

Spannungsmessung im Physikunterricht

1.a

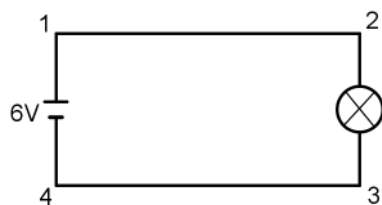
Der Begriff der elektrischen Spannung bereitet vielen Schülerinnen und Schülern erhebliche Lernschwierigkeiten. Beschreiben Sie zwei Schülervorstellungen, die zu Lernschwierigkeiten führen! Diskutieren Sie Möglichkeiten, wie diesen Schwierigkeiten im Unterricht begegnet werden kann!

Je nach Jahrgangsstufe und Schulart wird der Begriff der Spannung unterschiedlich definiert. Man spricht von der Potentialdifferenz, der Arbeit pro Ladung oder auch von der Kraft, welche die Elektronen im Leiter bewegt. Eine sehr einfache Variante wäre die Spannung nur als Ursache für den Strom zu benennen.

Vielen Schülern bereitet der Begriff der Spannung Lernschwierigkeiten. Das liegt vor Allem daran, dass Schüler nicht zwischen Strom und Spannung unterscheiden, der Strombegriff oft sogar dominiert. Dabei kann man zwei Vorstellungen differenzieren. Zum einen wird die Eigenschaft des Stromes, dass er nur im geschlossenen Stromkreislauf fließt, auch auf die Spannung übertragen. Man zeige Schülern verschiedene Bilder, auf denen man eine Batterie im Stromkreis, eine Batterie im nicht geschlossenen Stromkreis oder einfach nur eine Batterie sieht. Eine Vielzahl der Schüler wird behaupten, dass elektrische Spannung nur im Bild mit dem geschlossenen Stromkreis vorhanden ist. Daran erkennt man, dass die Schüler die Vorstellung haben, Spannung existiert nur im geschlossenen Stromkreis.

Eine zweite Schülervorstellung zeigt die falsche Beantwortung der folgenden Aufgabe:

Betrachte die folgende Schaltung



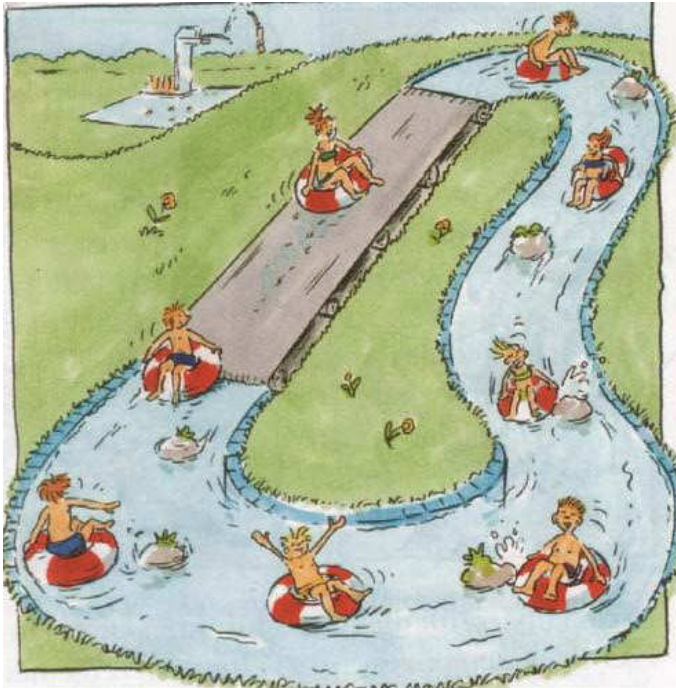
Wie groß ist in diesem Stromkreis die Spannung zwischen den Punkten

- 1 und 2
- 2 und 3
- 3 und 4?

Ein großer Anteil der Schüler gibt für alle drei Werte 6 Volt an. Diese falsche Antwort zeigt wieder die Übertragung von der Stromstärke zur Spannung. Da die Stromstärke im einfachen Stromkreislauf an allen Stellen gleich ist, wird diese Eigenschaft auch für die Spannung angenommen.

Um diesen Vorstellungen der Schüler zu begegnen, besteht die Möglichkeit, eine Analogie zum Stromkreislauf zu finden. D.h. der Lehrer versucht den Sachverhalt „elektrischer Stromkreis“ mit einem für die Schüler mehr vertrauten Kreislauf zu vergleichen. Ein bekanntes Beispiel dafür wäre ein Wasserkreislauf, aber das Verhalten des Wassers im Kreislauf ist Schülern nicht vertraut. Eine ganz andere Analogie ist das sog. „Rutschenmodell“. Dieses soll im Folgenden vorgestellt werden.

Zunächst werden die relevanten Bauteile der Rutschanlage den entsprechenden Bestandteilen/Größen des Stromkreises zugeordnet.



Förderband entspricht der Batterie.

Anzahl der pro Zeit vorbei rutschenden Kinder entspricht der Stromstärke.

Höhendifferenz entspricht der Spannung.

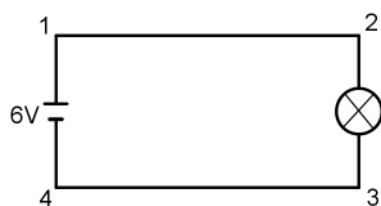
Wasserbahnen entsprechen den elektrischen Leitungen.

Rutsche entspricht dem Verbraucher

Damit die Kinder rutschen können, müssen sie vorher mit Hilfe des Förderbandes nach oben befördert werden. Sie werden also auf eine gewisse Höhe gebracht. Die Höhendifferenz entspricht der Spannung. Auf den Stromkreis übertragen heißt es dann, damit Strom fließen kann, muss Spannung anliegen.

Um die anfangs genannten Fehlvorstellungen der Schüler zu widerlegen kann, man folgende Vergleiche ziehen: Während die Anlage in Betrieb ist, schließt der Bademeister aus Sicherheitsgründen die Rutsche, das Förderband transportiert jedoch weiterhin Kinder nach oben, die nun nicht mehr rutschen. Die Vorstellung „Spannung ist nur im geschlossenen Stromkreis vorhanden“ kann man mit dem Vergleich zum Stromkreis nun leicht ausräumen. Denn für den Stromkreis bedeutet das Sperren der Rutsche eine Öffnung des Stromkreises. Dass die Kinder nicht mehr Rutschen können heißt: der Strom kann nicht mehr fließen. Die Höhendifferenz bleibt bestehen zeigt: die Spannung ist weiterhin vorhanden.

Um auch die zweite Fehlvorstellung zu beseitigen wird die beschriebene Aufgabe nochmals genutzt.



Die Eckpunkte des Stromkreises werden jetzt mit denen der Rutsche verglichen.

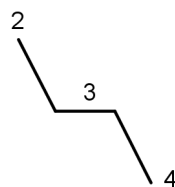
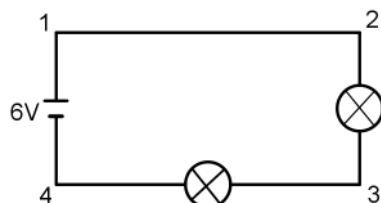
Nummer 1: Kinder sind am oberen Ende des Förderbandes

Nummer 2: Anfang der Rutsche

Nummer 3: Ende der Rutsche

Nummer 4: Anfang des Förderbandes.

Den Höhenunterschied im Rutschenmodell können die Schüler leicht bestimmen. Sie wissen, dass ein Unterschied nur an der Rutsche und am Förderband besteht. Ziehen sie den Vergleich zum Stromkreis wird es verständlich, dass nur zwischen den Punkten 1 und 4 sowie 2 und 3 Spannung vorhanden ist. Mit Hilfe der Analogie lassen sich auch Aufgaben, welche eine Steigerung zur vorherigen sind, leicht bearbeiten. So können sich Schüler leicht überlegen, was eine Reihenschaltung (oder auch Parallelschaltung) von zwei gleichen Lämpchen bewirkt.



Ein zweites Lämpchen entsprache einer zweiten Rutsche. Die Höhe, die das Förderband überwinden muss,

wird auf beide Rutschen gleichmäßig aufgeteilt, da diese gleich groß sind. Für den Stromkreis heißt es, dass an beiden Lämpchen die gleiche Spannung anliegt.

Weitere Analogien zum Stromkreislauf wären: das Fahrradketten-Modell, das Stäbchenmodell oder das Energiehut-Modell.

1.b

Beschreiben Sie drei konkrete Situationen bzw. Kontexte, anhand derer Schülerinnen und Schüler erfahren können, dass korrektes Messen von Spannungen interessant, nützlich oder notwendig sein kann!

Für Schüler **interessant** kann das Basteln einer Zitronenbatterie sein. Das Erstaunliche dabei ist, dass man mit Hilfe einer einfachen Frucht Spannung erzeugen kann. Man benötigt dazu lediglich eine Zitrone (andere Varianten: Apfel, Grapefruit), ein Zink- und ein Kupferblech sowie einen Spannungsmesser. Die beiden Bleche werden so in die Zitrone gesteckt, dass sie sich nicht berühren. Anschließend werden die beiden Bleche mit dem Spannungsmesser verbunden. Dieser zeigt eine Spannung von ca. 0,5-1,0 Volt an, eine LED könnte bei dieser Spannung eventuell schon zum Leuchten gebracht werden. Verbindet man mehrere Zitronenbatterie miteinander und verbindet diese, indem man je eine Kupfer- und eine Zinkplatte einer anderen „Batterie“ durch einen Draht verknüpft, kann man auch höhere Spannungen erhalten und damit z.B. eine Lampe zum Leuchten bringen. Würde man beim Beispiel Zitronenbatterie nicht korrekt messen, könnte man die auftretende Spannung eventuell nicht wahrnehmen.

Bei einigen Geräten ist es **nützlich** die Spannung, welche angelegt werden soll, vorher zu messen. Ältere Spannungsquellen neigen dazu, oft nicht den richtigen Wert anzuzeigen. Bei manchen empfindlichen und oft auch teuren Geräten ist jedoch Vorsicht geboten, denn eine zu hohe Spannung kann diese zerstören. Das gleiche gilt auch für einfache Glühbirnen. Deshalb ist es sinnvoll, vorher ein Voltmeter anzuschließen um die korrekte Spannung zu messen.

Das korrekte Messen von Spannungen wird **notwendig**, wenn mit den gemessenen Werten Berechnungen angestellt werden sollen. Beispielsweise soll die Größe eines ohmschen Widerstandes bestimmt werden. Man baue dazu eine Schaltung auf, aus der man die am Widerstand abfallende Spannung sowie die Stromstärke messen kann. Mit Hilfe des ohmschen Gesetzes und der gemessenen Werte kann der Widerstand berechnet werden. Wurde die Schaltung so aufgebaut, dass das Amperemeter richtig misst, das Voltmeter jedoch auch die Spannung am Innenwiderstand des Strommessa misst, kann es zu Fehlern in der Berechnung kommen. Dieser Fehler wird noch erhöht, wenn der Innenwiderstand des Amperemeters sehr groß ist, denn dann ist auch die abfallende Spannung groß.

2.

In einer Unterrichtseinheit wird das Messen von Spannungen behandelt. Skizzieren Sie daraus eine Unterrichtsstunde zum Thema "Messfehler durch zu kleinen Innenwiderstand eines Voltmeters"! Geben Sie erforderliche Lernvoraussetzungen, Lernziele (Angabe von Grob- und Feinzielen) und eingesetzte Medien an! Charakterisieren Sie das gewählte Unterrichtsverfahren und begründen Sie Ihre Wahl! Stellen Sie ausführlich dar, wie Sie experimentell erzielte Ergebnisse sichern!

Voraussetzungen: Die E-Lehre begegnet Schülern in verschiedenen Jahrgangstufen der Realschule. Eine Unterrichtsstunde zum Thema „Messfehler durch zu kleinen Innenwiderstand eines Voltmeters“ gehört zum Thema Widerstände, welches im bayerischen Lehrplan der 10. Klasse der RS angesiedelt ist. Die Themen Reihen- und Parallelschaltung gehen der Stunde voraus und sind auch Voraussetzung. Weiterhin wurde das ohmsche Gesetz behandelt. Außerdem besitzen die Schüler ein Wissen über die Existenz von Innenwiderständen bei Strom- und Spannungsmessern sowie bei Spannungsquellen.

Ziele: Das Grobziel der Unterrichtsstunde ist: „Die Schüler sollen erkennen, warum ein zu kleiner Innenwiderstand eines Voltmeters zu Fehlern führt.“

Feinziele sind:

- Das richtige Anschließen von Strom- und Spannungsmesser soll beherrscht werden.
- Das Zeichnen von Schaltskizzen soll geübt werden.
- Das Aufbauen von Schaltungen und Ablesen von Werten soll geübt werden.
- Die Schüler sollen bemerken, dass einige Messgeräte unterschiedlich genau messen.
- Die Schüler sollen erkennen, dass die Genauigkeit eines Voltmeters von seinem Innenwiderstand abhängt.
- Die Schüler sollen erfahren, dass ein großer Innenwiderstand eines Voltmeters am Besten geeignet ist.
- Die Schüler sollen ihr Wissen auf einen Strommesser übertragen können.

Unterrichtsablauf (Medien, Charakteristik, Ergebnissicherung):

Die Grobgliederung der Stunde sieht wie folgt aus:

- Wiederholung von Reihen- und Parallelschaltungen.
- Nachbau von Schaltungen und Messungen.
- Vergleich Messergebnisse, Suche nach dem Fehler.
- Erarbeitung: „Welcher Spannungsmesser ist besser?“
- Weiterführung: Innenwiderstand eines Strommessers.

Wiederholung von Reihen- und Parallelschaltung:

Zunächst werden in einem Lehrer-Schüler-Gespräch die Gesetzmäßigkeiten der Reihen- und Parallelschaltung wiederholt. Dazu wird eine einfache Schaltskizze jeder Schaltung mit zwei Widerständen an die Tafel gemalt. Unter jede Skizze werden die entsprechenden Gesetze (z.B. $U_{\text{ges}} = U_1 + U_2$) geschrieben.

Nachbau von Schaltungen und Messungen:

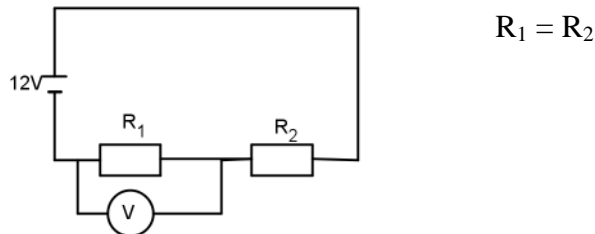
Die Schüler werden in Gruppen eingeteilt. Bei der Einteilung der Gruppen sollte darauf geachtet werden, dass keine zu große Gruppen entstehen, da sich sonst einige Schüler aus der Gruppe „ausklinken“ könnten. Da es sich um eine 10. Klasse handelt, sollte den Schülern die Einteilung jedoch weitestgehend selbst überlassen werden. Die Gruppenarbeit hat den Vorteil, dass die Schüler einen Stromkreis selbst aufbauen und diesen nicht nur vom Lehrer vorgegeben bekommen. Alle Gruppen erhalten die gleichen Aufträge:

Zwei gleiche Widerstände werden in Reihe geschaltet. Als Spannungsquelle dient eine 12 Volt Batterie. Die Spannung an einem der beiden Widerstände soll abgelesen werden.

1. Zeichnet eine Schaltskizze des Versuchs und baut den Versuch auf.
2. Messt für verschiedene Widerstandspaare die Spannung an einem der beiden Widerstände und notiert eure Ergebnisse.

Die verschiedenen Gruppen erhalten unterschiedliche Strommessgeräte, so dass verschieden gute Messergebnisse erzielt werden. Da es sich um eine sehr einfache Schaltung handelt, sollten alle Gruppen den richtigen Aufbau schaffen, ihre Schaltskizze kann dabei hilfreich sein. Schüler der 10. Klasse sind es gewohnt Messwertetabellen anzulegen. Ihre Notizen könnten also folgendermaßen aussehen:

Schaltskizze:



Messungen:

Gruppe 1 (gutes Messgerät)

R/Ω	10	50			
U/V	6	6			

Gruppe 2 (schlechtes Messgerät)

R/Ω	10	50			
U/V	5,7	4,8			

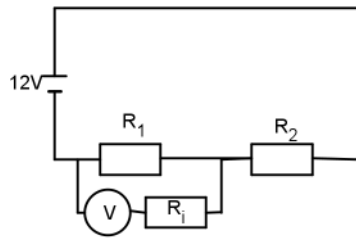
Vergleich Messergebnisse, Suche nach dem Fehler:

Nach der Gruppenarbeit werden die Ergebnisse gesammelt. Dazu werden die Ergebnisse aller Gruppen in eine Tabelle eingetragen. Die erste Zeile steht dabei für den Widerstand, die folgenden Zeilen für die gemessenen Spannungen der jeweiligen Gruppe (Zeile 2-Gruppe 1...). Da die Tabelle bei einer großen Anzahl an Gruppen sehr viele Zeilen hat, bietet sich eine Bearbeitung mit einem PC an. Hier können die Messwerte der einzelnen Gruppen in eine Excel-Tabelle eingetragen werden. Gruppen mit einem guten Messgerät haben ohnehin gleiche Ergebnisse, so dass diese kopiert werden können. Mit Hilfe eines Beamers kann das Ergebnis für alle sichtbar an eine Wand projiziert werden. Da die einzelnen Gruppen sehr unterschiedliche Ergebnisse erzielt haben wird eine Überlegung/Berechnung zur „richtigen“ Lösung angeführt. Da die beiden Widerstände gleich groß sind, teilt sich die Spannung der Batterie auf beide Widerstände gleichmäßig auf, am Widerstand (egal bei welcher Größe) müsste also eine Spannung von $12\text{V}:2 = 6\text{V}$ gemessen werden. Um Fehler in der Schaltung auszuschließen, werden die Schaltungen der einzelnen Gruppen verglichen. Sind diese korrekt muss der Fehler an etwas anderem liegen. Es entsteht die Idee, die Spannungsmesser zu vergleichen. Dabei fällt auf, dass gerade die Gruppen, deren Spannungsmesser sehr alt ist, schlechte Messergebnisse erzielten. Gruppen mit neueren Messgeräten erhielten dagegen Messwerte, die mit den berechneten Werten übereinstimmen.

Erarbeitung: „Welcher Spannungsmesser ist besser?“

Es entsteht also der Verdacht, dass die älteren Messgeräte ungenau sind. Es folgt ein Lehrer-Schüler-Gespräch, indem der Lehrer folgende Frage stellt: „Was könnte zu einer Verfälschung der Ströme und Spannungen führen, vergleicht eine Schaltung mit und ohne Voltmeter?“ Es ergibt sich die Antwort, dass auch durch das Voltmeter Strom fließt. Da dieser parallel zu einem der Widerstände geschaltet ist, wird der Strom, der durch diesen Widerstand fließt, kleiner.

Es stellt sich nun die Frage, wann mehr Strom durchs Voltmeter fließt. Um die richtige Antwort zu finden wird eine Schaltskizze an die Tafel gezeichnet, in diese wird jedoch auch der Innenwiderstand des Voltmeters eingezeichnet.



An dieser Skizze sieht man, dass die Schaltung aus einer Reihenschaltung aus dem Widerstand R_2 und dem Ersatzwiderstand R_P , aus der Parallelschaltung von R_1 und R_i , besteht.

Der Ersatzwiderstand berechnet sich nach den Gesetzen der Parallelschaltung: $R_P = \frac{R_i * R_1}{R_i + R_1}$.

Der Lehrer gibt der Klasse nun als Beispiel den Innenwiderstand $R_i = 100\Omega$ und die Widerstände $R_1 = R_2 = 50\Omega$ vor. Die Schüler erhalten den Auftrag, die Spannungen an den Widerständen R_1 und R_2 zu berechnen (Ergebnis: $U_1 = 4,8V$ und $U_2 = 7,2V$). Zusammen mit der Klasse wird nun die Formel des Ersatzwiderstandes R_P genauer betrachtet. Es stellt sich die Frage, wie der Innenwiderstand des Spannungsmessers sein muss, damit sich die Größe des Ersatzwiderstandes an R_1 annähert und die Messfehler somit geringer werden. Es stellt sich heraus, dass der Innenwiderstand sehr groß sein muss. Als Beispiel wird ein Innenwiderstand von $1\text{ M}\Omega$ getestet.

Weiterführung: Innenwiderstand eines Strommessers

Zur Vertiefung erhalten die Schüler folgenden Aufgabe:

Wie muss der Innenwiderstand eines Strommessers sein, damit der Messfehler möglichst gering bleibt. Zeichne eine Schaltskizze aus welcher der Messfehler erkenntlich wird.