

Handout: Zugänge zur Elektrizitätslehre – einfache Stromkreise

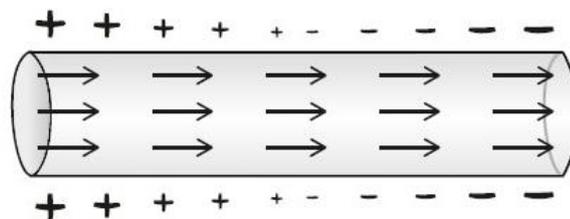
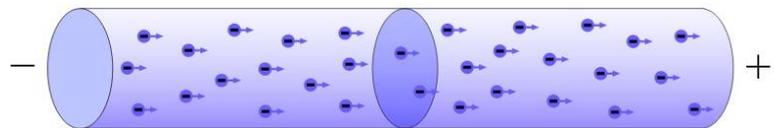
von Bergendahl & Lux (Vortrag vom 08.12.23)

Stromkreise im Kernlehrplan: siehe KLP NRW Physik Sek I für Kompetenzen

- Inhaltsfeld 2 (Elektrischer Strom und Magnetismus)
 - Aufbau/Bestandteile von Stromkreisen, Wirkungen von Strom
 - Keine explizite Nennung von Spannung, Widerstand und Stromstärke in Kompetenzen
- Inhaltsfeld 9 (Elektrizität)
 - Explizite Behandlung von Spannung, Ladung, Ladungstransport, Stromstärke, Widerstände und energetischen Betrachtungen (Beziehung untereinander, mathematisch)

Fachliche Einordnung

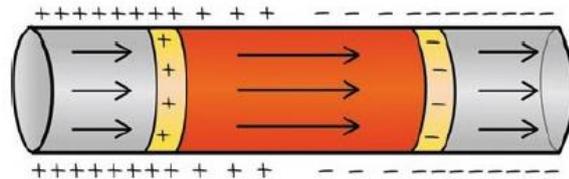
- Elektrische Stromstärke
 - Definition als Ladungsmenge, die pro Zeit durch einen Leiterquerschnitt fließt: $I = \frac{dQ}{dt}$
 - Stromfluss kann auf 2 verschiedene Arten definiert werden: technische Stromrichtung (Richtung, in die sich positiv geladene Teilchen bewegen würden) und physikalische Stromrichtung (Richtung, in die sich die geladenen Teilchen bewegen, im Stromkreis genau entgegengesetzt zu technischer Stromrichtung, denn Bewegung der Elektronen)
 - Stromstärke ist eine skalare, keine vektorielle Größe
- Elektrische Spannung
 - Zwei verschiedene Definitionen der elektrischen Spannung:
 - Spannung als Arbeit, die pro Ladung verrichtet werden muss um diese entgegen des elektrischen Feldes von einem Punkt zu einem anderen zu bewegen
 - Spannung als Potentialdifferenz (nur in wirbelfreien und somit konservativen Feldern, in denen keine Wegabhängigkeit besteht), Definition der Potentials an jedem Ort durch festsetzen des Nullpotentials
 - Mikroskopische Vorstellung: Elektrisches Feld im Stromkreis, welches die Spannung bedingt, kommt von der abfallenden Oberflächenladungsdichte



■ Abb. 8.2 Linear abfallende Oberflächenladungsdichte bei einem langen, homogenen zylindrischen Drahtstück mit nicht zu vernachlässigendem Widerstand (nach Muckenfuß und Walz 1997, S. 176)

- Elektrischer Widerstand
 - Mathematische Definition: $R=U/I$
 - Vorstellung mithilfe des Drude-Modells:

- Valenzelektronen im Leiter nur leicht gebunden
- Spannung versetzt Elektronen in Bewegung
- Elektronen stoßen mit Atomrümpfen (diese geraten in Schwingungen) -> höhere Temperatur & häufigere Stöße -> Widerstand wird größer
- Mikroskopische Vorstellung der Spannung an einem Widerstand: Stromstärke im gesamten Stromkreis gleich groß, im Widerstand jedoch größere Behinderung der Elektronen (mehr Stöße), daher größeres elektrisches Feld im Widerstand notwendig -> Grenzflächenladungen erzeugen dies (Vorstellung eines Staus der Elektronen vor dem Widerstand bis das elektrische Feld groß genug ist)



■ **Abb. 8.3** Grenzflächenladungen (gelbe Bereiche) zwischen einem Kupferdraht (grau) und einem Widerstandselement (orange) mit geringer Leitfähigkeit. Die Feldstärke des elektrischen Feldes wird durch die jeweilige Pfeillänge dargestellt (nach Härtel 2012b, S. 26)

Energieübertragung im elektrischen Stromkreis

- Poynting-Vektor beschreibt die **Energiestromdichte**, zeigt in die Raumrichtung des Energieflusses
- Berechnung mithilfe des Kreuzproduktes aus elektrischer Feldstärke und magnetischer Feldstärke: $\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$.
- Elektrisches Feld um den Leiter herum aufgrund der Oberflächenladungen und Stromfluss erzeugt magnetisches Wirbelfeld (Maxwellgleichungen)
- Energiestrom fließt immer von der Batterie zum Verbraucher -> zirkularer Ladungsträgerstrom und linearer Energiestrom

Schülerperspektive

Vorstellungen im Anfangsunterricht:

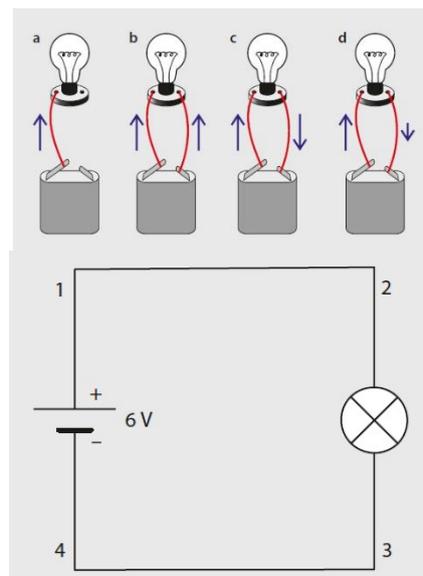
- „Es genügt ein Kabel von der Batterie zur Lampe.“
- „Erst in zwei Kabeln fließt genügend Strom.“
- „Man braucht einen Plus- und einen Minusstrom.“

Vorstellungen im Kontext von Spannung

- „Spannung ist eine Eigenschaft des elektrischen Stromes.“
- „Eine Batterie ist eine konstante Stromquelle.“

Strom als Brennstoff

- „Strom wird verbraucht.“
- „Strom wird geliefert.“
- „Die Stromstärke ist unabhängig vom Widerstand.“
- „Ein größerer Widerstand braucht mehr Strom.“



Wartet der Strom hinter der Steckdose?

Mir ist schon öfters aufgefallen, dass wenn ich ein Gerät in die Steckdose stecke es sofort funktioniert. Weshalb ist das so? Wartet der Strom hinter der Steckdose und ist deshalb sofort da? Oder ist der so schnell vom Kraftwerk da?

Danke für die Aufklärung!

Grundlegende Denkmuster

- Lokale Denkweise
- Sequenzielle Argumentation

Weitere Lernschwierigkeiten

- Erfassen von Parallelschaltungen
- Überführung realer Stromkreise in eine Schaltskizze und umgekehrt
- Schaltung von Messgeräten

Konzeptionen

1. Traditioneller Unterricht

Es gibt nicht den einen traditionellen Unterricht, häufige Vermischung verschiedener Ideen bezüglich Inhalt und Abfolge, häufig gesehen:

- **Elektrischer Strom** als Primärkonzept
 - Strom/Stromstärke häufig als erste zentrale Größe eingeführt und meiste Zeit gewidmet
 - Problem: SuS sehen Stromkreise oft nicht als zusammenhängendes System
- **Ohm'sches Gesetz** steht im Mittelpunkt
 - Meist quantitativ, oft als reines Formelwissen
 - Problem: konzeptionelles Verständnis fehlt; wird nicht als Spezialfall behandelt
- **Elektrische Spannung** nicht als Differenzgröße (Potentialdifferenz) eingeführt
 - Häufig eingeführt als „Arbeitsfähigkeit pro Ladung“ oder Antrieb des elek. Stroms
 - Problem: Wissen über Potential notwendig für konzeptionelles Verständnis

Lernwirksamkeit nach Forschung:

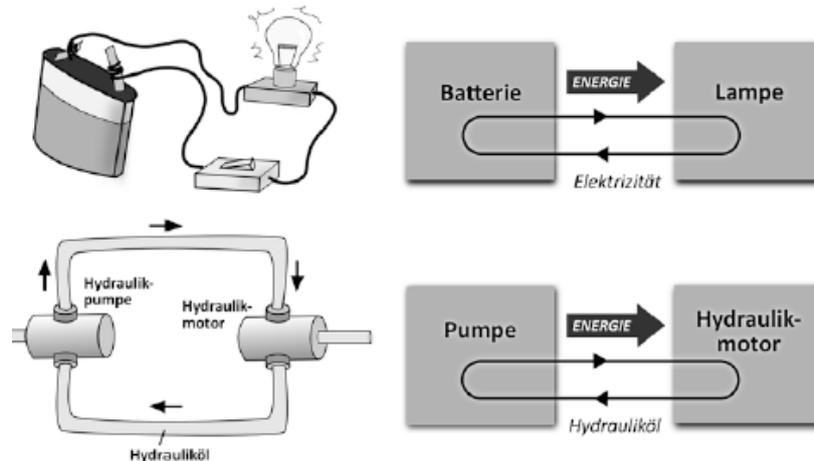
- SuS haben kein angemessenes konzeptionelles Verständnis einfacher Stromkreise
- Vorunterrichtliche Vorstellungen der SuS bleiben sehr stabil und resistent (sequentielle/lokale Argumentation, Stromverbrauchsvorstellung, Spannung als Stromeigenschaft etc.)

2. Stromkreis auf Basis eines ebenen Wasserkreislaufs

Nach Konzept „Wasserdruck als Potential“ vom Karlsruher Physikkurs (online frei verfügbar)

Grundidee: explizite Einführung des elektrischen Potentials, um Spannung als Potentialdifferenz behandeln zu können über **Analogie mit ebenen, geschlossenen Wasserkreislauf**

- Benutzung des Begriffs „Elektrizität“ anstatt Strom (weglassen Elektronen, Ladungen)
- Unterscheidung zirkulärer Elektrizitätsstromkreis und linearer Energiestromkreis
- Energetische Betrachtung rücken im weiteren Verlauf in Hintergrund



- **Stromstärke** als „Elektrizitätsmenge pro Zeit“ (Wasser-bzw. Ölmenge pro Zeit)
- **Elektrisches Potential** mit Wasserdruckanalogie eingeführt, Spannung als Potentialdifferenz (Wasserdruckdifferenz am Ein- und Ausgang der Pumpe), Spannung treibt Strom an
- **Ohm'sches Gesetz** als Spezialfall:
 - Über Schülerversuche und Aufnahme von U-I-Kennlinien wird Ohm'sches Gesetz als Spezialfall für Ohm'sche Widerstände eingeführt, **Widerstand** als $R=U/I$ eingeführt

Lernwirksamkeit nach Forschung:

- Ähnlicher Verständnisgrad einfacher Stromkreise wie beim traditionellen Unterricht
 - Problem: Analogie mit Wasserkreislauf setzt voraus, dass SuS Vorwissen zu Strömungsmechanik haben, häufig verstehen SuS auch Wasserkreislauf nicht
- Keine Vorteile bei Schülervorstellungen zu traditionellem Unterricht

3. Stromkreis als Energieübertragungssystem

Hauptziel: Die Lernenden erwerben Wissen, welches für sie in ihrer Erfahrungswelt bedeutsam ist.

Ansatz:

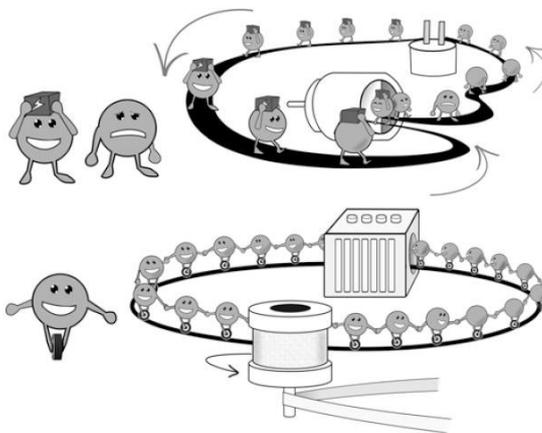
- Energieübertragung als Primärkonzept
- Analogie: Fahrradkette oder Generator, Antrieb -> Batterie, Behinderung -> Verbraucher
- Wichtigstes Konzept: Linearer Energiestrom, zirkularer Ladungsträgerstrom

Vergleich verschiedener Energieübertragungssysteme, Abgrenzung von Energieübertragungssystemen, bei denen das Trägermedium verbraucht wird (Kohletransport), Vergleich mit einer Fahrradkette, bei der das Trägermedium nicht verbraucht wird -> Herausarbeiten des linearen Energiestroms bei zirkularem Ladungsträgerstrom



■ Abb. 8.11 Verschiedene Systeme zur Energieübertragung im IPN-Curriculum (nach Härtel 2012a, S. 19)

Besprechung der Eigenschaft des Stromkreises als System (Abgrenzung von Rucksackmodell, bei dem die Elektronen alle einen eigenen Antrieb haben)



■ Abb. 8.12 Oben: Elektronen mit Einzelantrieb tragen Energie von der Batterie zum Motor (falsch). Unten: Elektronen bilden ein zusammenhängendes System, das extern angetrieben wird (richtig) (nach Härtel 1981a, S. 15 f.)

Anschließend aufgrund mangelnder Erweiterbarkeit Nutzung einer Wasseranalogie (Kolbenprobermodell) in der Konzeption

Lernwirksamkeit nach Forschung:

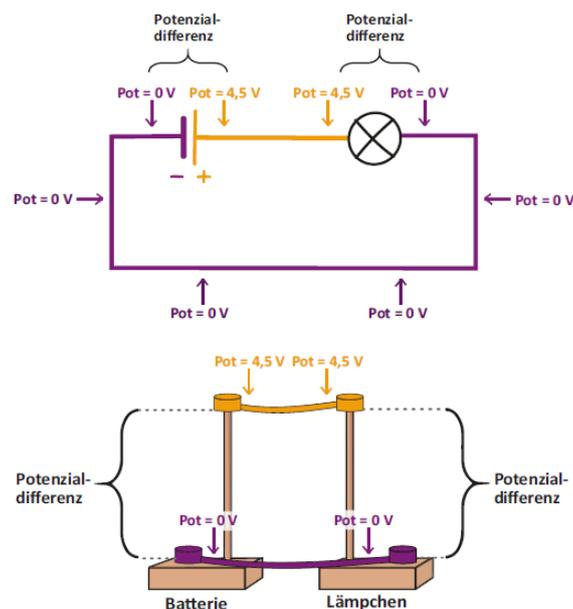
- empirische Vergleichsstudien stehen noch aus

4. Stäbchenmodell

Konzipiert an der Münchener LMU (Material ist online verfügbar, Unterrichtsreihe mit 8 Einheiten)

Grundidee: Spannung wird als Potentialdifferenz eingeführt und durch **Höhenunterschied zweier Stäbchen im Modell** visualisiert

- Begriff der Elektrizität: Fließen von Elektrizität lässt sich an den Wirkungen (Licht, Wärme, Magnetismus) erkennen (Verzicht auf Ladungssorten, Elektronen)
- **Stromstärke** als qualitatives Maß eingeführt über magnetische Wirkung des Stroms
 - Schülerversuche mit Magneträdern an Stromkreisen, danach quantitativ gemessen
- **Widerstand** als Eigenschaft von Elektrogeräten
 - Schülerversuche mit unterschiedlichen Lämpchen (Widerständen), Beobachtung der Helligkeiten
- **Elektrisches Potential** über Wasserstromkreis analogie (nur kurz: Druck), danach wird „hohes“ bzw. „niedriges“ Potential über Stäbchenmodell veranschaulicht (Regeln, farbliche Codierung)



- **Spannung** als Potentialdifferenz (Höhenunterschied im Modell), bezieht sich immer auf zwei Punkte im Stromkreis

Lernwirksamkeit nach Forschung:

- Signifikant höherer Lernerfolg als traditioneller Unterricht (unabhängig vom Geschlecht, Fachinteresse und Vorwissen)
- Reduktion typischer Fehlvorstellungen (Stromverbrauchsvorstellung)
- Weiterhin Probleme bei Unterscheidung Strom und Energie, sowie Verstehen von Strom als Folge der Spannung

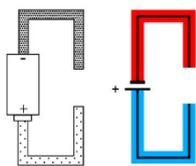
5. Elektronengasmodell

Hauptziel: Die Lernenden haben ein besseres konzeptionelles Verständnis für den Differenzcharakter der elektrischen Spannung

Ansatz:

- Spannung als Primärkonzept
- Analogie: Luftdruck -> elektrisches Potential, Luftströmung -> Elektronenströmung
- Wechselseitige Beziehung von Spannung, Stromstärke und Widerstand anhand der Luftdruckanalogie

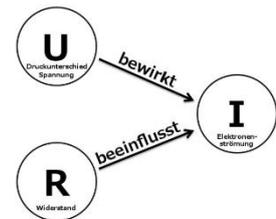
Einstieg mithilfe der Vorstellung der Energieübertragung im Fahrradkettenmodell



Einführung der Luftdruckanalogie, anschließend zunächst Behandlung der Spannung am offenen Stromkreis mithilfe der Luftdruckanalogie

Übergang zu Widerstand und Stromstärke im geschlossenen Stromkreis -> Wirkungszusammenhang von Spannung Widerstand und Stromstärke

Zum Abschluss ausführliche Behandlung des Widerstandes, Ohm'sches Gesetz als Sonderfall



Lernwirksamkeit nach Forschung:

- SuS können typische Aufgaben zu Stromstärke und Spannung höchst signifikant besser lösen
- Besseres konzeptionelles Verständnis einfacher elektrischer Stromkreise
- Eine Erweiterung auf die Einbeziehung energetischer Aspekte steht noch aus.

Diskussion

Problem: Sind die Konzeptionen geeignet eine Verständnisschwierigkeit von SuS (warum liegt an einem offenen Schalter eine Spannung an?) zu begegnen und fachlich korrektes Verständnis zu vermitteln?

- Traditioneller Unterricht: keine Einführung Potentialbegriff, Spannung am Schalter nur schwer erklärbar, häufig lokale Argumentation
- Ebener Wasserkreislauf: Potential wird explizit eingeführt
 - Quelle meint, dies scheint ausreichend, sodass SuS Spannung erklären können
 - Kommilitonen weisen auf Verständnisschwierigkeiten mit dem Wasserkreislauf hin, und das SuS demnach auch Schwierigkeiten haben werden, die Spannung zu erklären
- Energieübertragungssystem: Erklärung über Steighöhe in Rohren im Wasserkreislauf
 - Problematisch: SuS verstehen Wasserkreislauf häufig nicht
- Stäbchenmodell: gut durch Höhenunterschied der Stäbchen im Modell darstellbar, das Modell mit seinen Regeln muss natürlich dafür nachvollzogen werden
- Elektronengasmodell: Vorstellung des elektrischen Drucks (zusammen mit Farbcodierung) sollte SuS leicht erkennen lassen, dass Spannung am offenen Schalter anliegt.