

Sachinformationen für die Lehrkraft Teil 2

8 Aufbau und Funktion des Glühlämpchens	S. 1
9 Modellvorstellungen für den elektrischen Stromkreis	S. 2
10 Der elektrische Widerstand	S. 6
11 Elektrizitätsleitung in Flüssigkeiten und Gasen	S. 6
12 Das galvanische Element "Taschenlampenbatterie"	S. 8
13 Der Elektromagnet	S. 9

8 Aufbau und Funktion des Glühlämpchens

Das wesentliche Element des Glühlämpchens ist die Glühwendel, die durch die Wärmewirkung des elektrischen Stromes so stark erhitzt wird, dass sie hell glüht. Der Glaskolben dient zunächst zum Schutz vor mechanischen Beschädigungen. Der Glaskolben hat eine weitere Funktion: Der hell glühende Draht der Wendel würde bei Anwesenheit von Sauerstoff sehr schnell verbrennen. Deshalb ist das Innere des Glaskolbens leer gepumpt (oder es wird ein chemisch träges Gas eingefüllt). Der eine Anschluss der Wendel ist mit dem Kontaktplättchen unten am Glühlämpchen verbunden. Das Kontaktplättchen ist gegen den Schraubsockel isoliert. Der zweite Anschluss der Wendel ist mit dem Metall des Schraubsockels verbunden.

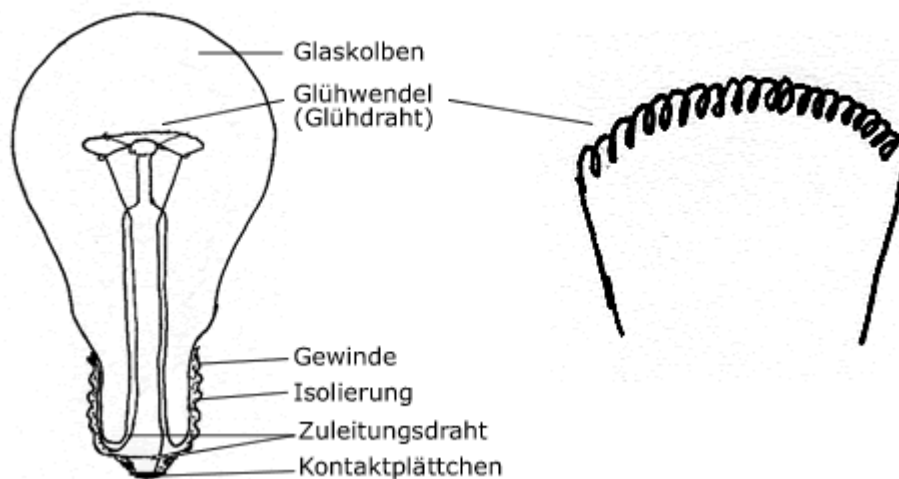


Abb. 15
Querschnitt durch ein Glühlämpchen (links);
Vergrößert gezeichnete Wendel eines Glühlämpchen (rechts)

Betrachtet man die Wendel mit einer Lupe, dann sieht man, dass sie aus sehr dünnem, spiralförmig gewickeltem Draht besteht (Abb. 15, rechts). Da die Herstellung eines solchen Glühdrahtes sehr viel aufwendiger im Vergleich zu einem einfachen geraden Draht ist, muss es deutliche Vorteile geben. Der Hauptgrund für die Ausformung der Wendel als Spirale ist, dass sich die dicht nebeneinander liegenden Windungen gegenseitig erwärmen. Damit ist eine sehr hohe Temperatur der Wendel erreichbar und diese ist für das helle Glühen Voraussetzung.

In der Unterrichtseinheit 12 über das Glühlämpchen ist ein Demonstrationsversuch beschrieben, mit dem gezeigt werden kann, dass ein gewendelter Draht sehr viel schneller zum Glühen gebracht werden kann als ein gerader Draht der gleichen Länge.

9 Modellvorstellungen für den elektrischen Stromkreis

a) Elektrische Ladungen

Die Metalldrähte (im Wesentlichen bestehen die meisten elektrischen Geräte aus Drähten – z.B. die Glühwendel einer Glühlampe) bestehen aus aneinander gebundenen Metallatomen. Atome wiederum bestehen aus dem Kern und der Hülle aus Elektronen, die im Vergleich zum Kern sehr leicht sind. Kern und Elektronen besitzen unterschiedliche Ladungen und ziehen sich deshalb an (analog der Anziehung von Sonne und Planeten, wobei hier ein anderer Typ von Anziehungskraft vorliegt). Der Kern ist nach Konvention positiv geladen, die Elektronen negativ.

Dass es in der Natur zwei Ladungsarten gibt (die man konventioneller Weise als positive und negative Ladung bezeichnet) mit der Wirkung, dass sich gleichnamige Ladungen gegenseitig abstoßen und ungleichnamige anziehen, wird durch folgende Erscheinungen nahe gelegt: Zwei Hartgummistäbe werden mit einem Wolllappen oder Fell gerieben – sie stoßen sich jetzt ab. Wolllappen und Stab ziehen sich dagegen an. Sorgfältige weitergehende Untersuchungen zeigen, dass von den Wolllappen (Fell) Elektronen auf den Hartgummistab übertragen werden. Er ist dadurch mit einem Elektronenüberschuss versehen und damit negativ geladen. Auf dem Wolllappen fehlen Elektronen, das ursprüngliche Gleichgewicht von negativen und positiven Ladungen ist gestört, es überwiegen die positiven Ladungen. Reibt man Glasstäbe mit einem Seidentuch, beobachtet man wieder, dass sich die Glasstäbe abstoßen, Tuch und Glasstab anziehen. Auch hier ist das Ladungsgleichgewicht gestört. Aber: Ein mit dem Wolllappen geriebener Hartgummistab und ein mit dem Seidentuch geriebener Glasstab ziehen sich gegenseitig an! Also muss der Glasstab positiv geladen sein und das Seidentuch Elektronen vom Glasstab abgenommen haben.

Die Anziehungs- und Abstoßungskräfte bei Körpern, die durch Reibung elektrisch geladen wurden, kann man sehr gut reproduzierbar bei Tageslichtprojektorfolien beobachten.

Wir legen von 4 Folien zwei als Paar aufeinander und die beiden anderen einzeln jeweils auf ein Blatt Papier. Mit einem weichen Tuch streichen wir mehrmals über das Folienpaar, heben es vom Papier ab und ziehen erst dann die beiden Folien auseinander: Man spürt deutlich, wie sie aneinander haften. Lässt man sie nebeneinander herunterhängen, sieht man, wie sie sich gegenseitig anziehen (Abb. 16a) Als nächstes werden die beiden einzelnen Folien mit dem Tuch gerieben, vom Papier abgehoben und nebeneinander gehalten (Abb. 16b). Man sieht, dass sich die Folien abstoßen.

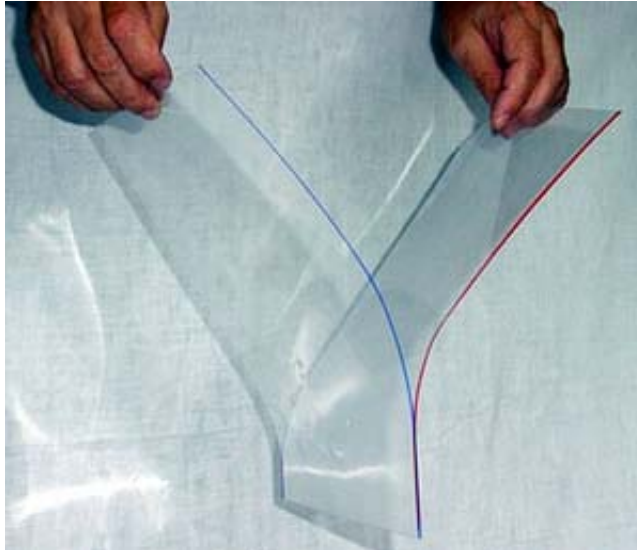


Abb. 16:

(a) Anziehende Kräfte bei geriebenen Tageslichtprojektorfolien



Abb. 16:

(b) abstoßende Kräfte bei geriebenen Tageslichtprojektorfolien

Hinweis: Dünne, nur zur Beschriftung geeignete Folien zeigen die Abstoßung bzw. Anziehung sehr viel deutlicher als die dickeren, kopierfähigen Folien.

Im Metallverband ist es nun so, dass die Elektronen, die in der Hülle am weitesten vom Kern entfernt sind, sich leicht vom Kern lösen und sich praktisch frei im Metall bewegen können. Dies geschieht mit einer unvorstellbar hohen Geschwindigkeit von etwa 1000000km/h. Dabei stoßen sie ständig gegen die Metallionen und ändern dabei ihre Flugrichtung. Im zeitlichen Mittel bewegen sie sich praktisch nicht. Werden die Enden des Drahtes mit einer Batterie verbunden, also eine Spannung angelegt, dann driften die Elektronen insgesamt in Richtung des Plus-Pols der Batterie. Diese Driftbewegung überlagert sich der ursprünglichen Bewegung und ist sehr langsam (einige cm pro Sekunde)

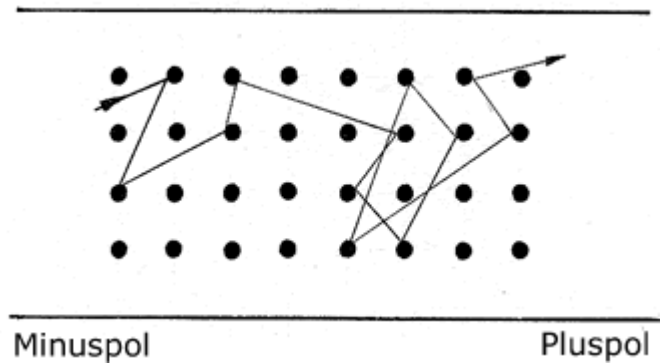


Abb. 17:
Resultierende Driftbewegung der Elektronen nach Anlegen einer Spannung

Hier tritt nun eine Verwirrung bezüglich der Stromrichtung ein. Die Festlegung „Der Strom fließt von Plus nach Minus“ wurde getroffen, als man den Leitungsmechanismus in den Drähten noch nicht kannte. Man stellte sich vor, die positiven Ladungen würden von Plus nach Minus fließen. Diese so genannte technische Stromrichtung wird bei technischen Geräten (Batterien, Walkman, ...) noch immer benutzt, denn eine Umstellung würde in der Umstellungsphase zu vielen Unklarheiten und zerstörten Geräten führen. Die ausschließliche Verwendung der so genannten physikalischen Stromrichtung (die Elektronen als negativ geladene Teilchen bewegen sich von Minus nach Plus) wäre eigentlich sinnvoller, weil sie der tatsächlichen Ladungsbewegung im Metall entspricht. Gegenwärtig muss man sich leider immer vergewissern, welche Stromrichtung gemeint ist.

b) Modelle für den elektrischen Stromkreis: Gas- oder Wasserkreislaufmodell und das Höhenmodell

Analogiemodelle können für das Verständnis der Vorgänge im Stromkreis hilfreich sein. Man darf allerdings nicht vergessen, dass bei jedem Modell Aspekte vorhanden sind, die zu Fehlschlüssen führen können, wenn die Analogie überstrapaziert wird. Dies ist auch bei der Verwendung des folgenden Gasmodells für den elektrischen Stromkreis zu beachten. So führt z. B. eine undichte Stelle im Rohrsystem (oder das Auftrennen einer Rohrleitung, was dem Durchkneifen eines Zuleitungsdrahtes entsprechen würde) zum Ausströmen des Gases. Die Elektrizität bleibt dagegen im Draht.

Das Gas- bzw. Wassermmodell

In ein Röhrensystem sind eine Pumpe und ein Windrad eingebaut. Das System ist mit einem Gas, z.B. Luft gefüllt. Die Pumpe sorgt für einen Druckunterschied $p_2 - p_1$ zwischen Ansaugstutzen und Pumpenausgang. Aufgrund dieses Druckunterschiedes strömt das Gas durch die Rohre und treibt das Windrad an.

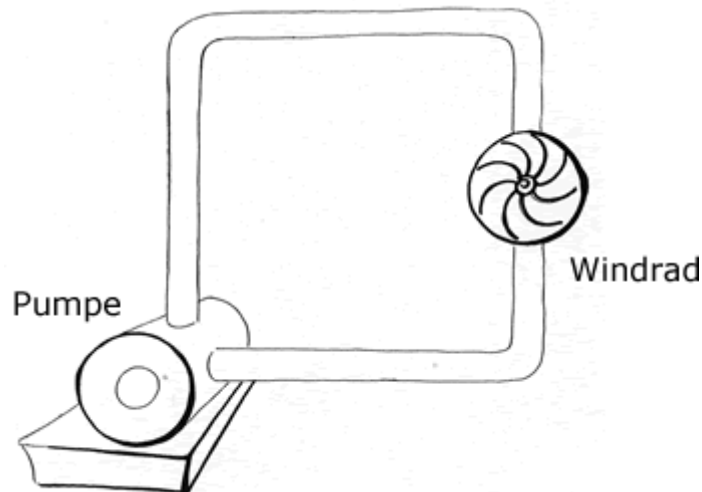
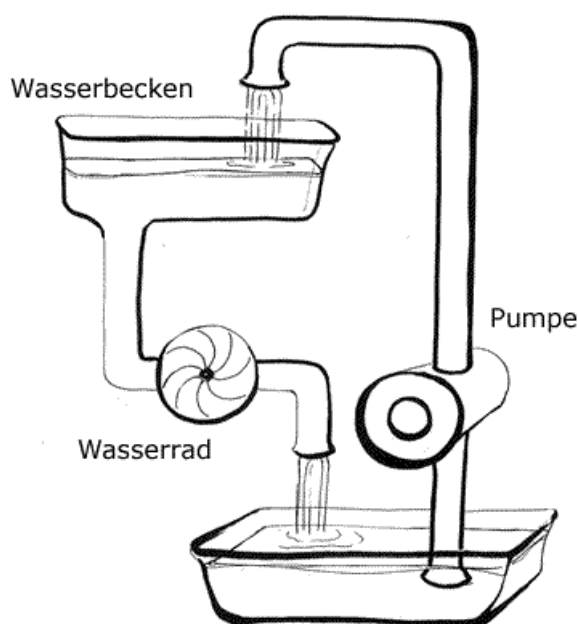


Abb. 18:
Gasmodell für einen einfachen Stromkreis

Die Luft entspricht der Elektrizität bzw. den Elektronen, die Pumpe der Batterie und das Windrad einem Motor oder einem Lämpchen. Die Luftmenge, die pro Sekunde durch einen Querschnitt strömt, entspricht der Stromstärke I . Sie ist überall gleich groß. Die Druckdifferenz zwischen den Pumpenanschlüssen entspricht der elektrischen Spannung U_{Ba} zwischen den Batterieanschlüssen. Statt Luft kann man sich auch Wasser in das Röhrensystem eingefüllt denken. Ein Gas ist etwas realitätsnäher, weil zwischen den Elektronen im Metall wie bei einem Gas größere Zwischenräume vorhanden sind, die an verschiedenen Stellen aber im Mittel unterschiedlich groß sind, genauso wie bei Luft unter verschiedenem Druck.

Ein weiteres Modell ist das Höhenmodell:

Wasser wird von einem Wasserreservoir in ein zweites, höher gelegenes Reservoir gepumpt. Von dort kann es wieder herabstürzen und dabei eine Wasserturbine antreiben. Hier ist die Höhendifferenz die zur elektrischen Spannung analoge Größe.



Wasserbecken
Abb. 19:
Höhenmodell eines einfachen elektrischen Stromkreises

10 Der elektrische Widerstand

Schließen wir verschiedene Geräte an die gleiche Batterie an, dann fließt i. Allg. ein unterschiedlich starker Strom durch das Gerät. Dem Gerät kommt also eine bestimmte Eigenschaft zu, die festlegt, welche Stromstärke bei einer gegebenen Spannung durch das Gerät fließt. Diese Eigenschaft wird elektrischer Widerstand (Abkürzung R) genannt und ist definiert als Widerstand gleich Spannung durch Stromstärke: $R = U/I$. Je kleiner also der Widerstand ist, desto größer ist die Stromstärke (bei gleich gebliebener Spannung).

Auf der atomaren Ebene wird der Widerstand zum einen durch die Zahl der frei beweglichen Elektronen bestimmt: Je höher die Zahl der freien Elektronen pro Volumeneinheit ist, desto kleiner ist der Widerstand eines Drahtes. Er kommt weiterhin dadurch zustande, dass die Elektronen auf ihrem Weg durch das Metall gegen die Metallionen stoßen und dadurch die Bewegung behindert wird. Erhöht sich die Temperatur des Drahtes, dann schwingen die Ionen heftiger hin- und her und behindern noch mehr die Elektronenbewegung. Deshalb wird der Widerstand eines Metalldrahtes größer, wenn er erwärmt wird.

Umgekehrt ist dadurch auch die Wärmewirkung des elektrischen Stromes zu verstehen: Bewegen sich die Elektronen durch den Draht, stoßen sie gegen die Ionen und regen diese damit zu heftigerem Schwingen an. Nach außen zeigt sich dies durch eine Erhöhung der Temperatur. Erhöht man die Stromstärke, dann bewegen sich mehr Elektronen durch den Draht und diese Bewegung erfolgt dazu noch schneller. Dadurch gibt es mehr und heftigere Stöße gegen die Ionen und deshalb einen Temperaturanstieg.

Es ist anschaulich klar, dass sich der Widerstand eines Drahtes verdoppelt, wenn seine Länge verdoppelt wird. Wenn ich seinen Querschnitt verdoppele (z. B. zwei gleiche Drähte parallel benutze), dann halbiert sich der Widerstand. Ebenfalls zu erwarten ist, dass der Widerstand vom Material abhängt.

Leiter und Isolatoren

Wir vergleichen nun Drähte gleicher Dicke und Länge, aber aus verschiedenem Material bestehend. Ist der Widerstand eines Drahtes sehr klein, sprechen wir von einem guten elektrischen Leiter. Beispiele sind Kupfer, Silber und Aluminium.

Ist der Widerstand sehr hoch, bezeichnen wir ihn als schlechten elektrischen Leiter oder als Isolator. Beispiele sind Glas, Porzellan, sehr reines Wasser, Luft, fast alle Kunststoffe.

Es ist klar, dass gute elektrische Leiter dort verwendet werden, wo die Elektrizität gut fließen soll (Zuleitungen von der Batterie zum Lämpchen, Zuleitungen vom Kraftwerk in unsere Wohnung, ...). Isolatoren dienen dazu, unerwünschte Stromflüsse zu vermeiden (Begrenzung von Verlusten) und auch um uns zu schützen. Die Zuführungskabel unserer Haushaltsgeräte sind deshalb mit einer flexiblen Kunststoffschicht umzogen. Zusätzlich sind die einzelnen Drähte im Kabel durch Kunststoffummantelung gegeneinander isoliert.

11 Elektrizitätsleitung in Flüssigkeiten und Gasen

Nicht nur bestimmte feste Körper, auch einige Flüssigkeiten und Gase können die Elektrizität leiten. In ein Gefäß füllen wir Leitungswasser. Wir stellen zwei Metallbleche dicht nebeneinander in das Wasser (sie dürfen sich nicht berühren!) und schließen sie an eine Reihe (3 - 4 Batterien) von hintereinander geschalteten Batterien an. In eine der Zuleitungen kommt ein Glühlämpchen. Zunächst leuchtet das Lämpchen nicht. Sauberes Wasser ist also ein recht schlechter elektrischer Leiter.

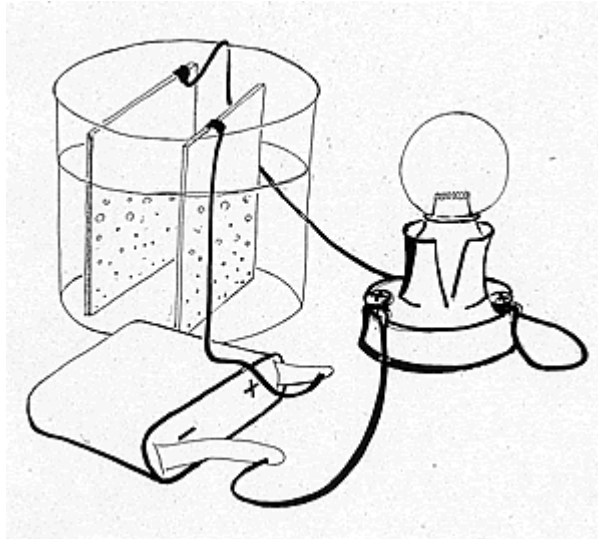


Abb. 20a:

Überprüfung der Leitfähigkeit von Wasser und anderen Flüssigkeiten

Nebenbemerkung:

An den beiden Platten beobachten wir kleine Gasbläschen, die nach oben steigen. Hier haben wir ein Beispiel für eine chemische Wirkung des elektrischen Stroms: Das Wasser wird in seine Bestandteile, Wasserstoff und Sauerstoff, zerlegt. Am negativen Pol bildet sich der Wasserstoff, am positiven Sauerstoff. Deutlicher zu beobachten ist dieser Effekt, wenn die Leitfähigkeit des Wassers durch Zugabe von etwas Säure oder Lauge erhöht wird. Wasserstoff ist sehr energiereich. Er verbindet sich in einer heftigen Reaktion (Knallgasexplosion) mit Sauerstoff wieder zu Wasser. In kontrollierter Weise macht man sich heute diese Reaktion in so genannten Brennstoffzellen zunutze, mit deren Hilfe ein elektrischer Strom erzeugt werden kann.

Schüttet man etwas Kochsalz in das Wasser und rührt es durch, beginnt das Lämpchen zu leuchten. Das Salz hat sich aufgelöst. Die positiv geladenen Na^+ -Ionen wandern zum negativen Pol. Die negativ geladenen Chlorionen (Cl^-) wandern zum Pluspol und steigen dort als Chlorgasbläschen auf. Nach außen zeigt sich dies durch einen elektrischen Strom in den Zuleitungen und dieser bringt das Lämpchen zum Leuchten.

Ähnliches lässt sich beobachten, wenn wir statt der Kochsalzlösung Silbernitrat (AgNO_3), Kupferchlorid (CuCl_2) oder Kupfersulfat (CuSO_4) in Wasser aufgelöst verwenden.

Als einfacher Schulversuch lässt sich das galvanische Verkupfern (Abb. 20b) zeigen. Ein Stück Alublech oder Silberpapier wird mit dem negativen Batteriepol (eine 4,5V-Flachbatterie genügt) verbunden und in einen Becher mit einer Kupfersulfatlösung gestellt. Als zweiten Pol verwenden wir am besten Kupferlitze (viele dünne Kupferdrähte in einem Kabel), die wir etwas auffächern. Blech und Litze dürfen sich nicht berühren. Nach einer Weile überzieht sich das Aluminiumblech mit einer dünnen rötlichen Kupferschicht. Vertauschen wir die Batterieanschlüsse, dann verschwindet der Belag wieder weitgehend.

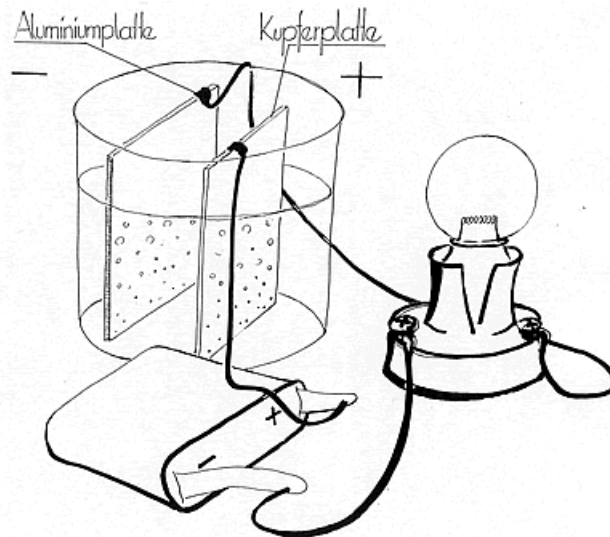


Abb. 20b:
Galvanisches verkupfern

Auch durch Gase kann Elektrizität fließen. Legen wir an einer Stabglühlampe eine genügend hohe elektrische Spannung an (eine geriebene Tageslichtprojektorfolie reicht bei weitem aus), dann leuchtet das Neon-Gas in der Lampe um einen Pol herum rötlich auf. Die beiden Drähte in der Glühlampe berühren sich nicht, trotzdem haben wir einen elektrischen Strom.



Abb. 20c:
Stabglühlampe/Folie

Bemerkung: Es leuchtet nur das Gas an dem Draht auf, der mit dem negativen Pol verbunden ist. Dies ist eine Möglichkeit festzustellen, welche Ladung geriebene Stäbe oder Folien tragen.

12 Das galvanische Element "Taschenlampenbatterie"

Die gebräuchlichste Elektroenergiequelle für Untersuchungen in der Grundschule ist das in der Taschenlampenbatterie verwendete Kohle-Zink-Element. Ein Zinkbecher ist mit einer eingedickten Ammoniumchloridlösung (NH_4Cl) gefüllt, in die ein Kohlestab hineingesteckt ist. Vom Zink gehen positiv geladene Zinkionen in die Salmiaklösung, die dadurch positiv geladen wird. Der Zinkbecher ist dann

negativ geladen. Zwischen Zinkbecher (Minuspol) und Kohlestab (Pluspol) besteht wegen der Ladungstrennung eine elektrische Spannung von 1,5 Volt. Der Zinkbecher wird gewissermaßen „zerfressen“, wenn ein elektrischer Strom fließt. In der Lösung entsteht immer mehr Zinkchlorid. Dadurch erschöpft sich allmählich die Fähigkeit, dass immer mehr Zinkionen in Lösung gehen. Die Formulierung „Die Batterie ist leer“, die die Vorstellung nahe legt, dass Elektrizität wie in einem Gefäß gespeichert ist, das durch den Gebrauch geleert wird, ist deshalb unzutreffend. Der Kohlestab ist noch mit Braunstein (MnO_2) umgeben. Dadurch wird verhindert, dass am Kohlestab Wasserstoffgas entsteht.

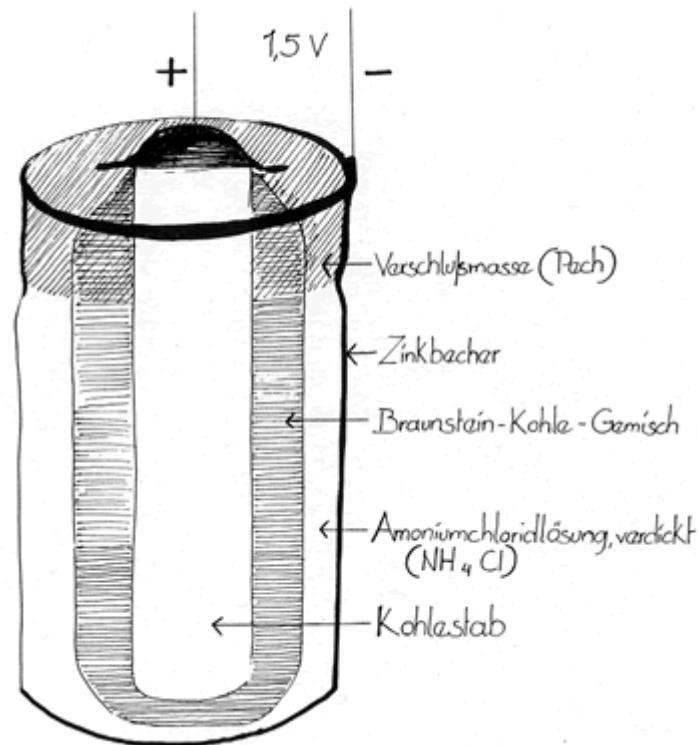


Abb. 21:
Aufbau eines Kohle-Zink-Elementes

13 Der Elektromagnet

Die magnetische Wirkung um einen stromdurchflossenen Leiter kann vor allem durch drei Maßnahmen erhöht werden:

- Es wird eine Spule mit sehr vielen Windungen verwendet. Verdoppeln der Windungszahl führt zu einem doppelt so starken Magnetfeld.
- Verdoppelt man die Stromstärke in der Spule, verdoppelt sich ebenfalls die Stärke des Magnetfeldes.
- Durch Einführen eines Eisenkerns in die Spule kann die magnetische Wirkung mehr als vertausendfacht werden.

Eine stromdurchflossene Spule hat ein Magnetfeld ähnlich wie ein Stabmagnet.

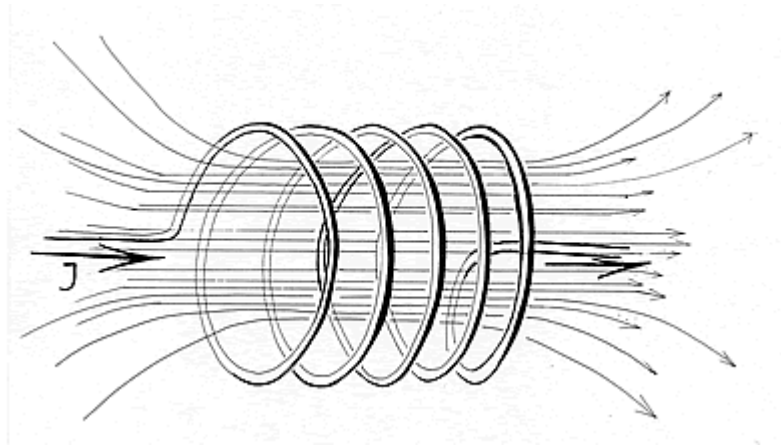


Abb. 22:
Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule

Einen Elektromagneten kann man leicht an- und abschalten und seine Stärke lässt sich z.B. durch Verändern der Spulenstromstärke leicht ändern.