

Erkenntnisse aus Teaching Experiments zum Elektronengasmodell

Motivation

Viele Schülerinnen und Schüler besitzen auch nach der Sekundarstufe I trotz guter und intensiver unterrichtlicher Bemühungen kein grundlegendes Verständnis von einfachen elektrischen Stromkreisen. Insbesondere wissen sie nicht, was die elektrische Spannung ist, welche Rolle sie in Stromkreisen spielt und wie man sich die Spannung vorstellen kann. Stattdessen wird die elektrische Spannung häufig als Eigenschaft bzw. als Bestandteil des elektrischen Stroms gesehen (Stichwort „Stromspannung“), der die Vorstellung der meisten Schüler zu Stromkreisen dominiert (Rhöneck, 1986). Dies ist nicht nur bedauerlich, weil die Spannung eine der physikalischen Größen darstellt, welche im Alltag der Schüler eine große Bedeutung haben, sondern auch, weil ohne die Spannung ein elementares Verständnis der Elektrizitätslehre unmöglich ist.

Die Spannung ist allerdings keine einfache physikalische Größe, da sie die Differenz zweier Potenzialwerte darstellt und sich immer auf zwei Punkte in einem Stromkreis bezieht. Sie ist damit komplexer als das elektrische Potenzial, das einem Punkt bzw. einem Leiterabschnitt zugeordnet werden kann. Paradoxe Weise wird von den Schülern insbesondere im Anfangsunterricht aber häufig erwartet, ein Verständnis für die Spannung zu entwickeln, ohne die dahinterstehende Größe selbst, nämlich das Potenzial, zu kennen, geschweige denn zu verstehen (Herrmann & Schmälzle, 1984, S.477). Das hier vorgeschlagene Elektronengasmodell stellt einen vielversprechenden Ansatz dar, eine entsprechend anschauliche Erklärung für das Potenzial zu liefern, indem es das elektrische Potenzial mit dem Luftdruck bzw. „elektrischen Druck“ vergleicht.

Das Elektronengasmodell

Aufbauend auf der von Clement & Steinberg (2002) erfolgreich erprobten Luftdruckanalogie besteht die Idee zunächst darin, den Schülern auf Grundlage ihrer intuitiven Luftdruckvorstellung bewusst zu machen, dass Luftströmungen immer eine Folge von Luftdruckunterschieden sind. Dieses Verständnis wird dann auf elektrische Stromkreise übertragen, indem analog zum Luftdruck ein „elektrischer Druck“ in Leitern postuliert wird. Die Idee hinter dem „elektrischen Druck“ ist, dass sich Elektronen in Metallen in Teilchenform befinden und sich dort frei bewegen können. Da die Elektronen negativ geladen sind, werden sie durch Abstoßung so weit wie möglich auseinandergetrieben, weshalb sie den ihnen zur Verfügung stehenden Raum im gesamten Leiter gleichmäßig ausfüllen. Im Leiter kommt es aufgrund der gegenseitigen Coulomb-Abstoßung der Elektronen zu einem von der Elektronendichte abhängigen elektrischen Druck (für eine fachliche Auseinandersetzung sei auf Burde et al. (2014a) verwiesen).

Ursächlich für die Ungleichverteilung der Elektronen im Leiter ist dabei die Batterie, die an ihren Polen bzw. in den mit ihren Polen verbundenen Leiterstücken einen konstanten elektrischen Überdruck (Minuspol) bzw. Unterdruck (Pluspol) erzeugt, indem sie ähnlich einer Pumpe Elektronen vom Plus- zum Minuspol pumpt. Durch Gleichsetzen des elektrischen Drucks mit dem elektrischen Potenzial kann die Spannung so als elektrischer Druckunterschied interpretiert werden, welcher genauso die Ursache für den elektrischen Strom ist wie Luftdruckunterschiede die Ursache für Luftströmungen sind.

Beschreibung der „Teaching Experiments“

Insgesamt neun Schüler einer sechsten Gymnasialschulklasse bekamen in individuell durchgeführten „Teaching Experiments“ eine Einführung in die elementare Elektrizitätslehre. Die Interviews, die alle einen zeitlichen Umfang von etwa drei Schulstunden hatten, wurden dabei mit zufällig ausgewählten Schülern unterschiedlicher Leistungsniveaus durchgeführt, wobei keiner der Schüler nennenswerte Vorkenntnisse in Bezug auf die Elektrizitätslehre hatte. Ziel der Interviews war es herauszufinden, welche Visualisierung des Potenzials die Schüler als am verständlichsten empfinden (siehe hierzu Burde et al., 2014b), inwiefern die Grundideen hinter dem Elektronengasmodell von den Schülern akzeptiert und verstanden werden und mit welchen Lernschwierigkeiten in einem Unterrichtskonzept auf Basis des Elektronengasmodells zu rechnen ist.

Es zeigte sich, dass die Schüler die dem Elektronengasmodell zugrundeliegenden Konzepte wie die Elektrostatik und Atomvorstellung akzeptieren und verstehen. Insbesondere besitzen bzw. entwickeln sie zügig ein für das Elektronengasmodell ausreichendes Luftdruckverständnis im Sinne von „komprimierte Luft steht unter Druck, drückt gegen die Wände und hat das Bestreben sich auszudehnen“, da sie hierzu in der Regel bereits an Alltagserfahrungen z.B. mit Luftpumpen oder Fußbällen anknüpfen können. Der anschließend nötige Transfer ihres Luftdruckverständnisses auf den in Stromkreisen herrschenden „elektrischen Druck“ stellt für die Schüler keine nennenswerten Schwierigkeiten dar. In direkter Analogie zum Luftdruckunterschied, der die Ursache für Luftströmungen darstellt, begreifen die Schüler dann die Spannung intuitiv als elektrischen Druckunterschied, der die Ursache für Elektronenströmungen, d.h. den elektrischen Strom, darstellt.

Bekannte Lernschwierigkeiten

In den Teaching Experiments traten auch eine Reihe bekannter und neuer Fehlvorstellungen und Lernschwierigkeiten auf, die einerseits wertvolle Erkenntnisse in Hinblick auf die Entwicklung eines vollwertigen Unterrichtskonzepts lieferten, andererseits aber vor dem Hintergrund des mit drei Schulstunden knapp bemessenen Zeitrahmens und der für die Schüler vielen neuen Inhalte ohne Übungs- und Vertiefungsphasen nicht überraschend sind.

Zu den aufgetretenen bekannten Lernschwierigkeiten zählt u.a. die sequentielle Argumentation (Closset, 1984), wonach Schüler nicht den Systemcharakter von Stromkreisen erkennen, sondern glauben, der Elektronenstrom habe seinen Anfang im Minuspol der Batterie und ströme von dort aus durch den Stromkreis in Richtung Pluspol. In Folge argumentierten einige Schüler bei Reihenschaltungen, dass die Lämpchen nacheinander angehen müssten oder dass sich Widerstandsänderungen im „hinteren“ Teil des Stromkreises nicht auf die Stromstärke im „vorderen“ Teil auswirken würden. Auch vertraten drei Schüler die bekannte und weit verbreitete Stromverbrauchsvorstellung (Rhöneck, 1986), wonach Elektronen in Widerständen oder Lämpchen verbraucht oder an den Atomrümpfen hängenbleiben würden. Einige Schüler vertraten ferner die inverse Widerstandsvorstellung (Rhöneck, 1986), wonach ein größerer Widerstand mehr Strom benötige und daher eine Erhöhung der Stromstärke im Stromkreis zu Folge habe.

Neu gefundene Lernschwierigkeiten

Aus physikdidaktischer Perspektive besonders interessant sind allerdings die neu aufgetretenen, modellspezifischen Lernschwierigkeiten. So führt die bereits bekannte Fehlvorstellung einer Batterie als Konstantstrom- statt Konstantspannungsquelle im Elektronengasmodell dazu, dass viele Schüler zunächst einen direkten Zusammenhang zwischen Leitervolumen und dem im Leiter herrschenden Potenzial sehen. In der Vorstellung der Schüler steht den Elektronen bei einem größeren Leiter mehr Platz zur Verfügung, weshalb der „elektrische Druck“ bzw. das elektrische Potenzial in diesem absinken müsse. Konkret zeigte sich diese

Fehlvorstellung, wenn neben ein bisheriges Lämpchen ein weiteres, gleichartiges Lämpchen parallel geschaltet wird, wie im linken Teil der Abbildung 1 zu sehen ist.

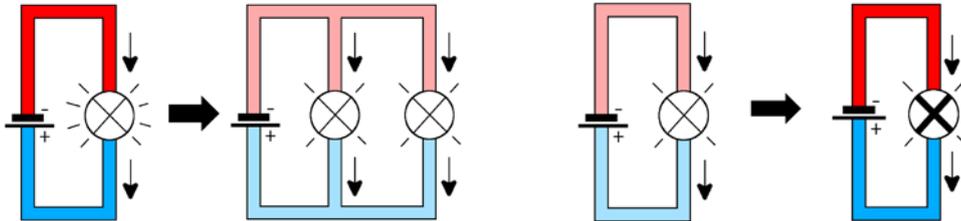


Abb. 1: Fehlvorstellung, wonach der elektrische Druckunterschied bei Vergrößerung des Volumens absinken (links) bzw. bei Vergrößerung des Widerstands ansteigen müsse (rechts).

In einer anderen Ausprägung führt die Konstantstromvorstellung dazu, dass Schüler eine Abhängigkeit zwischen dem im Stromkreis verwendeten Widerstand und dem im Leiter herrschenden Potenzial sehen. Wie im rechten Teil der Abbildung 1 illustriert, wird dabei angenommen, dass der elektrische Druck im Leiterstück, das mit dem Minuspol der Batterie verbunden ist, zunehmen müsse, wenn der Widerstand im Stromkreis vergrößert wird. Dahinter steht die Idee, dass ein größerer Widerstand zu einem größeren Elektronenrückstau im Leiterstück führe und damit dort auch der elektrische Druck bzw. das elektrische Potenzial ansteigen müsse.

Bei Parallelschaltungen scheinen manche Schüler ferner Probleme zu haben, konzeptionell zwischen dem elektrischen Druck und der Stromstärke in einem Leiterabschnitt zu differenzieren. Konkret wird von ihnen angenommen, dass in allen Bereichen gleichen elektrischen Drucks auch die Stromstärke gleich groß sein müsste.

Ausblick

In den durchgeführten Teaching Experiments hat sich das Elektronengasmodell als vielversprechender Ansatz zur Einführung in die elementare Elektrizitätslehre erwiesen, da es den meisten Schülern gelingt, ein intuitives und unabhängiges Spannungskonzept auf der Grundlage ihrer Alltagserfahrungen mit dem Luftdruck zu entwickeln. Aufbauend auf den mit Hilfe der Teaching Experiments gewonnen Erkenntnissen wurde ein Unterrichtskonzept nach dem Elektronengasmodell inklusive passender Unterrichtsmaterialien entwickelt, das nun im realen Unterricht u.a. mit Hilfe des von Urban-Woldron entwickelten E-Lehre-Tests (Urban-Woldron, 2013) evaluiert wird.

Literatur

- Rhöneck, C. v. (1986). Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis und zu den Begriffen Strom, Spannung und Widerstand, *Naturwissenschaften im Unterricht-Physik*, 34 (1986) 13, S.108-112.
- Herrmann, F.; Schmäzle, P. (1984). Das elektrische Potential im Unterricht der Sekundarstufe I. In: *MNU* 37 (1984) 8, S.476-482.
- Clement, J. J.; Steinberg, M. S. (2002). Step-Wise Evolution of Mental Models of Electric Circuits: A „Learning-Along“ Case Study. In: *The Journal of The Learning Sciences*, 11 (2002) 4, S.389-452.
- Burde, J.-P.; Wilhelm, T.; Wiesner, H. (2014a). Das Elektronengasmodell in der Sekundarstufe I. In: *PhyDid-B - Didaktik der Physik – Frühjahrstagung Frankfurt 2014*, www.phydid.de
- Burde, J.-P.; Wilhelm, T.; Wiesner, H. (2014b). Das Elektronengasmodell und Möglichkeiten seiner Visualisierung. In: Bernholt, S. (Hrsg.): *Heterogenität und Diversität*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Bremen 2014, 35 (2015), S. 438 – 440.
- Closset, J. L. (1984). Woher stammen bestimmte „Fehler“ von Schülern und Studenten aus dem Bereich der Elektrizitätslehre? Kann man sie beheben? *Der Physikunterricht* 18 (1984) 2, S.21–31.
- Urban-Woldron, H. (2013). Das Verständnis in der Elektrizitätslehre überprüfen - In: Bernholt, S. (Hrsg.): *Inquiry-based learning - Forschendes Lernen*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Hannover 2012 (2013) 33, S.209 – 211.