

Energietransport mit Hilfe von Stromkreisen

1. Schülervorstellungen zum Stromkreis

Beschreiben Sie zwei weit verbreitete Fehlvorstellungen von Schülern zum elektrischen Stromkreis! Zeigen Sie, wie man experimentell diesen Fehlvorstellungen begegnen und ein fachlich korrektes Konzept entwickeln kann!

Problematik:

Man kann in der Alltagswelt und in Versuchen beobachten, dass ein elektrisches Gerät funktioniert, wenn zwischen seinen Anschlussteilen und den Polen einer Stromquelle je eine leitende Verbindung besteht. Was in den leitenden Verbindungen vor sich geht, können wir nicht (direkt) beobachten. Genau wie in der Physik, bilden auch die Schüler Modelle davon, welche Vorgänge sich in den Leitungen abspielen. Anders als in der Wissenschaft jedoch überprüfen die Schüler diese Vorstellungen nicht ständig wieder an beobachtbaren Phänomenen. Gerade in der Elektrizitätslehre und insbesondere im Themenkomplex „Elektrischer Stromkreis“ kommt es deshalb zu einer Vielzahl an Fehlvorstellungen.

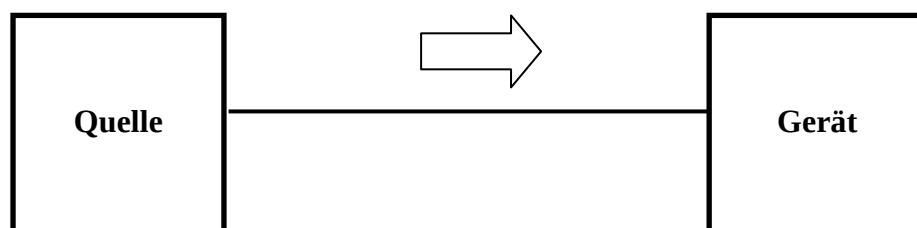
Im Physikunterricht ist es deshalb unbedingt notwendig, falsche Vorstellungen bzw. Modelle der Schüler aufzugreifen und z.B. durch die Auslösung kognitiver Konflikte (z.B. durch einen Gegenversuch) zum Widerspruch zu führen und somit die Schüler zu einem Um- und Überdenken ihrer Vorstellung zu veranlassen.

Verbreitete Fehlvorstellungen:

1. Das Verbrauchs-Modell

Die Schüler sehen elektrischen Strom als eine Substanz an, die mengenartigen Charakter besitzt, die dann im „Verbraucher“ verbraucht wird.

Sie denken, der elektrische Strom sei in bestimmter Menge in der Quelle gespeichert (z.B. Batterie) und werde bei Bedarf an ein Gerät abgegeben. Der Strom wird somit nicht als Prozess, sondern als ein Objekt angesehen.



Gründe für das Zustandekommen der Fehlvorstellung:

Den Schülern ist aus der Alltagserfahrung die Notwendigkeit des geschlossenen Stromkreislaufes nicht bewusst. Um ein elektrisches Gerät zu betreiben muss schließlich nur ein Kabel zur Steckdose führen.

Zum anderen kann es zu Verwirrungen im Physikunterricht zwischen den Begriffen „elektrischer Strom“ und „elektrische Energie“ kommen. Auch in der Alltagssprache wird oft fälschlich von „Stromverbrauch“ gesprochen.

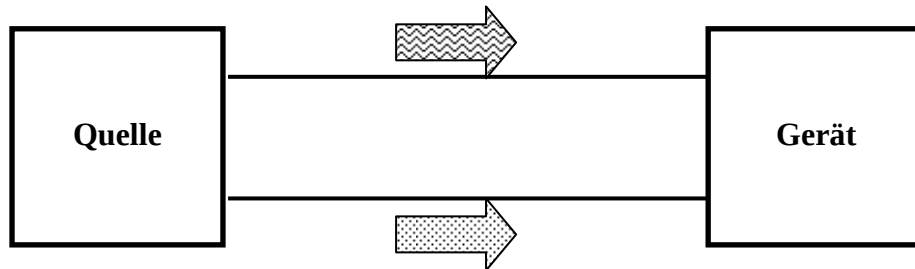
Experimentelle Behebung der Fehlvorstellung:

Nach dem „Modell des Stromverbrauchs“ müsste die Stromstärke hinter einem Widerstand (z.B. einem Lämpchen) absinken, da sie ja „verbraucht“ wird. Mit einem Strommesser kann die konstante Stromstärke vor und hinter einer Lampe im Unterricht gezeigt werden.

Das Ergebnis des Experiments führt natürlich zu einem Widerspruch mit dem Schülermodell und zeigt, dass der „Stoff“ in den Leitungen nicht verbraucht wird. Im Folgenden sollte mit den Schülern der genaue Unterschied zwischen Energie und elektrischem Strom diskutiert werden. Der Stromkreis transportiert die Energie, welche die Lampe zum Leuchten bringt.

2. „Stromvernichtung“

Auch in dieser Fehlvorstellung hier denken die Schüler, dass die Quelle etwas an das angeschlossene Gerät abgibt, nur wird von beiden Polen „etwas Verschiedenes“ abgegeben und durch Zusammenführung im Gerät verbraucht.



Gründe für das Zustandekommen der Fehlvorstellung:

Die Schüler können sich (womöglich aufgrund des „Verbrauchsmodell“) nicht erklären, wieso in einem Stromkreis zwei Anschlüsse zu einem Gerät führen und vermuten, dass von beiden Anschlüssen etwas in das Gerät hineinfließt. Vermutlich wird in dieses Modell auch die Kenntnis hineinvermischt, dass ein elektrisches Gerät mit dem Plus- und dem Minuspol einer Spannungsquelle verbunden sein müssen und damit zwei „elektrische Stoffe“ existieren.

Experimentelle Behebung der Fehlvorstellung:

Zwei Lampen werden in Reihe geschaltet. Nach dem „Stromvernichtungsmodell“ könnte in jede Lampe nur ein „elektrischer Stoff“ ankommen. Beide Lampen leuchten aber. Damit soll den Schülern bewusst werden, dass es *ein* Stoff ist, der durch die Leitungen zum Gerät und wieder zurück fließt, nämlich die *elektrische Ladung*. Die Bewegung dieser Ladung stellt den elektrischen Strom dar.

2. Skizzieren Sie einen Analogieversuch, der den Aufbau der physikalischen Vorstellung, dass im elektrischen Stromkreis ein Energietransport von der Quelle zum Elektrogerät stattfindet, unterstützt! Erstellen Sie eine Tafelskizze zur Darstellung dieser Modellvorstellung!

Zu Analogie/Analogieversuch:

Analogien sind Lernhilfen, welche einen analogen Lernbereich zum primären Lernbereich anbieten. In einem analogen Lernbereich finden sich *begriffliche* (Gesetze, Theorien), *gegenständliche* (Objekte) und *experimentelle* (Versuche) Analogien zum primären Lernbereich. Notwendige Bedingungen für Analogien sind die *Vertrautheit* (notwendig für die Akzeptanz der Analogie) und *Tiefenstrukturähnlichkeit* (weitgehend identische

Theorien in beiden Bereichen). Analogien sind als Lernhilfen stets ambivalent, denn eine Analogie zu benutzen, heißt stets auch einen Umweg zu machen.

Analogieversuch zum elektrischen Stromkreis:

In der physikdidaktischen Literatur ist das Modell des Wasserkreislaufs als Analogie für den Stromkreislauf viel diskutiert und wird heute meist skeptisch betrachtet. Trotz allem bietet das Modell einen passenden (quantitativen) Analogieversuch, um den Energietransport von der Quelle des Stromkreises zum Elektrogerät zu veranschaulichen:

Eine Wasserpumpe wird über Schläuche mit einem Wasserrad verbunden. Durch die von der Pumpe erzeugte Druckdifferenz wird das Wasser in den Schläuchen angetrieben und versetzt das Wasserrad in Bewegung.

Für die Schüler muss der pauschale Vergleich „In den elektrischen Leitungen fließt elektrischer Strom, so wie in den Wasserschläuchen das Wasser“ natürlich noch konkretisiert werden, indem zunächst die entsprechenden *Objekte* des analogen und primären Lernbereichs miteinander in Beziehung gesetzt werden:

Analoger Lernbereich	Primärer Lernbereich
Wasserschlauch	Elektrische Leitungen
Pumpe	Batterie
Wasserhahn	Elektrischer Schalter
Wasserrad	Elektrischer Widerstand

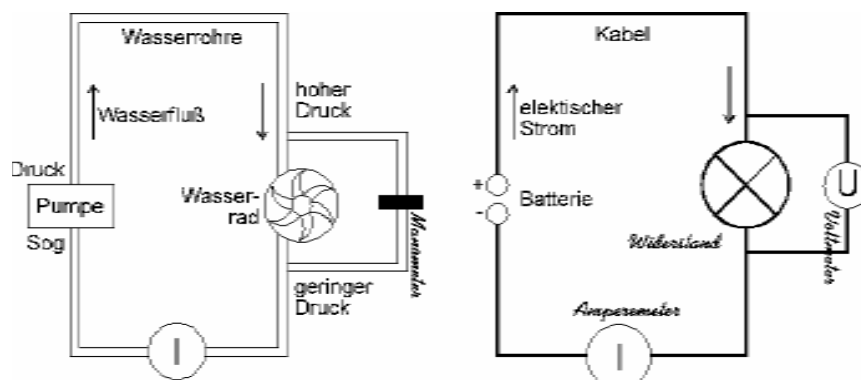
Diese Entsprechungen werden nun auf der *begrifflichen* Ebene fortgesetzt:

Analoger Lernbereich	Primärer Lernbereich
Unterschied des Wasserdrucks Δp	Elektrische Spannung U
Wasserstromstärke J	Elektrische Stromstärke I

Auf der *experimentellen* Ebene kommt es zu folgenden Gegenüberstellungen:

Analoger Lernbereich	Primärer Lernbereich
Je größer die von der Pumpe erzeugte Druckdifferenz des größer die Wasserstromstärke (gemessen mit Wasserstrommessgerät)	Je größer die von der Batterie erzeugte elektrische Spannung, desto größer die elektrische Stromstärke (gemessen mit Strommessgerät)
Das Wasserrad verbraucht kein Wasser, sondern entnimmt dem Kreislauf Energie.	Die Lampe <u>verbraucht keinen Strom</u> (s. Fehlvorstellung in 1.), sondern entnimmt dem Stromkreis Energie.

Anhand einer Tafelskizze wird die Analogie beider Stromkreis noch einmal schematisch gegenübergestellt:



3. Skizzieren Sie eine Unterrichtseinheit zum Thema „Verlustarme Übertragung elektrischer Energie über weite Strecken“!

Nennen Sie erforderliche Lernvoraussetzungen, formulieren Sie geeignete Lernziele und beschreiben Sie die eingesetzten Medien, insbesondere die geplanten Experimente!

Thematische Einordnung: 10. Jahrgangsstufe, Themenbereich Elektrizitätslehre, Themenkomplex „Energieumwandlung in elektrische Energie“

Lernvoraussetzungen:

- Kenntnis der physikalischen Definition von elektrischem Widerstand und elektrischer Leistung
- Prinzip des Transformators
- Die Spannungsübersetzung beim Transformator
- Interpretation von historischen Quellen

Lernziele:

- Die Schüler sollen sich der historischen Tragweite der Entdeckung, mit Hochspannung Energie über weite Strecken zu transportieren, bewusst werden.
- Die Schüler sollen den Demonstrationsversuch zur verlustarmen Energieübertragung qualitativ und rechnerisch nachvollziehen können.
- Die Schüler sollen verstehen, dass die Leistungsverluste über weite Strecken von der Stromstärke abhängig sind.
- Die Schüler sollen Größenordnungen von Spannungs- und Widerstandswerten in Hochspannungs- und Überlandleitungen kennen lernen.
- Die Schüler sollen die erweiterten technologischen Möglichkeiten und auch der Gefahren erkennen, die durch die Nutzung von Hochspannung und Wechselstrom über weite Strecken entstehen.
- Die Schüler sollen die gelernten Zusammenhänge über die Energieübertragung in einem abschließenden Rollenspiel verfügen und anwenden können.

Unterrichtseinheit

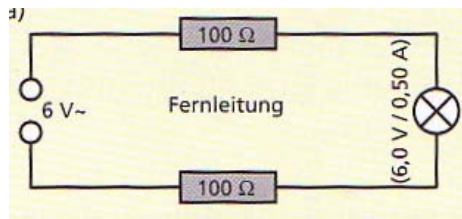
Einstieg:

Der Einstieg in das Thema erfolgt mit einer historischen Quelle. Ein Filmausschnitt (oder alternativ ein Textausschnitt) über den um die vorletzte Jahrhundertwende tobenden „Stromkrieg“ und zwischen *Thomas Edison*, dem Verfechter des Gleichstroms, und *George Westinghouse*, der unterstützt wurde von *Nikola Tesla*, die die Energieübertragung durch Wechselstrom favorisierten. Dadurch soll den Schülern die historische Tragweite des Themas aufgezeigt werden, andererseits auch die Chancen (Argumente *Westinghouse*) und Gefahren (Argumente *Edisons*) der Hochspannungsleitung hinweisen. Natürlich soll auch das Interesse der Schüler für die Thematik geweckt werden.

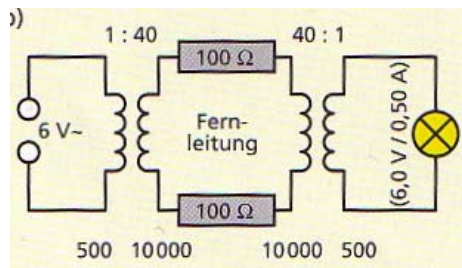
Erarbeitung:

Der historische Zwiespalt wird nun in einem Demonstrationsversuch verdeutlicht. Den Schülern soll die Notwendigkeit des Einsatzes von Hochspannung über weite Strecken bewusst werden. Aufgrund der hohen Spannungstransformation muss der Versuch natürlich vom Lehrer durchgeführt werden.

Im ersten Versuchsteil soll eine Lampe mit den Betriebsdaten $U = 6V$ und $I = 0,6A$ über eine Fernleitung betrieben werden.



Die Fernleitung wird simuliert durch zwei große Widerstände (je ca. 100Ω), die in Reihe an eine Spannungsquelle mit 6,0 V Gleichspannung angeschlossen werden. Die Schüler beobachten, dass die Lampe nicht leuchtet.



Im zweiten Versuchsteil (der direkt daneben aufgebaut sein sollte) wird der analoge Aufbau verwendet, nur wird vor die „Fernleitung“ ein Hochspannungstransformator (Übersetzungsverhältnis 1:40) und hinter der Fernleitung ein Niederspannungstransformator (Übersetzungsverhältnis 40:1) in die Schaltung eingebaut sowie eine Wechselspannung von 6,0 V angelegt.

Innerhalb eines Unterrichtsgesprächs soll nun das Gesehene anhand der den Schülern bekannten physikalischen Gesetzmäßigkeiten erläutert werden. Um die Beobachtungen zu erklären, muss der Lehrer das Gespräch insbesondere auf die Begriffe „Leistung“ und „Leistungsverluste“ lenken.

Da zum Verständnis der Beobachtungen ein formelmäßiges Betrachten der physikalischen Zusammenhänge wichtig ist, sollte der Lehrer eine Beispielrechnung zu den Leistungsverlusten in der Fernleitung zusammen mit den Schülern durchführen. Aufgrund der komplexen Zusammenhänge bietet sich dazu ein darbietend-fragender Unterricht an. Dadurch werden die Abhängigkeit der Leistungsverluste von der Stromstärke ($P_{\text{Verlust}} = U_{\text{Fernleitung}} \cdot I = R_{\text{Fernleitung}} \cdot I^2$) und damit die Notwendigkeit für das Prinzip, den Strom über weite Strecken auf hohe Spannungen zu transformieren, deutlich.

Sicherung:

Anhand von Beispielaufgaben können im weiteren Verlauf der Einheit das entdeckte Prinzip angewandt, sowie ein Gefühl für Größenordnungen von Spannungs- und Widerstandswerten von Hochspannungsleitungen gewonnen werden. Gleichzeitig kann der Lehrer in diesem Zusammenhang auch auf die Wirkung und Gefahren von Hochspannung auf den menschlichen Körper eingehen.

Vertiefung:

In der abschließenden Vertiefungsphase geht der Lehrer nochmals auf das historische Einstiegsbeispiel zurück. Die Schüler können die damalige Situation in einem Rollenspiel nachspielen. Dazu teilt der Lehrer die Klasse in zwei Gruppen ein: die Anhänger *Edisons* und die Anhänger von *Westinghouse*.

Durch die nun erworbenen physikalischen Zusammenhänge sollen die beiden Gruppen Argumente für und gegen die Verwendung von Gleich- und Wechselstrom und der Verwendung von Hochspannung durchspielen.

Medien:

- **Film/Text** über den „Stromkrieg“ zwischen *Thomas Edison* und *George Westinghouse* bzw. *Nikola Tesla* und die damalige Revolution des Einsatzes von Hochspannung zur Energieübertragung
- **Experiment** zur Demonstration von geringen Leistungsverlusten durch Hochspannung:
 - o 2 Transformatoren (Übersetzungsverhältnisse 1:40 und 40:1)
 - o 2 ohmsche Widerstände (je 100 Ω)
 - o Lämpchen (3 W)
 - o Mehrere Kabel
 - o Spannungsquelle