  $U_3 = 3,33 \text{ V}$ )  
d) Überprüfe deine Ergebnisse, indem du mithilfe der Simulation den Stromkreis mit den richtigen Werten nachbaust und die Gesamtstromstärke sowie die Spannungen an den einzelnen Widerständen misst.



Nun werden die Widerstände **parallel** zueinander geschaltet.

- e) Begründe ohne Rechnung, ob sich die Gesamtstromstärke im Vergleich zu Reihenschaltung vergrößert, verkleinert oder gleichbleibt.  
f) Überprüfe deine Vermutung, indem du den Stromkreis in der Simulation nachbaust und die Gesamtstromstärke misst.



## A2 Verschaltete Widerstände

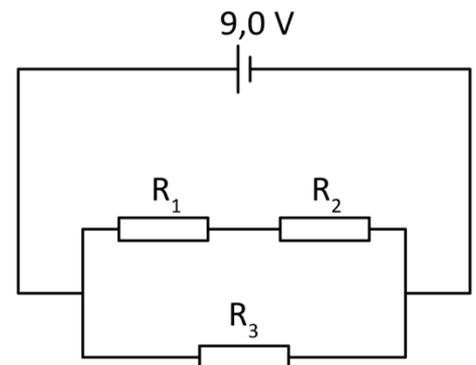
Gegeben ist der rechts abgebildete Schaltplan mit den Widerständen  $R_1 = 120 \Omega$ ,  $R_2 = 150 \Omega$  und  $R_3 = 220 \Omega$ . Als Spannungsquelle dient eine Batterie mit  $9,0 \text{ V}$ .

- a) Zeichne die elektrischen „Höhen“ mit den entsprechenden Farben ein.  
b) Beschreibe, wie die Widerstände zueinander geschaltet sind.  
c) Berechne die sich einstellenden Spannungen und die Stromstärken an jedem Widerstand.

$$(R_{12} = 270 \Omega \rightarrow I_{12} = I_1 = I_2 = \frac{U}{R_{12}} = 33 \text{ mA}; I_3 = \frac{U}{R_3} = 41 \text{ mA})$$

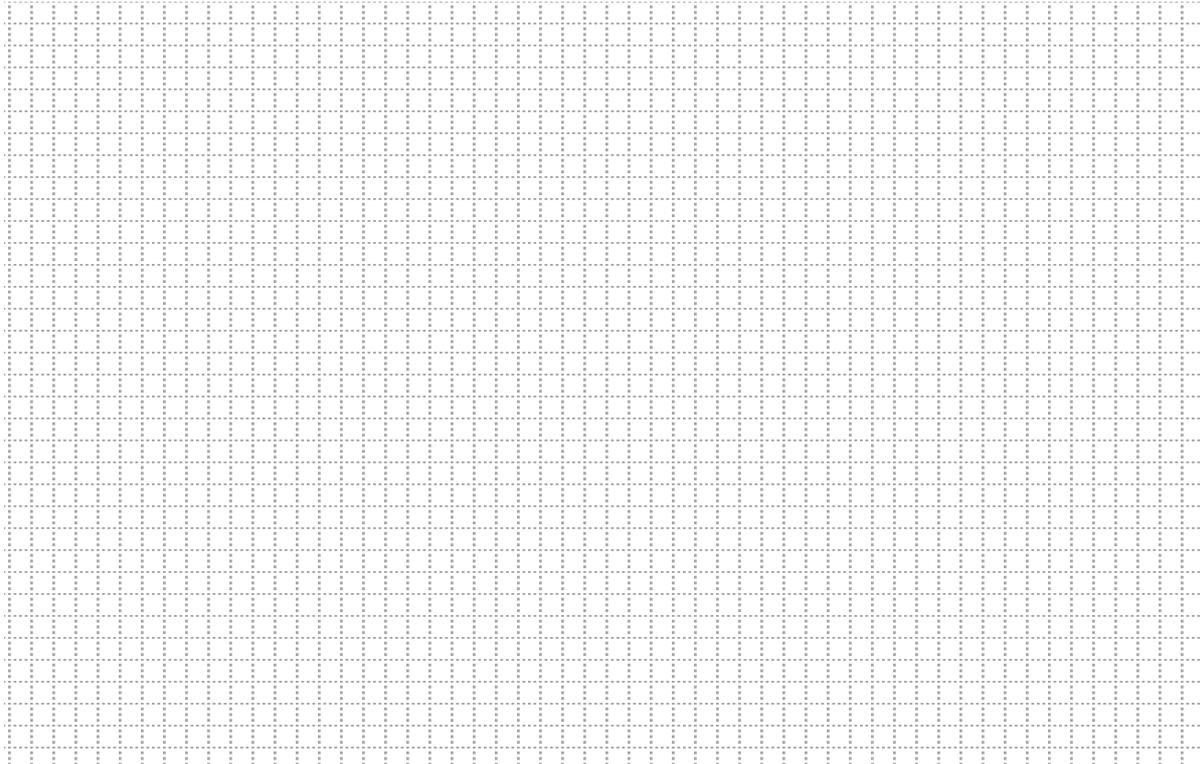
$$U_1 = I \cdot R_1 = 0,033 \text{ A} \cdot 120 \Omega = 4,0 \text{ V}; U_2 = I \cdot R_2 = 5,0 \text{ V}; U_3 = 9,0 \text{ V})$$

Tipp: Du kannst die Reihenschaltung aus  $R_1$  und  $R_2$  wie einen einzigen Widerstand  $R_{12}$  betrachten, für dessen Widerstandswert gilt:  $R_{12} = R_1 + R_2$



### Hausaufgabe:

- a) Recherchiere im Internet oder einer anderen Quelle was man unter einem Kurzschluss versteht. Fertige neben deiner Erklärung in Worten auch eine kurze Schaltskizze an.
- b) Erkläre, warum es bei einem Kurzschluss im Kabel sehr heiß wird.



# 11. Schaltungen im Haushalt

## A1. Sicherung

*In der Hausaufgabe hast du dich mit dem „Kurzschluss“ beschäftigt, welcher nicht nur die Kabel sehr stark erhitzen kann, sondern im schlechtesten Fall auch zu einem Feuer führt.*

Recherchiere im Internet oder einer anderen Quelle, welche Sicherheitsvorkehrung im Haushalt vorgeschrieben ist, um zu vermeiden, dass ein auftretender Kurzschluss schlimme Folgen hat. Beschreibe auch kurz, wie diese funktioniert.

*(Wird die Stromstärke zu groß, fliegt die Sicherung im Stromkreis heraus und verhindert z.B. einen möglichen Kabelbrand)*

## A2. Überlastung

*Schaltet man viele „Verbraucher“ (z.B. Waschmaschine und Fön und ...) parallel an eine Spannungsquelle an, so ist die Stromstärke in der Zuleitung sehr groß. Diese kann wie beim Kurzschluss sehr heiß werden und überhitzen, wenn keine Sicherung verbaut ist.*



Begründe mit Hilfe deines Wissens zum Widerstand in der Parallelschaltung, warum die Stromstärke immer größer wird, wenn man mehr „Verbraucher“ in der Parallelschaltung hinzufügt! Du kannst dazu auch die PUMA Simulation nutzen.



## A3. RCD-Schalter (FI-Schalter)

Informiere dich unter der angegebenen Website über den Fehlerstromschutzschalter.

- Gib an, auf welcher „Wirkung des elektrischen Stroms“ er beruht. (Wärmewirkung, Leuchtwirkung, **magnetische Wirkung**)
- Überlege dir eine konkrete reale Situation, welcher Defekt z.B. in einer Nachttischlampe mit Metallgehäuse passieren müsste, damit der RCD-Schalter auslöst. **(Berührt durch einen Defekt der Phasenleiter in der Lampe das (mit dem Schutzleiter verbundene) Metallgehäuse, löst der RCD-Schalter aus, da die Summe aus hin- und rücklaufender Stromstärke nicht mehr identisch sind)**



<https://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/stromwirkungen/ausblick/fehlerstromschutzschalter>

Zusatz: Wie hätte sich der Defekt bemerkbar gemacht, wenn KEIN RCD-Schalter verbaut gewesen wäre? **(Ohne RCD-Schalter würde jede Person, welche die defekte Lampe berührt, mit Netzspannung in Berührung kommen)**