

## Wichtige Informationen zum Versuch

### Allgemeine Hinweise:

Sie können in dieser Anleitung alle Überlegungen, Messwerte und Rechnungen festhalten.

Werden Sie gebeten, eine Vermutung anzustellen, geht es nicht um die „richtige“ Antwort; Sie sollen tatsächlich Ihre eigene Vorhersage notieren. Vermutungen werden in der Regel zu einem späteren Zeitpunkt in den Versuchsteilen noch einmal aufgegriffen und überprüft, sodass Ihnen am Ende auch die korrekte Antwort bekannt ist.

### Symbole in der Anleitung:

	<b><u>Sicherheitshinweis:</u></b> Dieser ist sorgfältig zu lesen und <u>unbedingt zu befolgen</u> .
	Umbauanweisung
	Infobox
	Hilfekarte
	Kontrollkarte

**I. Zur Erinnerung**

**Beschreiben Sie in je einem Satz die Begriffe elektrischer Strom, Stromstärke und Spannung.**


**Erstellen Sie eine „Je..., desto...-Regel“ zum Zusammenhang zwischen Spannung und Stromstärke in einem einfachen Stromkreis.**

--

**I. Zur Erinnerung**

**Beschreiben Sie in je einem Satz die Begriffe elektrischer Widerstand, Leitwert, spezifischer Widerstand und spezifische Leitfähigkeit.**

(Der Satz kann sich auf den Zusammenhang der Größen untereinander beziehen.)


**Nennen Sie die mathematische Definition des elektrischen Widerstandes.**

--

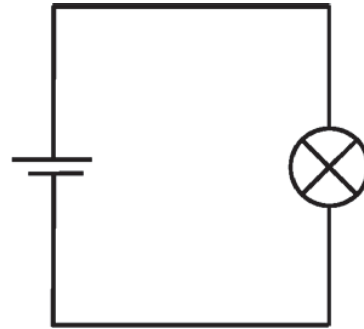
### Wie muss ein Stromstärkemessgerät in einen Stromkreis eingebaut werden?

Es muss ...

- in Reihe  parallel

... zu dem entsprechenden Bauteil eingebaut werden.

**Zeichnen Sie das Messgerät entsprechend in die rechte Schaltskizze ein.**



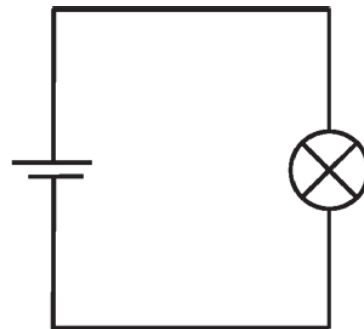
### Wie muss ein Spannungsmessgerät in einen Stromkreis eingebaut werden?

Es muss ...

- in Reihe  parallel

... zu dem entsprechenden Bauteil eingebaut werden.

**Zeichnen Sie das Messgerät entsprechend in die rechte Schaltskizze ein.**

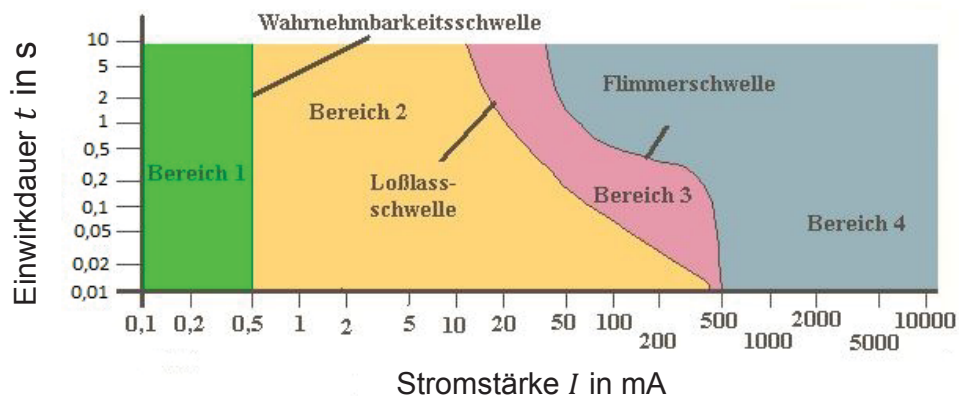


## II. Elektrischer Strom im menschlichen Körper

Wird der menschliche Körper in einen Stromkreis eingebracht, kann dies tödliche Folgen haben (Stromunfall). Häufigste Todesursache ist durch Reizung der Herzmuskeln hervorgerufenenes Kammerflimmern bzw. Herzstillstand.

Je höher die Stromstärke, desto größer der Schaden am Organismus.

Je höher die Stromstärke (im Herzen) und je höher die Einwirkdauer des Stromes, desto wahrscheinlicher endet der Unfall tödlich.



Eine Person schließt versehentlich mit dem eigenen Körper einen Stromkreis. Die Stromstärke beträgt  $I = 20 \text{ mA}$ . Nach welcher Einwirkdauer ist die so genannte Loslassschwelle überschritten?

Wie hoch muss die Spannung sein, damit diese Stromstärke erreicht wird?

Welche Größe müsste Ihnen bekannt sein, um die vorherige Frage zu beantworten?

In den folgenden Versuchsteilen werden Sie Messungen an „Personenmodellen“ durchführen, deren elektrische Widerstände durch so genannte Metallschichtwiderstände realisiert sind.

Verwenden Sie in den folgenden Versuchen immer das vorliegende Netzteil. Die dort einstellbaren Spannungen liegen weit unter der berührunggefährlichen Spannung.

**Es besteht also keine Gefahr.**

Im nächsten Versuchsteil sollen Sie den elektrischen Widerstand einer „Person“ über die *gleichzeitige* Messung von Spannung und Stromstärke ermitteln.

Skizzieren Sie zwei verschiedene Varianten, wie die Messgeräte für Stromstärke und Spannung zusammen in einem einfachen Stromkreis eingebaut werden könnten.

--	--

Bei beiden Schaltungen wird die Messung einer Größe durch das Messgerät der anderen Größe verfälscht. Je eine Messgröße wird (im Bereich der Messunsicherheit) genau gemessen. Die Abweichung der Messwerte von den idealen Werten hängt davon ab, in welchem **Größenbereich** der Widerstand des Stromkreises liegt.

**Benennen Sie die beiden Schaltungen auf der letzten Karte danach, welche der Größen „richtig“ gemessen wird.**



Lassen Sie sich Kontrollkarte 1 zur Überprüfung Ihrer Ergebnisse geben.



**Bauen Sie den Stromkreis von Kontrollkarte 3 auf. Ermitteln Sie durch Messung der Stromstärke bei einer Spannung von 1V den Körperwiderstand der Person A.**

**Ermitteln Sie in gleicher Weise nacheinander jeweils den Körperwiderstand der Personen B und C.**

(Wenden Sie dazu das Ohmsche Gesetz an.)

**Halten Sie Ihre Messwerte auf Karte 10 fest.**



Falls Sie Schwierigkeiten bei dem Einbau der Multimeter zur Stromstärke- und Spannungsmessung haben, lassen Sie sich Hilfekarte 1 geben.

Widerstandsbestimmung von Personen mit unterschiedlichem Fettanteil:

Person A	Person B	Person C
$U = 1V$	$U = 1V$	$U = 1V$
$I =$	$I =$	$I =$
$R =$	$R =$	$R =$

**Identifizieren Sie die Person mit dem höchsten/niedrigsten Fettanteil.**

**Tipp:** Fett leitet elektrischen Strom schlecht, daher führt ein hoher Fettanteil zu einem hohen elektrischen Widerstand des Körpers.

Höchster Fettanteil

 Person A Person B Person C

Niedrigster Fettanteil

 Person A Person B Person C

Angenommen, Person A und C sind in zwei Stromunfällen mit je gleicher Spannung involviert.

Können Sie aus Ihren Messdaten erschließen, welche der beiden Personen vermutlich die größeren Verletzungen haben wird? Welche Größe aus Ihren Messdaten müssten Sie dafür kennen?

Der Fettgehalt einer Person lässt sich „per Anschauen“ zumindest vage einschätzen (niedrig, normal, hoch). Versuchen Sie, eine „Je..., desto...-Regel“ zu formulieren, wie das zu erwartende Risiko einer Schädigung mit dem (Körper-)Widerstand und dem Körperfettanteil zusammenhängt.

Sicher haben Sie vermutet, dass bei der Person mit dem geringeren Körperwiderstand (bzw. Fettgehalt) mit größeren Verletzungen zu rechnen ist.

Der gesamte elektrische Widerstand des Menschen im Stromkreis hängt jedoch auch von der Art und Weise des Kontakts mit der Spannungsquelle ab. Dies ist entscheidend dafür, wie hoch die Stromstärke im Stromkreis ist.

Im Folgenden sollen Sie Ihren eigenen elektrischen Widerstand in Abhängigkeit vom Kontakt bestimmen.

**Lassen Sie sich vom Betreuer/in einweisen, wie Sie dies durchführen sollen!**



Da mit berührungsungefährlichen Spannungen gearbeitet wird, besteht **keine Gefahr**.

**Personen mit Herzschrittmacher, implantiertem Defibrillator, implantierter Insulinpumpe oder anderen elektrischen Implantaten, sowie Schwangere dürfen dennoch dieses Experiment nicht durchführen.**

**Ermitteln Sie über eine Spannungs- und Stromstärkemessung Ihren eigenen Körperwiderstand in Abhängigkeit vom Kontakt.**

Nehmen Sie dazu die Kontaktstellen der Kabel in je eine Hand. Variieren Sie bei den Messungen die Kontaktstärke.

<b>Umschließender Kontakt</b> (sanft umschlossen)	$U =$	$I =$	$R =$
<b>Umschließender Kontakt</b> (fest umschlossen)	$U =$	$I =$	$R =$
<b>Punktuelle Kontakt</b> (sanft aufgesetzt)	$U =$	$I =$	$R =$
<b>Punktuelle Kontakt</b> (fest aufgesetzt)	$U =$	$I =$	$R =$

Vergleichen Sie den von Ihnen gemessenen Körperwiderstand mit dem durchschnittlichen (Innen-)Widerstandswert eines menschlichen Körpers von  $1200 \Omega$ .

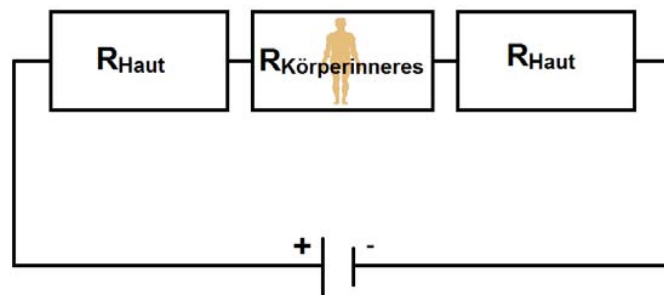
**Worin könnten die Unterschiede begründet liegen?**



Lassen Sie sich Kontrollkarte 2 zur Überprüfung Ihrer Vermutung geben.

**III. Arten von Stromkreisen**

Der von Ihnen gemessene Widerstand entspricht vereinfacht dem Gesamtwiderstand einer Schaltung aus Hautwiderstand und Körperinnenwiderstand.



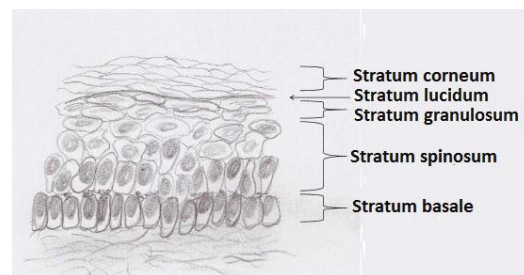
Welcher Schaltungsart entspricht diese Unterteilung des Gesamtwiderstands in Haut- und Körperinnenwiderstand?

Parallelschaltung

Reihenschaltung

Der Wert des Hautwiderstands ist nicht konstant. Er ist von verschiedenen Faktoren abhängig, unter anderem von

- der Dicke der Haut und
- dem Feuchtigkeitsgehalt der äußeren Hautschicht (Stratum corneum).



Schichten der Epidermis [1]

Die unteren Hautschichten besitzen im Allgemeinen eine gute Leitfähigkeit.

Bei welcher Beschaffenheit der äußeren Hautschicht - dick vs. dünn sowie feucht vs. trocken - würden Sie von einem großen bzw. kleinen elektrischen Hautwiderstand ausgehen?



Lassen Sie sich Kontrollkarte 3 zur Überprüfung Ihrer Vermutung geben.

Untersuchen Sie, wie sich in der Reihenschaltung der **Gesamtwiderstand** aus Körperinnenwiderstand, Hautwiderstand und angezogenen Handschuhen verhält!



Modellieren Sie jedes der drei Szenarien (I. ohne Haut und ohne Handschuhe; II. mit Haut und ohne Handschuhe; III. mit Haut und Handschuhen) mit den entsprechenden Widerständen und bestimmen Sie den Gesamtwiderstand der sich ergebenden Reihenschaltung über eine Stromstärke- und Spannungsmessung.

	Hautwiderstand $R_{\text{Haut}}$	Gesamtspannung $U_{\text{Ges}}$	Gesamtstromstärke $I_{\text{Ges}}$	Gesamtwiderstand $R_{\text{Ges}}$
Ohne Haut, ohne Handschuhe	$R_{\text{Haut}} = 0 \Omega$	$U_{\text{Ges}} =$	$I_{\text{Ges}} =$	$R_{\text{Ges}} =$
mit Haut, ohne Handschuhe	$R_{\text{Haut}} =$	$U_{\text{Ges}} =$	$I_{\text{Ges}} =$	$R_{\text{Ges}} =$
mit Haut, mit Handschuhen	$R_{\text{Haut}} =$	$U_{\text{Ges}} =$	$I_{\text{Ges}} =$	$R_{\text{Ges}} =$



Falls Sie Schwierigkeiten beim Einbau der Multimeter zur Messung der Gesamtstromstärke und -spannung haben, lassen Sie sich Hilfekarte 2 geben.

**Vergleichen Sie die Gesamtwiderstände und ergänzen Sie:**

Der elektrische Widerstand einer Schaltung wird \_\_\_\_\_ (größer/kleiner), wenn zusätzliche Widerstände **in Reihe** geschaltet werden.

Ist ein hoher Hautwiderstand vor dem Hintergrund des Gefahrenpotentials eines Stromunfalls positiv oder negativ zu bewerten? Beziehen Sie sich auf den daraus resultierenden Effekt auf die Stromstärke.

Nennen Sie Beispiele, bei denen Sie vage abschätzen können, ob der Hautwiderstand bzw. der Gesamtwiderstand gering bzw. hoch sein müsste.



Für eine **Reihenschaltung** gilt:

Werden in einem elektrischen Stromkreis mehrere Widerstände  $R_i$  in Reihe geschaltet, so ergibt sich folgender Gesamtwiderstand  $R_{\text{Ges}}$ .

Gesamtwiderstand = Summe der Einzelwiderstände

$$R_{\text{Ges}} = \sum R_i = R_1 + R_2 + \dots + R_i$$

Prüfen Sie, ob die von Ihnen ermittelten Werte der Gesamtwiderstände auf Karte **18** näherungsweise dieser Gesetzmäßigkeit entsprechen.

Erstellen Sie eine „Je..., desto...-Regel“ zum Zusammenhang zwischen der Anzahl in Reihe geschalteter Widerstände und dem Gesamtwiderstand der Reihenschaltung.

Sie erinnern sich vermutlich noch an Regel R 1.6 „Strom kann nicht verschwinden“ aus der Vorbereitung, die auf Reihenkreise übertragen lautet:

**Die Stärke des Stroms ist in einer Reihenschaltung überall gleich.**

Wenn die Stromstärke überall gleich ist, wie ist es für die Spannung über jedem Widerstand? Notieren Sie Ihre Vermutung!



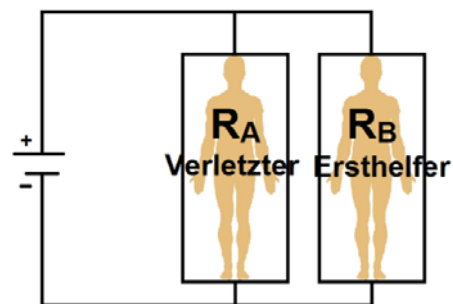
In einer **Reihenschaltung** muss zwischen der **Gesamtspannung** und der Spannung, die über den einzelnen Widerständen abfällt, unterschieden werden.

Stellen Sie eine Vermutung auf, wie der Zusammenhang zwischen Gesamtspannung und Einzelspannungen beschrieben werden kann.



Lassen Sie sich Kontrollkarte 4 zur Überprüfung Ihrer Vermutung geben.

Bevor Ersthelfer an einer Unfallstelle eines Stromunfalls die betroffene Person versorgen, sollten diese sicherstellen, dass die Person von der Spannungsquelle getrennt ist. Andernfalls geraten sie selbst, wie im Schaltbild skizziert, mit in den Stromkreis!



**Welcher Schaltungsart entspricht diese Kombination aus Verletztem und Ersthelfer?**

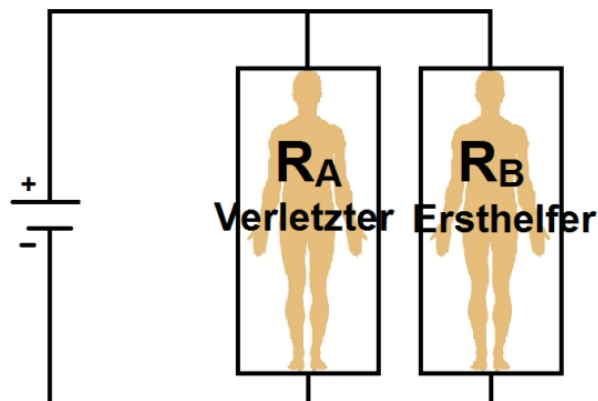
Parallelschaltung

Reihenschaltung

Überlegen Sie, warum es unwahrscheinlich ist, dass sich der Ersthelfer wie in der nicht von Ihnen angekreuzten Variante in den Stromkreis einbringt.

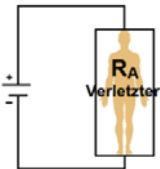
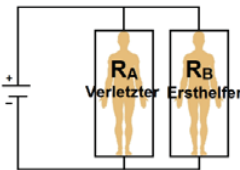
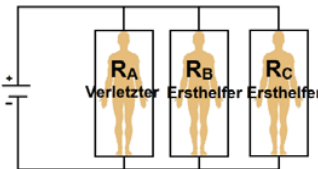
Stellen Sie sich vor, ein Ersthelfer wollte einer Person im Stromkreis helfen, ohne diese vorher vom Stromkreis zu trennen. Er selbst ist nun Teil des Stromkreises. Wie hoch ist die Stromstärke im Stromkreis? Wie hoch ist das Verletzungsrisiko für die Personen?

Um die Fragen im Modellexperiment beantworten zu können, müssen entsprechende Messgeräte verwendet werden. Zeichnen Sie in die abgebildete Schaltung ein, wo die jeweiligen Messgeräte einzubauen sind, um die **Gesamtspannung** sowie die **Gesamtstromstärke spannungsrichtig** zu messen.



Lassen Sie sich die Kontrollkarte 5 zur Überprüfung Ihrer Schaltskizze geben.

Ermitteln Sie über die Messungen der Gesamtstromstärke bei dem vorgegebenen Wert der Gesamtspannung jeweils den Wert des Gesamtwiderstands.

		Gesamtspannung $U_{\text{Ges}}$	Gesamtstromstärke $I_{\text{Ges}}$	Gesamtwiderstand $R_{\text{Ges}}$
	Schaltung mit einem Widerstand	$U_{\text{Ges}} = 1 \text{ V}$	$I_{\text{Ges}} =$	$R_{\text{Ges}} =$
	Parallelschaltung mit 2 Widerständen	$U_{\text{Ges}} = 1 \text{ V}$	$I_{\text{Ges}} =$	$R_{\text{Ges}} =$
	Parallelschaltung mit 3 Widerständen (bzw. zwei Ersthelfern, die im physikalischen Praktikum nicht aufgepasst haben ☺)	$U_{\text{Ges}} = 1 \text{ V}$	$I_{\text{Ges}} =$	$R_{\text{Ges}} =$

Vervollständigen Sie die Aussagen auf Basis Ihrer Messwerte:

- 1) Der elektrische Widerstand einer Schaltung \_\_\_\_\_ (vergrößert/verkleinert) sich, wenn zusätzliche Widerstände **parallel** geschaltet werden.
- 2) Je mehr Widerstände parallel geschaltet werden, desto \_\_\_\_\_ wird der Gesamtwiderstand.
- 3) Je mehr Widerstände parallel geschaltet werden, desto \_\_\_\_\_ wird die Gesamtstromstärke.



Für eine Parallelschaltung gilt:

Werden in einem elektrischen Stromkreis mehrere Widerstände  $R_i$  parallel geschaltet, so ergibt sich folgender Gesamtwiderstand  $R_{\text{Ges}}$ :

$$\frac{1}{R_{\text{Ges}}} = \sum \frac{1}{R_i} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_i}$$

Überlegen Sie: Steigt oder fällt der Gesamtwiderstand in einer Parallelschaltung mit jedem zusätzlichen Widerstand?

Prüfen Sie, ob die von Ihnen ermittelten Werte der Gesamtwiderstände auf Karte 25 näherungsweise dieser Gesetzmäßigkeit entsprechen (die elektrischen Widerstände der einzelnen Personen können Sie auf Karte 10 nachschlagen).

Gerät ein Ersthelfer zusätzlich zum Verletzten parallel in den Stromkreis, so \_\_\_\_\_ (vergrößert/verkleinert) sich der Gesamtwiderstand. Dadurch \_\_\_\_\_ (steigt/sinkt) die Gesamtstromstärke.

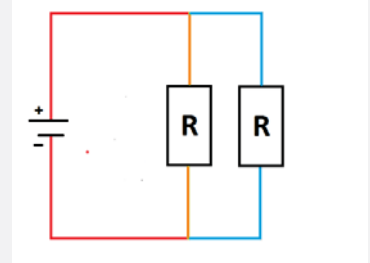
Hat die Änderung der Gesamtstromstärke Auswirkungen auf das Gefahrenpotential für den Verletzten? Notieren Sie Ihre Vermutung.



In einer **Parallelschaltung** muss zwischen der **Gesamtstromstärke** und den **Teilstromstärken** in den einzelnen Zweigen unterschieden werden.

Im **roten** Bereich kann die Gesamtstromstärke gemessen werden.

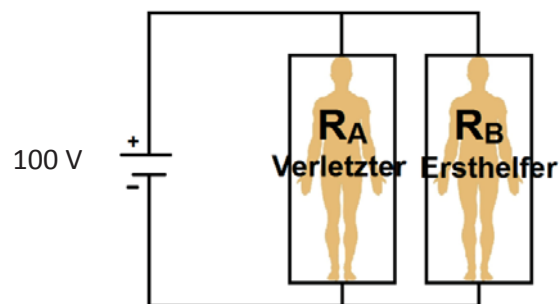
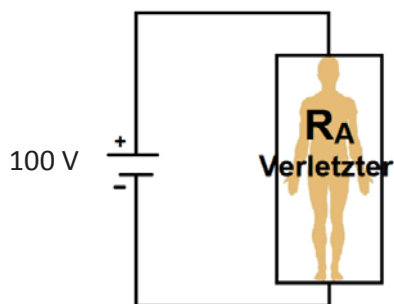
Im **orange** bzw. **blau** markierten Zweig kann die Teilstromstärke der einzelnen Zweige gemessen werden.



Die Gesamtstromstärke ergibt sich aus der Summe der Teilstromstärken in den einzelnen Zweigen.

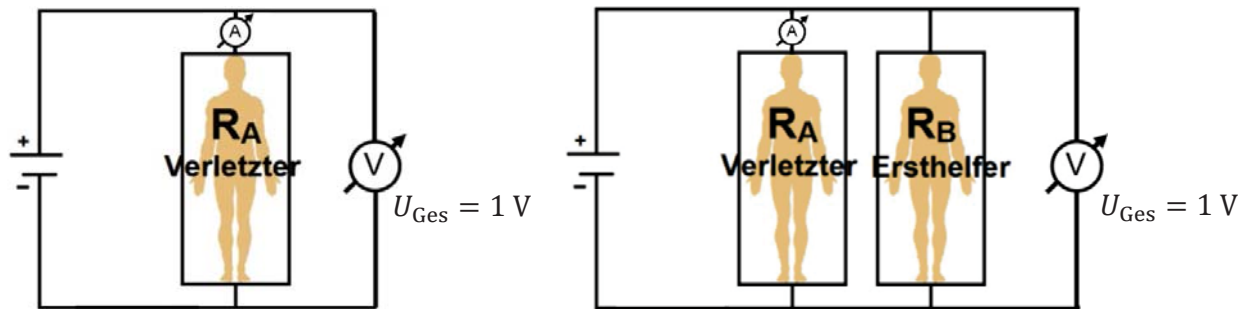
Für die Spannung in einer Parallelschaltung gilt, dass diese über allen Zweigen den gleichen Wert aufweist, wie die von der Spannungsquelle gelieferte Spannung.

Überprüfen Sie Ihre Vermutung von Karte 28, indem Sie die **Teilstromstärke** in dem Zweig der **verletzten Person A** für beide Fälle (mit/ohne Ersthelfer) berechnen und miteinander vergleichen.



Im Vergleich zur Situation **ohne** Ersthelfer ist die Stromstärke im Zweig der verletzten Person **mit** Ersthelfer  niedriger  gleich  höher

Prüfen Sie Ihre Vermutung experimentell. Nutzen Sie die beiden unteren Schaltskizzen. Beachten Sie, dass Sie die Spannungsquelle so einstellen, dass  $U_{\text{Ges}} = 1 \text{ V}$  ist (bei  $U_{\text{Ges}} = 100 \text{ V}$  besteht Verletzungsgefahr und kann daher nicht eingestellt werden).



**Diskutieren Sie: Ändert sich das Verletzungspotential für Person A, wenn gleich zwei Ersthelfer Fehler begehen und auch in den Stromkreis geraten?**

#### IV. Kombinierte Schaltungen

Wie groß das Verletzungspotential für eine Person im Stromkreis ist, hängt auch davon ab, welche Körperteile und Organe betroffen sind. Bei einem Stromunfall wird unterschieden, mit welchen Körperteilen der Stromkreis geschlossen wurde. An den Kontaktstellen des Körpers mit der Spannungsquelle entstehen **oftmals Strommarken**, die Aufschluss über den so genannten „Stromweg“ durch den Körper geben. Sind solche Strommarken sichtbar, so wurde dort die Haut „durchschlagen“.

Es ist **kein Hautwiderstand** mehr vorhanden!



1



2



3

Verschiedene Strommarken [2]

Diskutieren Sie: Auf welchen „Stromweg“ deuten die Strommarken (2,3) hin? Welche „Stromwege“ wären noch wahrscheinlich?

Die Unterscheidung verschiedener „Stromwege“ ist aus medizinischen Gründen sinnvoll, da diese eine unterschiedliche Letalität aufweisen. Den aufgeführten Daten liegen nur Unfälle mit sichtbaren **Strommarken** zugrunde.

Stromweg und Letalität			
Stromweg	Anzahl der Unfälle		Letalität L in %
	insgesamt	davon tödlich	
Hand-Hand	2891	82	2,84
Hand-Fuß	349	19	5,44
Hand-Füße	294	18	6,12
Hände-Fuß			
Hände-Füße	106	20	18,67

Bisher wurde herausgestellt, dass folgender Zusammenhang gilt:

„Je größer die Stromstärke im Körper ist, desto gefährlicher ist der Stromunfall.“ Die Stromstärke ist dabei auch von der Körperzusammensetzung (bspw. Fettgehalt) sowie vom Kontakt bzw. der Hautbeschaffenheit abhängig.

**Diskutieren Sie, bei welchem „Stromweg“ es vermutlich zur größten/niedrigsten Stromstärke kommt.**

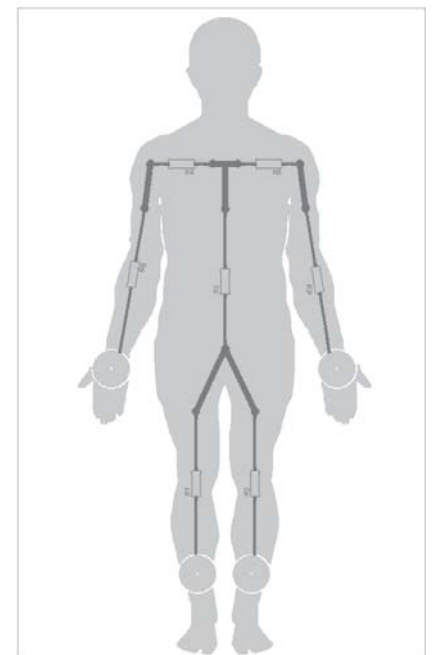
**Was muss in diesen Fällen für den Gesamtwiderstand des Weges gelten?**

Schauen Sie sich das Modell (D) eines Menschen an. Verschaffen Sie sich einen Überblick:

- 1) Welche „Stromwege“ bestehen nur aus einer Reihenschaltung der Widerstände?

- 2) Identifizieren Sie bei dem „Stromweg“ von einer Hand zu beiden Füßen den Bereich, in dem Widerstände parallel geschaltet sind.

- 3) Bei welchem „Stromweg“ sind zwei Parallelschaltungen enthalten?



Erstellen Sie rechts eine Schaltskizze für einen einfachen Stromkreis, bei dem der Mensch über linke Hand und rechte Hand mit dem Stromkreis verbunden ist.

Erstellen Sie rechts eine Schaltskizze für einen einfachen Stromkreis, bei dem der Mensch über beide Hände und einen Fuß mit dem Stromkreis verbunden ist.



Lassen Sie sich Kontrollkarte 6 zur Überprüfung Ihrer Schaltskizze geben.

Überprüfen Sie mittels Messung bei vorgegebenem Spannungswert, ob der Wert der Stromstärke allein ausschlaggebend für die Höhe der Letalität (Karte 33) ist.

Verwenden Sie dazu das vorhandene Menschenmodell.

Stromweg	Spannung $U_{Ges}$	Stromstärke $I_{Ges}$	Gesamtwiderstand $R_{Ges}$
Hand – Hand	$U_{Ges} = 2\text{ V}$	$I_{Ges} =$	$R_{Ges} =$
Hand – Fuß	$U_{Ges} = 2\text{ V}$	$I_{Ges} =$	$R_{Ges} =$
Hand – Füße	$U_{Ges} = 2\text{ V}$	$I_{Ges} =$	$R_{Ges} =$
Hände – Fuß	$U_{Ges} = 2\text{ V}$	$I_{Ges} =$	$R_{Ges} =$
Hände – Füße	$U_{Ges} = 2\text{ V}$	$I_{Ges} =$	$R_{Ges} =$



Falls Sie Hilfe bei der Schaltung der Multimeter zur Strom- und Spannungsmessung benötigen, lassen Sie sich die Hilfekarten 3 geben.

Vergleichen Sie die Werte der Stromstärken mit der Höhe der Letalität der verschiedenen „Stromwege“.

Bewerten Sie auf dieser Grundlage den folgenden Zusammenhang:  
Je größer die Stromstärke im Körper ist, desto größer ist die Letalität.

Stellen Sie Vermutungen auf, warum die Letalität nicht immer in direktem Zusammenhang mit dem Wert der Stromstärke steht.



Lassen Sie sich Kontrollkarte 7 zur Überprüfung Ihrer Vermutung geben.

## V. Elektrischer Strom im menschlichen Körper

Bisher wurden die Extremitäten, die Schultern und der Rumpf mit jeweils einem Metallschichtwiderstand simuliert. Der Körper besteht aber nicht aus Metall, sondern aus verschiedenen Gewebearten und Organen. Diese sind aus einzelnen Zellen aufgebaut, die hauptsächlich aus Wasser bestehen. Als nächstes soll daher untersucht werden, wie gut bzw. wie schlecht Wasser elektrischen Strom leitet.

Die gesuchte physikalische Größe im Versuch ist die so genannte spezifische Leitfähigkeit  $\sigma_{\text{Wasser}}$ . Sie verwenden dabei eine so genannte Messzelle, die mit Wasser gefüllt ist. Den elektrischen Kontakt zum Wasser in der Zelle stellen zwei Elektroden her. Da bei dieser Apparatur eine Wechselspannung angelegt werden muss, können Sie den elektrischen Widerstand nicht wie in den vorangegangenen Versuchsteilen bestimmen. Die so genannte Wheatstonesche Brückenschaltung eignet sich für diesen Zweck aber sehr gut.



Verwenden Sie die Wheatstonesche Brückenschaltung, um zunächst den elektrischen Widerstand der Messzelle zu bestimmen. Variieren Sie den variablen Widerstand (Dekade), bis die Brückenschaltung abgeglichen ist (das Oszilloskop zeigt eine Gerade an).



Falls Sie Schwierigkeiten beim Abgleichen der Brückenschaltung haben, lassen Sie sich die Hilfekarten 4 geben.

Für die von Ihnen verwendete Brückenschaltung gilt im abgeglichenen Zustand:

$$R_{\text{Dekade}} = R_{\text{Messzelle}}$$

$R_{\text{Dekade}} =$	$R_{\text{Messzelle}} =$
-----------------------	--------------------------

Sie haben zunächst den elektrischen Widerstand der Messzelle bestimmt. Die gesuchte spezifische Leitfähigkeit  $\sigma_{\text{Wasser}}$  ist aber eine Materialeigenschaft, also nicht mit der geometrischen Form des jeweiligen Bauteils (Länge  $l$  und Stirnfläche  $A$ ) verknüpft. Sie kann aber aus dem elektrischen Widerstand und der Geometrie des Bauteils bestimmt werden.

$$\sigma = \frac{l}{A} \cdot \frac{1}{R} = \frac{k}{R}$$

Für die verwendete Messzelle ist  $k = \frac{l}{A}$  die so genannte Zellenkonstante, wobei  $l$  der Abstand der Elektroden und  $A$  die Oberfläche der Elektroden ist.

**Berechnen Sie die spezifische Leitfähigkeit  $\sigma$  des Wassers:**

Die Zellenkonstante  $k$  ist auf der Messzelle abgedruckt.

Die spezifische Leitfähigkeit  $\sigma_{\text{Wasser}}$  beträgt:

$\frac{1}{\Omega \cdot \text{m}}$
-----------------------------------

## Gedankenexperiment: Ein Mensch als Leiter

Stellen Sie sich den stromdurchflossenen Teil des menschlichen Körpers als eine Perlenkette einzelner Zellen vor, die insgesamt eine Länge  $l = 1,6 \text{ m}$  aufweist. Als Stirnfläche der Zellen nehmen Sie  $A = 100 \text{ mm}^2$  an. Da diese „Zellenkette“ eine Reihenschaltung darstellt, können Sie diese auch als eine große Zelle mit den Stirnflächen  $A = 100 \text{ mm}^2$  und der Länge  $l = 1,6 \text{ m}$  simulieren. Die Zellenkonstante der großen „Menschenzelle“ wäre demnach:

$$k_{\text{Mensch}} = \frac{l}{A} = \frac{1,6 \text{ m}}{100 \text{ mm}^2} = \frac{1,6 \text{ m}}{100 \text{ mm}^2} = \frac{1,6 \text{ m}}{100 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} =$$

**Wie groß ist der elektrische Widerstand  $R$  der „Menschenzelle“, wenn diese nur aus Wasser bestünde?**

In der Literatur wird für den menschlichen Körper ein Widerstandswert von durchschnittlich  $1200 \Omega$  angegeben.

**Weshalb „passen“ beide Werte nicht zusammen?**



Lassen Sie sich Kontrollkarte 8 zur Überprüfung Ihrer Ergebnisse geben.



Die Zellflüssigkeiten sind nicht mit normalem Wasser zu vergleichen, da in der Zellflüssigkeit viele Elektrolyte gelöst sind. Sinnvoller wäre hier, eine Kochsalzlösung zu verwenden, da auch hier viele Elektrolyte gelöst sind.

**Führen Sie erneut eine Widerstandsmessung mit der Brückenschaltung durch, um den elektrischen Widerstand der Messzelle mit Kochsalzlösung zu ermitteln.**

$R_{\text{Dekade}} =$

$R_{\text{Messzelle}} =$

**Berechnen Sie die spezifische Leitfähigkeit  $\sigma$  der Kochsalzlösung:**

**Wie groß wäre der Widerstand  $R$  der großen „Menschenzelle“ aus dem Gedankenexperiment (Karte 41), wenn diese nur aus der Kochsalzlösung bestünde?**

 $\Omega$ 

**Weshalb „passt“ auch dieser Wert nicht mit dem Literaturwert zusammen?**



Lassen Sie sich Kontrollkarte 9 zur Überprüfung Ihrer Ergebnisse geben

Nehmen Sie an, Sie haben in einem ähnlichen Verfahren jeweils den spezifischen Widerstand bzw. die spezifische Leitfähigkeit von verschiedenen Geweben und Organen bestimmt.

Spezifische Leitfähigkeit von biologischem Gewebe (frequenzabhängig):

Organ/Gewebe	Spezifischer Widerstand $\rho$ in $\Omega \cdot \text{m}^2/\text{m}$	Spezifische Leitfähigkeit $\sigma$ in $1/(\Omega \cdot \text{m})$
Blut	1,6	0,63
Muskel, Niere, Herz	2	0,5
Leber, Milz	3	0,34
Gehirn	7	0,14
Lunge	10	0,1
Fett	33	0,03

Ein „Stromweg“ ist nie nur eine Reihenschaltung von Zellen durch den Körper. Vielmehr fließt auch Strom durch das umliegende Gewebe. In einem „Stromweg“ werden also viele parallel geschaltete Reihenschaltungen aus Körperzellen zusammengefasst. Dies erklärt auch, dass die Stromstärke nicht in jedem Organ gleich ist.

Stellen Sie sich vor, verschiedene Organe (Herz und Milz) seien in verschiedenen Reihenschaltungen, die parallel zu einander geschaltet sind, in einem Stromkreis eingebaut. Beide Reihenschaltungen bestehen aus gleich vielen, gleich großen Zellen. Auch die Anzahl der „Organzellen“ sind/seien gleich. Die beiden Reihenschaltungen unterscheiden sich nur durch die Art der „Organzellen“.

**Versuchen Sie mit Blick auf die vorherige Karte zu begründen, weshalb die Stromstärke in den „Herzzellen“ größer ist als in den „Milzzellen“.**



Lassen Sie sich Kontrollkarte 10 zur Überprüfung Ihrer Ergebnisse geben

## VI. Defibrillator



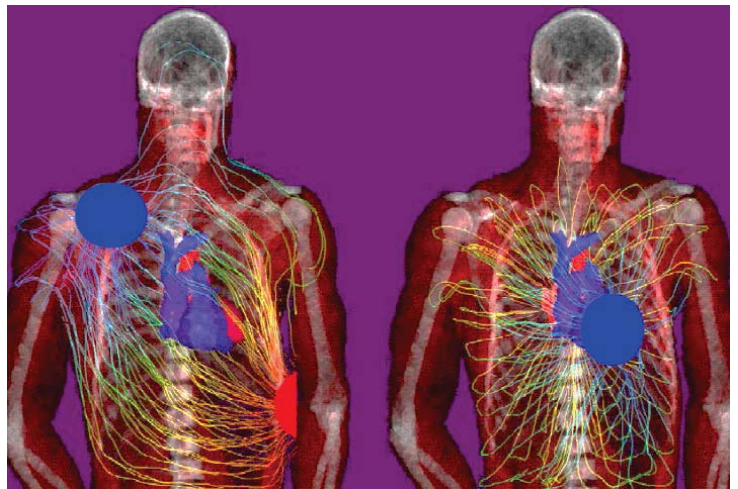
Bisher wurde nur die letale Schädigung des Organismus durch elektrischen Strom betrachtet. Der Effekt der stimulierten Reizung des Herzens hat aber auch einen positiven Nutzen!

Mit Hilfe eines Defibrillators kann ein „flimmerndes“ Herz depolarisiert werden, so dass nach der Reanimation die vom Sinusknoten gesendeten Reize wieder zu einem normalen Herzschlag führen. Der Defibrillator stellt eine Spannungsquelle dar. Über zwei Elektroden wird ein Teilbereich des menschlichen Körpers als Widerstand in den Stromkreis eingebaut. Die Positionen der Elektroden werden so gewählt, dass das Herz mit einer hohen Stromstärke durchflossen wird. Selbst bei optimaler Elektrodenposition liegt der Anteil der Stromstärke im Herzen nur bei etwa 4 % der Gesamtstromstärke. Der Stromkreis wird für 2 ms bis 20 ms geschlossen.

**Wie muss man die Schaltung simulieren, damit die Stromstärke im Herzen kleiner als die Gesamtstromstärke ist?**

**Welche Größe wird am Defibrillator angepasst, um eine definierte Stromstärke im Herzen zu erhalten?**

**Welche Größe muss dem Defibrillator „bekannt“ sein, um die oben genannte Größe anpassen zu können?**



Optimale Elektrodenpositionen, links anterior/anterior und rechts anterior/posterior (eine Elektrode ist am Rücken angebracht) [3]

**Diskutieren Sie mit Bezug zu der Abbildung rechts, weshalb es schädlich wäre, durch Erhöhen der Spannung eine sehr hohe Gesamtstromstärke zu erzeugen.**



Bevor die benötigte Spannung angelegt wird, wird von automatischen Defibrillatoren der Körperwiderstand zwischen den Elektroden gemessen.

Ist die Gesamtstromstärke oder die Einwirkdauer zu groß, kann es im schlimmsten Fall zu thermischen Schädigungen kommen (z. B. Strommarken). Um das Gewebe und die Organe im Brustkorb davor zu schützen, wird nicht nur die Stromstärke durch Einstellen der Spannung begrenzt, sondern auch die Einwirkdauer  $\Delta t$ .

Die elektrische Energie verknüpft die zwei Größen des Stromkreises (Spannung, Stromstärke) und deren Einwirkdauer  $\Delta t$  auf den Körper. Sie ist definiert durch:

$$E = U \cdot I \cdot \Delta t$$

Am Defibrillator kann daher häufig die elektrische Energie im Bereich von 200 bis 400 Joule ( $1 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot \text{s} = 1 \text{ V} \cdot \text{A} \cdot \text{s}$ ) eingestellt werden.

**Wie hoch sollte die Stromstärke im Herzen bei einer Defibrillation mindestens sein, damit es depolarisiert wird? (Nutzen Sie die Grafik auf Karte 6)**

Nehmen Sie an, ein automatischer Defibrillator hat bei der Elektrodenposition anterior-anterior einen Körperwiderstand von  $R = 100 \Omega$  gemessen. Die maximale elektrische Energie, die vom Defibrillator bereitgestellt wird, ist auf  $E = 300 \text{ J}$  eingestellt.

**Wie groß ist die Stromstärke im Herzen, wenn der Stromkreis für  $\Delta t = 15 \text{ ms} = 15 \cdot 10^{-3} \text{ s}$  geschlossen wird?**



Sie wissen nicht, wie Sie das rechnen sollen? Dann lassen Sie sich Hilfekarte 5 geben.

Würde die Einstellung am Defibrillator noch ausreichen, wenn der elektrische Widerstand zwischen den Elektroden  $R = 120 \Omega$  aufweisen würde, um das Herz zu depolarisieren?

## VII. Hochfrequenz-Chirurgie (HF Chirurgie)



Bisher wurde nur der Einfluss auf den Organismus durch elektrischen Strom betrachtet, der zu einer gewollten oder ungewollten Reizung von Zellen führt. Die zweite Auswirkung auf den Organismus ist die thermische Zellschädigung (Verbrennung / Verkochung). Strommarken (Karte 32) sind eindeutige Beispiele für diese Wirkung.

Je höher die Stromstärke in der Querschnittsfläche eines Leiters ist, desto stärker wird diese Fläche erwärmt. Die so genannte Stromdichte  $J$  ist definiert als das Verhältnis aus Stromstärke  $I$  und Leiterquerschnittsfläche  $A$  ( $J = \frac{I}{A}$ ).

Die Temperaturerhöhung  $\Delta T$  der Querschnittsfläche  $A$  hängt quadratisch mit der Stromdichte zusammen:

$$\Delta T \sim J^2$$

## VI. HF Chirurgie

**Begründen Sie mit Hilfe der Stromdichte, weshalb eine thermische Zellschädigung eher an den Kontaktstellen zum Stromkreis als im Körperinneren auftritt.**



Der thermische Effekt auf den Organismus wird in der Hochfrequenzchirurgie genutzt, um Gewebe zu schneiden oder eine Blutstillung zu erreichen (Koagulation). Ungewollte Reizung von Muskeln und Nerven treten bei Gleichspannung und Wechselspannung mit Frequenzen bis 100000 Hz auf.

Daher wird bei der HF-Chirurgie üblicherweise mit Wechselspannung von bis zu mehreren tausend Volt mit 300000 Hz gearbeitet (daher auch die Bezeichnung).

Die Wechselspannung wird von einem HF-Generator bereitgestellt.

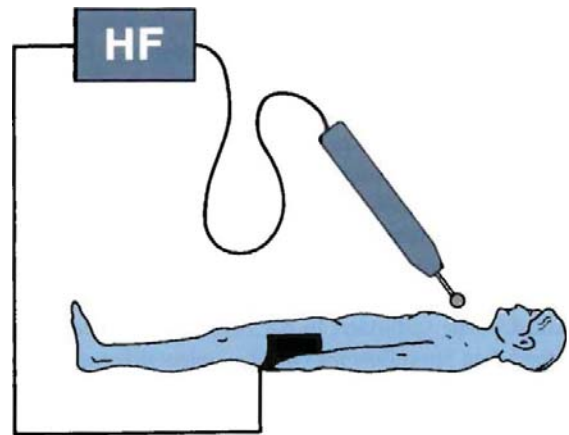
Über zwei Elektroden (Aktiv- und Neutralelektrode, wobei mindestens die Aktivelektrode das Instrument darstellt) wird das zu schneidende oder zu koagulierende Gewebe mit dem Stromkreis verbunden.

In der Abbildung ist ein Aufbau zum Schneiden schematisch dargestellt.

Identifizieren Sie in der Abbildung folgende Bauteile:

- Spannungsquelle
- Widerstand
- Aktiv- und Neutralelektrode

**Beschriften Sie die Bauteile in der Abbildung!**



Aufbau zum monopolaren Schneiden [4]

**Überlegen Sie, weshalb hier keine thermischen Schädigungen am Oberschenkel des Patienten entstehen.** (Tipp: Nutzen Sie den Infokasten auf Karte 51.)

Schauen Sie sich die Abbildung auf der letzten Karte noch einmal an. Zeichnen Sie eine Schaltskizze des Versuchsaufbaus. Nutzen Sie folgende Schaltzeichen:

Hochfrequenzgenerator	Widerstand	Aktivelektrode	Neutralelektrode

Überlegen Sie, weshalb es für Personal bei der Hochfrequenzchirurgie vorgeschrieben sein könnte, spannungssichere Handschuhe zu tragen.

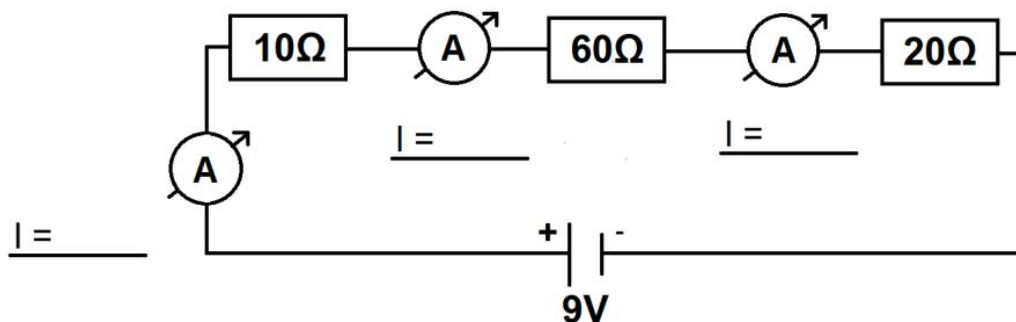


Lassen Sie sich Kontrollkarte 11 zur Überprüfung Ihrer Überlegungen geben.

### VIII. Alles klar?

#### Übungsaufgaben zur Karte 21: Stromstärke in einer Reihenschaltung

In die folgende Reihenschaltung wurden mehrere Amperemeter geschaltet. Bestimmen Sie die Werte, die diese anzeigen würden.



Lassen Sie sich Kontrollkarte 12 zur Überprüfung Ihrer Ergebnisse geben.

### Übungsaufgaben zur Karte 20: Gesamtwiderstand einer Reihenschaltung

Angenommen, die Personen A, B und C mit unterschiedlichem Fettanteil halten sich gerade an den Händen (Reihenschaltung), als sie in einen Stromunfall verwickelt sind.

- Wie groß ist der Gesamtwiderstand der Schaltung aus diesen drei Personen? (Entnehmen Sie die Einzelwiderstände ihren Messungen von Karte 10 und nehmen Sie vernachlässigbar kleine Hautwiderstände an.)
- Welche Gesamtstromstärke ergibt sich beim Anschluss an eine 2V Spannungsquelle?



Lassen Sie sich Kontrollkarte 13 zur Überprüfung Ihrer Ergebnisse geben.

### Übungsaufgaben zur Karte 21: Leuchten einer/mehrerer Lämpchen

Welcher Zusammenhang zwischen Einzel- und Gesamtwiderstand gilt laut der Gesetzmäßigkeit des Gesamtwiderstand einer Reihenschaltung ( $R_{\text{ges}} = R_1 + \dots + R_n$ )?

Je mehr Widerstände in Reihe geschaltet werden, desto \_\_\_\_\_ wird der Gesamtwiderstand der Reihenschaltung.

Nutzen Sie diese Kenntnis, um zu klären, warum mehrere in Reihe geschaltete Lämpchen weniger hell leuchten, als eine alleine. (Vgl. Aufgaben im E-Learning)

Je mehr Lämpchen in Reihe geschaltet werden, desto \_\_\_\_\_ ist deren Gesamtwiderstand.

Je größer der Gesamtwiderstand in einer Reihenschaltung ist, desto \_\_\_\_\_ ist die Gesamtstromstärke (bei gleicher Spannung).

Je \_\_\_\_\_ die Stromstärke, desto weniger hell leuchten die Lämpchen.



Lassen Sie sich Kontrollkarte 14 zur Überprüfung Ihrer Ergebnisse geben.

### Übungsaufgaben zur Karte 27: Gesamtwiderstand einer Parallelschaltung

Angenommen, in einem Stromkreis sind drei verschiedene Widerstände mit  $R_1 = 20\Omega$ ,  $R_2 = 100\Omega$  und  $R_3 = 25\Omega$  parallel geschaltet.

- Wie groß ist der Gesamtwiderstand dieser Schaltung?
- Welche Gesamtstromstärke ergibt sich beim Anschluss an eine Spannungsquelle mit 2V?

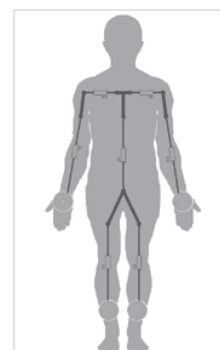


Lassen Sie sich Kontrollkarte 15 zur Überprüfung Ihrer Ergebnisse geben.

### Übungsaufgaben zur Karte 34: Kombinierte Schaltungen

Schauen Sie sich die Schaltskizze auf Karte 34 noch einmal an.

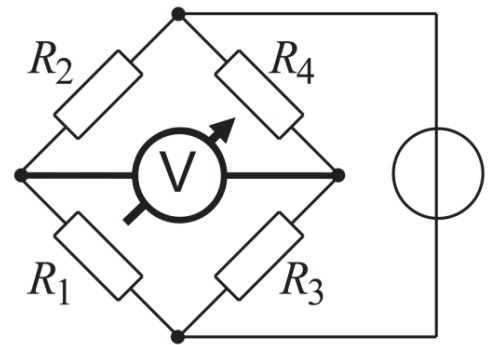
Der Widerstand beider Schulterpartien und Arme ist im Modell jeweils identisch. Je einer Schulterpartie kann ein Widerstand von  $120\Omega$  zugeordnet werden. Ermitteln Sie unter Verwendung des von Ihnen bestimmten Gesamtwiderstands des Stromwegs von Hand zu Hand (Karte 36) den Widerstandswert eines Arms.



Lassen Sie sich Kontrollkarte 16 zur Überprüfung Ihrer Rechnung geben.

### Übungsaufgaben zur Karte 39: Wheatstonesche Brückenschaltung

Identifizieren Sie in der nebenstehenden Schaltskizze der Wheatstoneschen Brückenschaltung die Bereiche, in denen Widerstände parallel bzw. in Reihe angeschlossen sind.



**Begründen Sie über die Spannungsabfälle an den einzelnen Widerständen, weshalb für  $R_1 = R_2$  im abgeglichenen Zustand  $R_3 = R_4$  gelten muss.**



Falls Sie Schwierigkeiten mit der Begründung haben, lassen Sie sich Hilfekarte 6 geben.

Angenommen, die folgende Brückenschaltung ist abgeglichen.

Die Spannungsquelle liefert eine Spannung von  $U_0 = 10 \text{ V}$ . Die Widerstände weisen folgende Werte auf:  $R_1 = 6 \Omega$ ;  $R_2 = 4 \Omega$ ;  $R_4 = 7,5 \Omega$

**Begründen Sie über die Spannungsabfälle an den einzelnen Widerständen, weshalb der Wert des gesuchten Widerstandes  $R_3 = 5 \Omega$  ist.**

**In welchem mathematischen Zusammenhang stehen die Widerstände der einzelnen Parallelkreise zueinander?**



Lassen Sie sich Kontrollkarte 17 zur Überprüfung Ihrer Überlegung geben.

### Übungsaufgaben zur Karte 51: HF-Chirurgie

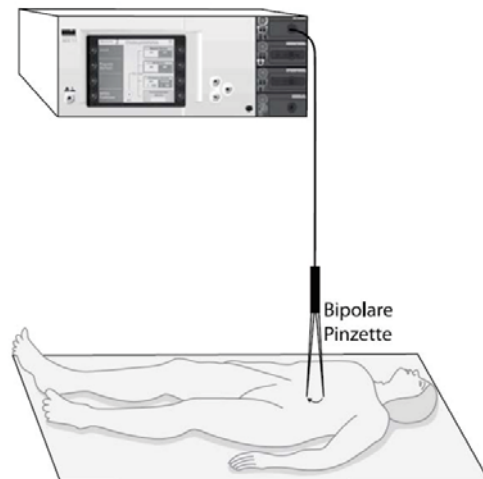
In der Abbildung (rechts) ist der Aufbau zum so genannten bipolaren Schneiden mit einer Pinzette schematisch dargestellt.

**Überlegen Sie, wie die Verbindung zwischen HF-Generator und den Elektroden aufgebaut sein muss, damit der Stromkreis geschlossen ist.**

Identifizieren Sie in der Abbildung folgende Bauteile:

- Spannungsquelle
- Widerstand
- Aktiv- und Neutralelektrode

**Beschriften Sie die Bauteile in der Abbildung**



Aufbau zum bipolaren Schneiden [5]

Nehmen Sie an, dass eine Stromdichte von  $J = 1,5 \text{ mA/mm}^2$  zu einer Temperaturerhöhung von  $\Delta T = 1^\circ\text{C}$  innerhalb einer Sekunde führt.

Stellen Sie sich vor, das Gerät (Karte 63) wird ordnungsgemäß verwendet. Die Stromdichte im Gewebe zwischen den Enden der Pinzette (Neutral- und Aktivelektrode) sei:

$$J = 15 \text{ mA/mm}^2$$

**Wie lange dauert es, das Gewebe um  $100^\circ\text{C}$  zu erwärmen?**



Lassen Sie sich Kontrollkarte 18 zur Überprüfung Ihrer Überlegung geben.

## Abschluss

**Herzlichen Glückwunsch, Sie haben den Versuch 7  
Stromkreise und Leitfähigkeit  
erfolgreich bearbeitet.**

Heften Sie Ihre „Schmierzettel“ und Ihre Vorbereitungsdokumentation hinten an.  
Geben Sie dann alle Unterlagen bei Ihrer Betreuerin/Ihrem Betreuer ab.

**Vielen Dank für Ihre Teilnahme!**

### Abbildungsverzeichnis:

- |     |                                  |  |
|-----|----------------------------------|--|
| [1] | Schichten der Epidermis          | <a href="http://edoc.ub.uni-muenchen.de/11428/1/Zaps_Daniela.pdf">http://edoc.ub.uni-muenchen.de/11428/1/Zaps_Daniela.pdf</a> S. 10 [08.04.2015]   |
| [2] | Verschiedene Strommarken         | 1: Kunz, S.N., Brandtner, H. & Monticelli, F. (2012). Elektrischer Strom im menschlichen Körper, S. 4.<br>2: <a href="https://m.thieme.de/viamedici/klinik-faecher-notfallmedizin-1539/a/stromschlag-4190.htm">https://m.thieme.de/viamedici/klinik-faecher-notfallmedizin-1539/a/stromschlag-4190.htm</a> [08.04.2015]<br>3: <a href="http://www.notmed.info/mkelekt.html">http://www.notmed.info/mkelekt.html</a> [08.04.2015] |
| [3] | Optimale Elektrodenpositionen    | Schönegg, M. <i>Impedanzunabhängige Defibrillation mit physiologischer Impulsform</i> . Univ., DisspKarlsruhe--Karlsruhe, 2008. Retrieved from <a href="http://digbib.ubka.uni-karlsruhe.de/volltexte/1000011487">http://digbib.ubka.uni-karlsruhe.de/volltexte/1000011487</a> [08.04.2015]  |
| [4] | Aufbau zum monopolaren Schneiden | Kramme, R. (Ed.). (2007). <i>Medizintechnik: Verfahren - Systeme - Informationsverarbeitung ; mit 170 Tabellen</i> (3. Aufl). Heidelberg: Springer, S. 522.  |
| [5] | Aufbau zum bipolaren Schneiden   | Aschemann, D. (Ed.). (2009). <i>OP-Lagerungen für Fachpersonal</i> . Heidelberg: Springer, S. 41. Retrieved from <a href="http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-79317-5">http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-79317-5</a> [08.04.2015]  |