

ARBEITSKREIS BAYERISCHER PHYSIKDIDAKTIKER

BEITRAG AUS DER REIHE:

Werner B. Schneider (Hrsg.)

Wege in der Physikdidaktik

Band 2

Anregungen für Unterricht und Lehre

ISBN 3 - 7896 - 0100 - 4

Verlag Palm & Enke, Erlangen 1991

Anmerkung:

Die Bände 1 bis 5 sind (Ausnahme Band 5) im Buchhandel vergriffen.
Die einzelnen Beiträge stehen jedoch auf der Homepage

<http://www.solstice.de>

zum freien Herunterladen zur Verfügung.

Das Copyright liegt bei den Autoren und Herausgebern.

Zum privaten Gebrauch dürfen die Beiträge unter Angabe der Quelle
genutzt werden. Auf der Homepage

www.solstice.de

werden noch weitere Materialien zur Verfügung gestellt.

Zur Einführung des Spannungsbegriffs in der Sekundarstufe I

1. Einleitung

Bis zum Einzug der Elektrizität in die Haushalte nach der Jahrhundertwende war es selbstverständlich, daß die Elektrizitätslehre im wesentlichen dem "historischen Entwicklungsgang der Forschung" (/1/, S. 100) folgte. Das heißt, der Elektrizitätslehreunterricht begann mit der Elektrostatik, also mit der Erzeugung elektrischer Phänomene durch "Reibung", so wie das im 17. und 18. Jahrhundert zunächst vor allem durch "Hobby-Forscher" wie Otto von Guericke in Magdeburg, dann aber auch zur Unterhaltung in den Salons der vornehmen Gesellschaft erfolgte. Allerdings warnt Grimsehl "vor der Vorführung allzuvieler glänzender Experimente, die zwar die Schüler unterhalten und erheitern, aber sie über das wirklich Belehrende leicht hinwegsetzen" (/1/ S. 102). Heutzutage beginnt die Elektrizitätslehre der S I in der Regel mit Stromkreisen, die häufig die Situation "Beleuchtung im Haushalt" simulieren; man kann etwas ironisch von "Lämpchendidaktik" sprechen. Durch die empirischen Untersuchungen über Schülervorstellungen, durch allgemeine physikdidaktische Überlegungen und durch neue Spannungsquellen können weitere relevante Wege in die Elektrizitätslehre entstehen, insbesondere auch neue Wege zum Spannungsbegriff (vgl. /2/, /3/, /4/).

Ich möchte nicht die Frage verfolgen, welcher der traditionellen Wege in die Elektrizitätslehre der bessere sei. Denn beim gegenwärtigen Stand der Unterrichtsforschung scheint diese Frage gar nicht aufgrund empirischer Daten entscheidbar zu sein. Ich plädiere dafür, diese physikdidaktische Frage als noch offen zu betrachten und auch neue Vorschläge etwa für Lehrpläne und Lehrbücher in Betracht zu ziehen. Hier wird vor allem der Vorschlag "elektrostatische" Einführung des Spannungsbegriffs skizziert mit "einfachen" Experimenten, die die Schüler selbst durchführen können. Ferner scheint ein lernpsychologisches Argument für diese Einführung zu sprechen. Aber die Schulpraxis wird das letzte Wort darüber haben.

2. Der elektrostatische Phänomenbereich im historischen Überblick ¹

Bereits im antiken Griechenland (Thales von Milet) wußte man, daß ein geriebener Bernstein Wollfasern oder kleine Federn anziehen kann. Das griechische Wort für Bernstein "Elektron" erinnert an diesen Ursprung der Elektrizitätslehre.

Etwa zur gleichen Zeit als Galilei Kugeln eine schiefe Ebene hinabrollen ließ und das Fallgesetz entdeckte, untersuchte in England der Leibarzt der Königin, William Gilbert (um 1600), das Verhalten von geriebenem Bernstein und erfindet dafür als Erklärung eine Art Flüssigkeitsmodell; Elektrizität als "fluidum", diese Vorstellung hielt sich bis ins 19. Jahrhundert.

Otto von Guericke, bekannt durch die "Magdeburger Halbkugeln", baute die erste Elektrizier"maschine". Er goß eine Kugel aus Schwefel und hängte diese um einen Stab drehbar auf. Mit trockener Hand gerieben blieben "allerlei Blättchen oder Schnitzel von Gold, Silber, Papier, kleine Bohnen oder andere Geschabsel" an der Schwefelkugel hängen. Guericke beschrieb auch die Elektrizierung durch Reibung, die Elektrizitätsleitung, die Influenz und die Spitzenwirkung. Doch seine Untersuchungen blieben nahezu ohne Einfluß.

Erst im 18. Jahrhundert wurde der elektrostatische Phänomenbereich experimentell und am Ende des 18. Jahrhunderts auch theoretisch zufriedenstellend erschlossen: Die "Reibungs"elektrizität wurde als "Kontakt"- oder "Berührungs"-elektrizität erkannt, die bei Berührung zweier verschiedener Stoffe entsteht und unter geeigneten experimentellen Bedingungen auch nachweisbar war. Zur Erzeugung, Speicherung und zum Nachweis der Elektrizität wurden Geräte entwickelt, die bis zum heutigen Tag verwendet werden. Die Elektriziermaschinen wurden von Hauksbee in England, Bose und Winkler in Deutschland entwickelt.

In der Leidener Flasche, deren Wirkung 1746 von dem Physikprofessor Musschenbroek zufällig entdeckt wurde, läßt sich Elektrizität "verdichten". Jahre später wurden zwei mit Blech beschlagene Holztüren verwendet, die die Wirkung der Leidener Flasche übertrafen. Der Plattenkondensator war erfunden. Als quantitatives Nachweisgerät wurde das Elektroskop entwickelt, zunächst ein drehbarer Strohalm, dann zwei (leitende) Fäden, die sich abstoßen, schließlich ein Goldblättchen-Elektroskop (vgl. /5/, 182).

Als erste praktische Anwendung dieses Forschungsbereichs wurde der Blitzableiter von Benjamin Franklin (1747) vorgeschlagen und in der Folgezeit erprobt und gebaut. Selbst auf die damalige Damenmode hatte dieses Ereignis seine Auswirkung: Die Hüte wurden mit Blitzableitern versehen.

Als schwierig erwies sich die theoretische Deutung und Begriffsbildung. Franklin ging von einer sehr feinen elektrischen Materie aus, die jeder Körper besitzt und ihn durchdringt. Die Teilchen der elektrischen Materie werden von den Teilchen der gewöhnlichen Materie angezogen, stoßen sich aber gegenseitig ab.

Symmer kam ebenfalls der Zufall zu Hilfe, als er aufgrund des Verhaltens seiner Seidenstrümpfe auf zwei verschiedene Ladungen schloß. Die Einwirkung der Ladungen aufeinander scheint einem ähnlichen Gesetz zu folgen, wie die Wirkung von Massen. Coulomb untersuchte diese elektrischen Kräfte und veröffentlichte 1784 das nach ihm benannte elektrische Kraftgesetz, das tatsächlich wie vermutet dem Gravitationsgesetz formal entsprach. Gegen Ende des 18. Jahrhunderts wurden Begriffe gebildet, die wir auch heute verwenden. Lichtenberg nannte die "glaselektrischen" Körper positiv-elektrisch, die "harzelektrischen" negativ-elektrisch; als Mathematiker verwendete er dafür die Symbole + und -. Volta führte die Begriffe "Spannung" (tensione) und "Kapazität" (capacità) ein.

"Spannung" charakterisierte damals den mehr oder minder starken Drang der Ladung über Spitzen und Kanten zu entweichen, bzw. die Strohhalme eines Elektroskops zu spreizen. "Spannung" kann also mit einem Elektroskop gemessen werden.

3. Begriffsbildungen und Modelle im Physikunterricht

3.1 Von elektrostatischen Phänomenen zum Ladungsbegriff und zu JEDO-Beziehungen des Coulombschen Gesetzes

Kinder erfahren Elektrizität auch außerhalb der Haushaltsstromkreise: Der Staub auf der Schallplatte, der sich nur mit "antistatischen" Tüchern entfernen läßt; Plastiktüten, die sich fast nicht öffnen lassen; manchmal erhält man einen "Schlag", wenn man eine Türe anfaßt. Wenn man den Pullover auszieht, dann knistert es "elektrisch". Diese Erfahrungen lassen sich kanalisieren, so daß die Ursachen dieser Phänomene, elektrischen Kräfte, deutlich werden:

Die Schallplatte kann Papierschnitzel festhalten, hochhüpfen lassen, daß sie "kleben". Vor allem mit der Schreibfolie des Tageslichtschreibers lassen sich eine Reihe von Versuchen durchführen, die diesen Phänomenbereich erschließen, ihn vertraut werden lassen: Schreibfolien lassen frisch gewaschenes Haar zu Berge stehen, lenken den dünnen Strahl aus dem Wasserhahn ab. Aber was bedeutet das "Knistern", wenn man einen Pullover (aus Kunstfasern) auszieht? Wir hören dieses Knistern auch, wenn wir eine Schreibfolie reiben und dann einen Finger in die Nähe der Folie bringen. Wenn wir das Zimmer ganz abdunkeln und den Versuch wiederholen, können wir aus der Nähe sehen, daß die Fingerspitze in grünlichem Licht aufleuchtet, wenn das Knistern eine kurze Zeit anhält. Zur einfacheren Beobachtung nehmen wir einen Phasenprüfer (Polprüfer): schon in 10 cm Entfernung von der Folie beginnt die eingebaute Glimmlampe zu leuchten.

Die im Physikunterricht üblichen Glimmlampen leuchten zwar stärker als die Phasenprüfer, doch es gibt auch einen guten Grund zunächst den Phasenprüfer zu verwenden: er ist vielen Schülern vertraut und schafft den Übergang zur "gewohnten Elektrizität". Die Versuche mit der Folie kann man in verschiedene Denkrichtungen weiterverfolgen: Warum leuchtet das Lämpchen an einer Stelle schon auf, ohne daß die Folie berührt wird? Luft ist doch ein Nichtleiter! Wir haben hier einen einfachen Modellversuch für Blitz und Donner, der sich später noch eindrucksvoller mit dem Bandgenerator demonstrieren läßt.

Aufschlußreich kann auch sein, daß eine "elektrisch geladene Folie an einer Stelle "entladen" werden kann, an anderer Stelle aber offensichtlich noch "Ladungen" trägt. Denn wir beobachten noch viele Entladungen, wenn wir den Phasenprüfer einer anderen Stelle der Folie nähern. Die Ladungen scheinen an der Folie an einer Stelle festzukleben; sie kann nicht weiterfließen, so wie ausgeschüttetes Wasser. Sie ruht, sitzt fest: "statische" Elektrizität. Man muß eine Folie mit der Glimmlampe ganz fein abrastern, wenn man sie vollständig entladen will. Die Folie kann man auch gezielt aufladen und entladen. Auf eine geladene Folie kann man mit Hilfe der Glimmlampe in "Flammenschrift" einfache Zeichen schreiben, Informationen aufnehmen und speichern. Ein Vorversuch für moderne Technik: über Ladung und Entladung von Papier (mit dünner Halbleiterschicht) funktioniert ein modernes Kopiergerät (vgl. /6/)!

Schließlich könnte man die elektrostatischen Versuche mit der Schreibfolie variieren, um Hypothesen über "Reibungs"elektrizität zu prüfen.

Mit welchen Materialien kann man reiben? Die Schüler brauchen nicht das berühmte Katzenfell, um die Folie zu elektrisieren. Sie können dafür ein Papiertaschentuch nehmen oder die Hand, wie die "Elektrisierer" im Barockzeitalter. Ob gar nicht das Reiben wesentlich ist, sondern die Folie? Wir probieren nach den kunststoffbeschichteten Schülertischen eine Glas- oder Metallplatte, die Wand, die Türe, die Tafel aus; selbst wenn wir die Folie auf rauhe Steinplatten legen und sie reiben, können wir noch Elektrizität mit unserer Glimmlampe nachweisen. Es "knistert" in jedem dieser Beispiele. (Aber trocken müssen Unterlage und Folie sein). Die Elektrisierbarkeit ist eine Materialeigenschaft der Folie, so wie die Magnetisierbarkeit eine Eigenschaft von Eisen ist.

Die Ähnlichkeit mit dem Magnetismus, die schon Gilbert im Jahre 1600 beeinflußt hat, leitet uns zunächst bei der weiteren Untersuchung der statischen Elektrizität. Wir bauen ein Gerät, das die Elektrizität sichtbar anzeigen soll, das auch wie ein Kompaß aussieht. Anstatt der Magnetnadel nehmen wir einen Trinkhalm aus Plastik und stecken eine Stecknadel durch die Mitte des Trinkhalms. Vorläufig brauchen wir nicht mehr die Glimmlampe, um Elektrizität nachzuweisen; wir nehmen dazu das selbstgebaute Elektroskop.

Die Analogie zu magnetischen Kräften behalten wir weiter im Auge: Anstatt der Eisenfeilspäne nehmen wir nun feines Korkmehl. Hält man die geriebene Folie über das Korkmehl, richten sich die gröberen Korbteilchen nach oben aus, - sie sehen nun aus wie kleine Kristalle. Feine Korkteilchen hüpfen nach oben und bleiben an der Folie hängen, ähnlich wie die Eisenfeilspäne an Magneten. Aber man merkt es gleich, die elektrische Anziehung ist viel schwächer als die magnetische.

Ein wesentlicher Unterschied zwischen der Elektrizität und dem Magnetismus ist, daß der Trinkhalm des "Elektroskops überall gleichartig geladen ist, nicht wie bei der Magnetnadel (oder beliebig anderen Magneten), die immer Nord- und Südpol aufweisen. Auffallend ist auch die leichte Übertragbarkeit und die Mengenartigkeit der Elektrizität. Wir übertragen sie von der Folie auf eine isolierte Metallplatte, - das kann auch eine Bratpfanne mit Plastikgriff sein. Die Schüler können eine kleine Kette bilden und die Elektrizität mit ihren Metall-

platten weitergeben, allerdings nicht vollständig. Die Elektrizität teilt sich; auf jeder folgenden Platte ist die Elektrizitätsmenge immer kleiner. Bei Metallplatten gleicher Größe würde sie sich jedesmal halbieren. Welche wichtige Rolle der "Platz" spielt, auf dem sich Elektrizitätsmenge befindet, davon später Genaueres.

Wenn wir die Elektrizität näher erforschen wollen, müssen wir das einfache Elektroskop, das nur die Phänomene Anziehung und Abstoßung anzeigen konnte, verbessern. Der nichtleitende Trinkhalm wird elektrisch leitend, wenn man ihn in Alufolie wickelt. Weiter improvisierend, läßt sich aus zwei solchen Trinkhalmen ein übliches Elektroskop entwickeln, das i. a. allerdings nicht so empfindlich ist, wie ein Gerät der Lehrmittelindustrie. Vielleicht wird durch diesen "Umweg" - die Nacherfindung eines Elektroskops -, ein professionelleres Schulgerät einsichtiger und vertrauter.

Diesen ausführlicher dargestellten phänomenologischen Teil eines Unterrichtsgangs möchte ich mit dem Anschluß an die Lehrmittelgeräte beenden: Es wird nun in der üblichen Weise das Verhalten gleichartiger und verschiedener (verschiedenartiger) Ladungen untersucht. Die Ladungen entnehmen wir einem Hochspannungsgerät.

Der Übergang von der "ruhenden" Elektrizität zur "bewegten" Elektrizität, der hier experimentell vom nichtleitenden Elektroskop zum leitenden Elektroskop erfolgte, wird nun umgekehrt: Von der "bewegten" Elektrizität eines Hochspannungsnetzgerätes zur "ruhenden" Elektrizität auf einer angeschlossenen Metallkugel (Konduktorkugel). Die Experimente mit der Glimmlampe und dem Elektroskop zeigen nun die gleichen Erscheinungen wie bei der Folie. Bei diesen Versuchen mit dem Netzgerät wird allerdings immerwährend nachgeladen, wenn die Metallkugel für diesen Augenblick durch die Glimmlampe "entladen" wird.

Mit dieser Skizze für den Unterricht soll zweierlei erreicht werden:

- Ein Vertrautwerden mit den Phänomenen der ruhenden Elektrizität durch "Experimentiergeräte" aus der Lebenswelt der Schüler.
- Eine Verankerung im Vorwissen durch Vergleiche mit magnetischen Phänomenen, mit Ähnlichkeiten, aber auch deutlich herausgearbeiteten Unterschieden zwischen elektrostatischen und magnetostatischen Phänomenen.

3.2 Vom Ladungsbegriff zur "Spannung"

Der Ladungsbegriff und die im Coulombschen Gesetz enthaltene Abhängigkeit der elektrischen Kraft vom Abstand zweier Ladungen q_1 und q_2 , reichen nicht aus, um alle elektrischen Erscheinungen zu erklären. Warum zeigt das Elektroskop die gleiche Spannung an, wenn es an eine kleine Konduktorkugel angeschlossen wird, wie beim Anschluß einer großen Konduktorkugel (beide sollen an ein Hochspannungsnetzgerät angeschlossen sein)? Auf der großen Kugel ist doch viel mehr Ladung!

Bevor die Ladungsdichte q/A eingeführt wird, scheint es notwendig, eine atomistische Deutung der positiven und negativen Ladung zu geben: Die Deutung der elektrischen Phänomene durch "Elektronen" bzw. "freie Elektronen". Letztere kommen vor allem in Metallen vor, dadurch werden Metalle zu guten elektrischen Leitern. Die positiven Ladungen sind Atome, denen ein Elektron fehlt, "Atomrümpfe", die sich nicht bewegen können.

Die atomistische Deutung kann nicht genetisch im Sinne Wagenscheins erfolgen. Aber ein Halbwissen der atomistischen Deutung ist bei vielen Schülern vorhanden. Ich nehme an, die Schüler empfinden nur atomistische Deutungen als zufriedenstellend (s. /7/). Halbwissen drängt nach Verbesserung, nach genauerem Wissen!

Zur Vertiefung des neuen Wissens wird nicht nur die Bewegung des Zeigers im Elektroskop durch "freie Elektronen" erklärt. Und man sollte den folgenden für Schüler (und auch Studenten) überraschenden Versuch durchführen: von einer isoliert stehenden Metallplatte kann man beliebig oft Ladungen entnehmen; sie bringen beliebig oft z.B. eine Glimmlampe zum Leuchten (ein *perpeduum mobile*??).

Schritt 1: Schüler 1 reibt die Folie und hält sie über die isoliert stehende ungeladene Metallplatte. Schüler 2 hält die Glimmlampe an die Metallplatte, sie leuchtet.

Schritt 2: Schüler 1 entfernt die Folie. Schüler 2 hält die Glimmlampe die Metallplatte, sie leuchtet wieder (Abb. 2) und so fort (Abb. 1).

Wenn der Lehrer nun informiert, daß das Leuchten von einem der beiden Drähte in der Glimmlampe auch den Weg der Ladung anzeigt, - der leuchtende Draht zeigt an, ob Elektronen von der Erde zur Metallplatte fließen (Abb. 1) bzw. umgekehrt (Abb. 2) - können die Schüler den Vorgang erklären: Die Folie ist zunächst positiv geladen, d. h. es

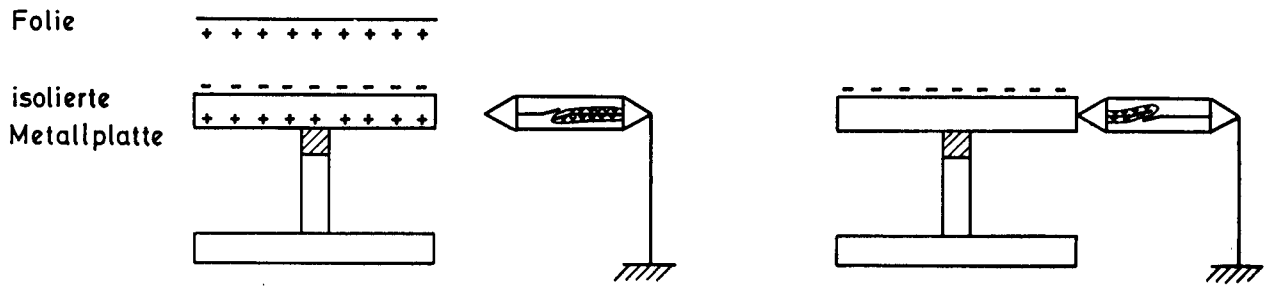


Abb. 1

Abb. 2

fehlen Elektronen. Überschüssige "Atomrümpfe" (= positive Ladung) binden Elektronen auf der Oberfläche der Metallplatte. Über den Schüler 2 gelangen weitere Elektronen aus der Erde auf die Metallplatte wenn der Schüler die Metallplatte mit der Glimmlampe berührt. An der Glimmlampe leuchtet der der Erde zugewandte Draht: Die Metallplatte ist negativ geladen.

Wird die Folie entfernt, besteht (wegen der zusätzlichen Elektronen auf der Platte) ein Ladungsunterschied zur Erde. Stellt Schüler 2 mit der Glimmlampe wieder eine leitende Verbindung zwischen Platte und Erde her, so fließen die Elektronen zurück, bis kein Ladungsunterschied mehr besteht; an der Glimmlampe leuchtet jetzt der der Platte zugewandte Draht.

Der Ladungsunterschied zwischen zwei Gegenständen, z. B. zwischen Metallplatte und Erde führt zu einem ersten vorläufigen Spannungsbegriff.

4. Für und Wider der elektrostatischen Einführung von "Spannung"

1. Bei der elektrostatischen Einführung des Spannungsbegriffs fließen nur Ströme im Mikroamperebereich. Der Ausdruck "Strom" kann vermieden werden: Es können sich Ladungen dann bewegen, - genauer elektrisch negativ geladene Teilchen (Elektronen), wenn Ladungsunterschiede bestehen. Der elektrostatische Phänomenbereich erfordert keinen Begriff "Strom". Dadurch könnte die häufige Verwechslung von "Strom", ("Stromstärke") und "Spannung" entfallen, die offensichtlich bei der üblichen Einführung der Stromkreise entsteht. Folgen wir Ausubels Rat, ähnliche Inhalte (aus der Sicht der Schüler) zunächst getrennt zu

behandeln, dann bedeutet das für den Physikunterricht auch möglichst verschiedenartige Phänomene für "Strom" und "Spannung" in den Experimenten heranzuziehen: z. B. elektrostatische Phänomene zur Einführung des Spannungsbegriffs und andererseits den elektrischen Stromkreis zur Einführung der Begriffs "Stromstärke" und "Widerstand".

Von der Lernpsychologie Berlyne's wissen wir, daß Widersprüche zu kognitiven Konflikten führen, die intrinsisch motivieren können. Allerdings benötigt man einige Zeit, um die unterschiedlichen Phänomenbereiche ("Elektrostatik" bzw. "elektrische Netzwerke") und die dabei jeweils entwickelten physikalischen Begriffe "integrativ auszusöhnen" (Ausubel).

2. Die hier vorgeschlagenen elektrostatischen Versuche mit der Folie und dem Hochspannungsnetzgerät, zu dem üblicherweise noch Versuche mit dem Bandgenerator hinzukommen, erfordern große didaktische Disziplin des Lehrers. Wo beginnen die unnötigen "Spielereien", wo sind die Versuche notwendig, um mit den Phänomenen vertraut zu werden, wo erleichtern die Versuche die Begriffsbildung? Eine gewisse Erfahrung benötigt der Lehrer auch bei den elektrostatischen Versuchen mit Kunststoff. Zunächst bringen diese Versuche einen Bezug zur Lebenswelt, und die Phänomene sind auch einfacher zu zeigen als die früheren elektrostatischen Versuche mit Katzenfell, Glasstab und Bernstein. Es ist allerdings zu beachten, daß Kunststoffe positiv und negativ geladen werden können, je nach Reibzeug und je nach Art des Kunststoffes².

3. Neben generellen Einwänden gegen den elektrostatischen Weg in die Elektrizitätslehre gibt es auch unterschiedliche Auffassungen in Detailfragen. Die wichtigste ist m. E. die Frage der atomistischen Deutung der elektrostatischen Phänomene. Hat sich der Lehrer dazu entschieden (wie hier vorgeschlagen), ist immer noch die Frage offen, ob er das einfache Nur-Elektronen-Modell verwenden will oder ein Elektron-Atomrumpf-Modell, schließlich auch noch "Ladungsunterschied" oder "Ladungsdichteunterschied".

4. Die elektrostatische Einführung des Spannungsbegriffs erfordert einen erfahrenen Lehrer, der gewohnt ist didaktisch diszipliniert zu denken, der die Versuche im voraus gründlich erprobt hat und über fundiertes theoretisches Wissen der Elektrostatik verfügt. Pädagogisch-psychologische Argumente (Ausubel, Berlyne) sprechen dafür, daß dieser Spannungsbegriff vom Strombegriff differenziert werden kann. Leider gibt es hierzu keine hinreichend gesicherten empirischen

Untersuchungen als Entscheidungshilfe.

5. Weitere Möglichkeiten

1. Impulse zur Einführung des Spannungsbegriffs gingen von neuen Geräten bzw. Bauteilen aus. Steinberg (/8/) schlug vor, als Spannungsquelle den "Superkondensator"³ (Kapazität 1 F!) zu verwenden, der kleiner ist als eine Flachbatterie. "Spannung" ist hier "Anhäufung" von Elektronen im Kondensator. Es dauert mehrere Minuten, um diesen Kondensator über ein 4 V (0,05 A) Lämpchen so weit zu entladen, daß die Glühwendel im Lämpchen nicht mehr glimmt. Der Zeigerausschlag eines Amperemeters läßt auch noch einige Zeit danach auf "Elektronenbewegung" im Stromkreis schließen.

2. Für Schüler ist die Solarzelle faszinierender als ein Kondensator. Sommer (/7/) hat sich um Elementarisierungen für die Haupt- und für die Realschule bemüht. Eine didaktische Analyse (/3/) zeigt, daß man den Energiebegriff voraussetzen muß, wenn die Solarzelle zur Einführung des Spannungsbegriffs verwendet werden soll: Lichtenergie wird in der Solarzelle in elektrische Energie umgewandelt, indem elektrische Ladungen getrennt werden. Durch den Zusammenhang von Spannung und Energieumwandlungen ist man näher bei der technischen Definition: Spannung = Arbeit pro Ladung. Allerdings ist diese Arbeit an den Ladungen einer Solarzelle nicht "anschaulich".

3. Muckenfuß (/9/), der ebenfalls die Aspekte Arbeit bzw. Energie bei der Einführung des Spannungsbegriffs hervorhebt, bemüht sich um Anschaulichkeit in einem von ihm entwickelten Wassermodell. Das führt zu einem weiteren Diskussionspunkt bei der Einführung des Spannungsbegriffes, nämlich die Möglichkeit, "Spannung" durch Analogien "anschaulich" einzuführen. Dabei wird, entsprechend den Möglichkeiten im primären Lernbereich, ebenfalls auf "Spannung ist Ladungsunterschied" bzw. "Spannung ist Arbeit an Ladungen" gezielt. Aber auch die Verwendung von Modellen löst das physikdidaktische Problem "Einführung des Spannungsbegriffs" nicht endgültig, (s. z. B. /10/). Diese Ausführungen sind daher als Anregungen zu verstehen für kritisch fragende Diskussionen auch in der Schulpraxis.

Literatur

- /1/ GRIMSEHL, E.: Didaktik und Methodik der Physik. München, 1911: Reprint: Bad Salzdetfurt, 1977.
- /2/ JUNG, W.: Strom, Stromstärke, Spannung und Widerstand im ein-führenden Elektrizitätsunterricht. In KUHN, W. (Hrsg.): Didaktik der Physik. Vorträge Physikertagung 1985 München. Gießen, 1985, 283-287
- /3/ KIRCHER, E.: Empirische Untersuchungen zum Spannungsbegriff in der SI. In: WIEBEL; K.H. (Hrsg.): Zur Didaktik der Physik und Chemie 1986. Alsbach: Leuchtturm, 1987, 242-244.
- /4/ v. RHÖNECK, C.: Wege zum Spannungsbegriff. NiU P/C 36, 4-13, 1988.
- /5/ FRAUNBERGER, F.: Elektrizität im Barock. Köln: Deubner, 1964.
- /6/ SCHMIDT, H.: Moderne Technologien im Physikunterricht. Köln: Aulis, 1986.
- /7/ STEINBERG, M.: Construction of causal models: experimenting with capacitor-controlled transients as a means of promoting conceptual change. In: Duit, R. u.a. (Eds): Aspects of understanding electricity. IPN Arbeitsberichte 59, Kiel, 1985, 363-374.
- /8/ SOMMER, H.: Empirische Untersuchungen mit der Solarzelle zur Einführung des Spannungsbegriffs in der Hauptschule. Zulassungsarbeit, Würzburg, 1986.
- /9/ MUCKENFUSS, H.: Vorschläge zur Einführung der Begriffe Strom, Spannung und Widerstand. NiU-P/C 30, 399-406, 1982.
- /10/KIRCHER, E.: Analogies for the electric circuit? In: DUIT, R.; JUNG, W.; v. RHÖNECK, Chr. (Eds): Aspects of understanding electricity. IPN Arbeitsbericht 59, Kiel 1985, 299-309.

Anmerkungen

- ¹ Die folgenden Ausführungen schließen an Fraunberger /5/ an.
- ² Z.B. wird die Overheadfolie mit Katzenfell und Papiertaschentuch jeweils positiv aufgeladen. Polyäthylen wird mit diesem Reibzeug jeweils negativ aufgeladen. GF-UP-Laminat wird mit Katzenfell negativ, mit einem Papiertaschentuch positiv aufgeladen. Der Nachweis der Ladungsart erfolgt mit Glimmlampe, noch zuverlässiger über den in 3.2 beschriebenen Versuch über Influenz.
- ³ Der "Superkondensator" ist ein Doppelschichtkondensator mit Aktivkohle und einer Schwefelsäurelösung. Die hohe Kapazität entsteht (u.a.) durch die große Oberfläche (ca. 10^4 m^2) der porösen Aktivkohle.