

## Erste Evaluation eines Unterrichtskonzepts auf Basis des Elektronengasmodells

### Motivation

Die Vorstellung vieler Schülerinnen und Schüler in der Sek I von Stromkreisen ist maßgeblich vom Strombegriff geprägt, während die Spannung von vielen lediglich als Eigenschaft des Stroms wahrgenommen wird (Stichwort „Stromspannung“) (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. Paradoxerweise wird aber von den Schülern insbesondere im Anfangsunterricht häufig erwartet, ein Verständnis für die Spannung zu entwickeln, ohne die dahinterstehende Größe selbst, nämlich das elektrische Potenzial, zu kennen, geschweige denn zu verstehen (Herrmann & Schmälzle, 1984, S. 477).

### Grundidee des Elektronengasmodells

Das Elektronengasmodell stellt einen vielversprechenden Ansatz dar, eine anschauliche und intuitive Erklärung der elektrischen Spannung und des elektrischen Potenzials zu liefern, indem dieses mit dem Luftdruck bzw. „elektrischen Druck“ verglichen wird (vgl. Clement & Steinberg, 2002). Die Idee hinter dem „elektrischen Druck“ – im Modell visualisiert durch unterschiedliche Punktedichten bzw. Farben – ist, dass sich in Metallen freie Elektronen in Teilchenform befinden und dort aufgrund ihrer gegenseitigen Coulomb-Abstoßung einen von der Elektronendichte abhängigen „elektrischen Druck“ verursachen (für eine fachliche Auseinandersetzung sei auf Burde, Wilhelm & Wiesner, 2014 verwiesen). In Analogie zu Luftdruckunterschieden, die die Ursache für Luftströmungen sind, wird die elektrische Spannung dann als „elektrischer Druckunterschied“ und somit Antrieb des elektrischen Stroms eingeführt. Aus didaktischer Sicht besteht die Hoffnung bei diesem Vorgehen darin, an die alltägliche Luftdruckvorstellung der Schülerinnen und Schüler u.a. mit Luftpumpen, Fußbällen und Fahrradreifen anzuknüpfen (vgl. diSessa, 1993), ohne jedoch ein fachlich korrektes Druckkonzept mit der in der Sek I teils schwierigen Differenzierung zwischen skalarem Druckbegriff und vektoriell Kraftbegriff vorauszusetzen oder dieses an dieser Stelle einzuführen. Das Ziel des Unterrichtskonzepts besteht darin, den Schülerinnen und Schülern ein fundiertes qualitatives Verständnis der Wirkungszusammenhänge in Stromkreisen inkl. eines hierzu nötigen eigenständigen Spannungsbegriffs bereits im Anfangsunterricht zu ermöglichen.

### Das Design der Studie

Im Sinne von Design-Based-Research (Wilhelm, Tobias, Waltner, Hopf & Wiesner, 2012) wurde zunächst ein Grundkonzept zum Elektronengasmodell erarbeitet und mit Hilfe von Teaching Experiments darauf hin überprüft, inwiefern die verwendeten Konzepte und Visualisierungen von den Schülerinnen und Schülern akzeptiert und verstanden werden (Burde & Wilhelm, 2015). Aufbauend auf den so gewonnenen Erkenntnissen wurde dann ein Unterrichtskonzept nach dem Elektronengasmodell inklusive passender Unterrichtsmaterialien für die Schulpraxis entwickelt, das im Schuljahr 2015/16 in Zusammenarbeit mit Frankfurter

Gymnasien im Rahmen einer Vergleichsstudie evaluiert wurde. An dieser Stelle sei angemerkt, dass die hier auf Grundlage von 32 Gymnasialschulklassen bzw. mehr als 700 Schülern vorgestellten Ergebnisse einen vorläufigen Charakter haben, da zum Zeitpunkt des Schreibens noch die Daten von einigen Klassen ausstanden.

Ziel der quasi-experimentellen Studie auf Basis eines Pre-Posttest-Designs war es, den Verständnisszuwachs von traditionell unterrichteten Klassen (Kontrollgruppe) mit dem Verständnisszuwachs von Klassen zu vergleichen, die nach dem neuen Unterrichtskonzept auf Grundlage des Elektronengasmodells unterrichtet wurden (Treatmentgruppe). Der Verständnisszuwachs wurde dabei in beiden Gruppen mit Hilfe des anerkannten und psychometrisch ausgereiften zweistufigen Multiple-Choice-Tests von Urban-Woldron erhoben (Urban-Woldron & Hopf, 2012), der 22 Items zu Stromstärke und Widerstand umfasst und um vier weitere Items zum Potenzial- und Spannungsbegriff erweitert wurde. Der Vorteil der Zweistufigkeit des Tests besteht darin, dass die Schüler nicht nur eine Antwort ankreuzen, sondern in einer zweiten Stufe diese dann auch begründen müssen. Auf diese Weise können nicht nur mögliche Fehlvorstellungen erhoben werden, sondern auch falsch-positive Antworten (d.h. richtige Antworten mit falscher Begründung bzw. Vorstellung) identifiziert werden. Sofern sowohl die gegebene Antwort als auch die Begründung korrekt sind, wird das jeweilige Item als korrekt gezählt, weshalb im eingesetzten Multiple-Choice-Test der maximal erreichbare Summenscore 26 beträgt.

### Erste empirische Ergebnisse

Die Kontrollgruppe wurde im Durchschnitt 21,7 Schulstunden lang unterrichtet und umfasste 14 Klassen bzw. 285 Schüler, während die Treatmentgruppe 20,9 Schulstunden lang unterrichtet wurde und 18 Klassen bzw. 418 Schüler umfasste. Im Unterricht aller teilnehmenden Klassen, der sowohl in Kontroll- als auch Treatmentgruppe hauptsächlich in Jahrgangsstufe 8 stattfand, wurde das Thema „Elektrizitätslehre“ zum ersten Mal im Unterricht behandelt.

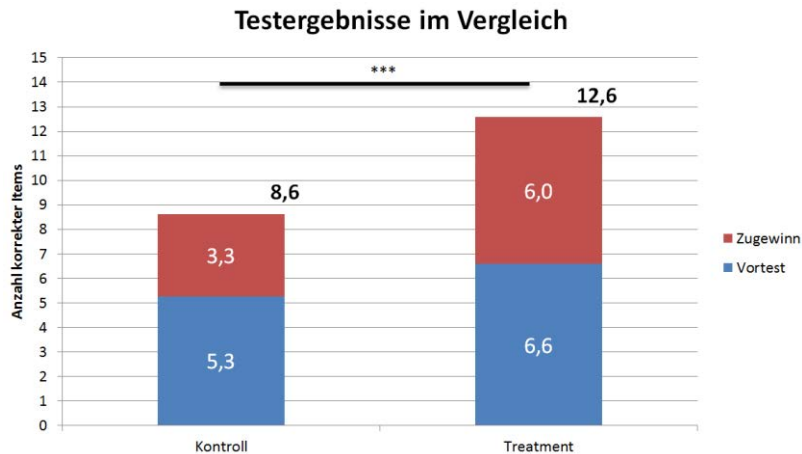


Abb. 1: Vor- und Nachtestergebnisse von Kontroll- und Treatmentgruppe

Nach dem Unterricht konnten die Schüler der Kontrollgruppe im Mittel 8,6 Items und die Schüler der Treatmentgruppe 12,6 Items korrekt beantworten. Der Unterschied ist höchst signifikant und entspricht einer mittleren Effektstärke von  $d = 0,76$ . Vor Beginn des Elektrizitätslehreunterrichts konnten die Schüler der Kontrollgruppe 5,3 Items und die Schüler der Treatmentgruppe 6,6 Items richtig beantworten. Da sich die beiden Gruppen bzgl. der Vortestergebnisse höchst signifikant unterscheiden, ist eine Betrachtung des erreichten Lernzuw-

achses naheliegend. Vergleicht man den durch den Unterricht erzielten absoluten Lernzuwachs von 3,3 Items in der Kontrollgruppe und 6,0 Items in der Treatmentgruppe, wird deutlich, dass der Unterricht nach dem Elektronengasmodell zu einem signifikant höheren Verständnisszuwachs bei den Schülern führt ( $p < .001$ ). Bezogen auf den absoluten Zugewinn liegt eine mittlere Effektstärke von  $d = 0,51$  vor.

Betrachtet man den mittleren absoluten Zugewinn der einzelnen Klassen, so fällt dieser sowohl in der Kontroll- als auch in der Treatmentgruppe äußerst heterogen aus. Die Abbildung 2 zeigt den absoluten Zugewinn jeder einzelnen Klasse der Kontrollgruppe (blau) und der Treatmentgruppe (rot). Während es in beiden Gruppen Klassen gibt, die nach dem Unterricht im Mittel weniger Items korrekt beantworten konnten als vor dem Unterricht, beträgt der höchste absolute Zugewinn in der Kontrollgruppe 7,0 Items und in der Treatmentgruppe 12,4 Items. Insgesamt hat ein Drittel der Treatmentklassen einen höheren absoluten Zugewinn erzielt als die beste Klasse der Kontrollgruppe.

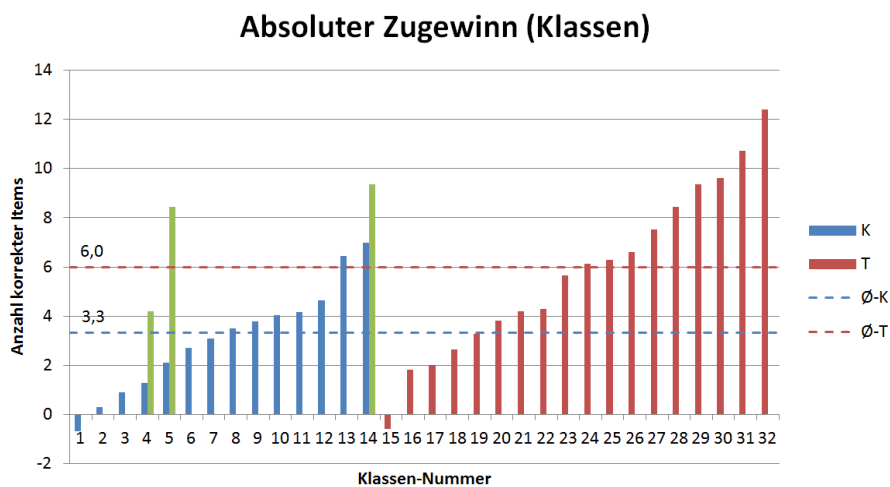


Abb. 2: Absoluter Zugewinn der einzelnen Klassen von Kontroll- und Treatmentgruppe

In der Regel wurden Kontroll- und Treatmentklassen von unterschiedlichen Lehrkräften unterrichtet, jedoch gab es zwei Lehrkräfte (Lehrer A: K4 und K5; Lehrer B: K14), die ihre Klassen einmal klassisch und einmal nach dem Elektronengasmodell unterrichteten. Wie an Hand der grünen Balken in Abbildung 2 ersichtlich ist, haben alle Lehrer bei ihren Klassen einen deutlich höheren Lernerfolg erzielen können, wenn sie diese statt nach ihren bisherigen Konzepten nach dem Elektronengasmodell unterrichteten.

### Ausblick

Sobald die Daten von allen an der Studie teilnehmenden Klassen vorliegen, ist die Durchführung einer Varianzanalyse geplant, um die Vortestunterschiede kontrollieren zu können. Darüber hinaus soll neben der quantitativen Auswertung auch ein Blick auf die in der Praxis gewonnenen Erfahrungen der Lehrkräfte mit dem Elektronengasmodell geworfen werden, die mit Hilfe einer qualitativen Befragung der an der Studie teilnehmenden Lehrerinnen und Lehrer erhoben wurden. Um interessierten Lehrkräften die im Rahmen dieser Studie entwickelten Unterrichtsmaterialien unkompliziert und kostenfrei zur Verfügung stellen zu können, wurde ferner die Seite [www.einfache-elehre.de](http://www.einfache-elehre.de) eingerichtet.

**Literatur**

- Burde, J.-P. & Wilhelm, T. (2015). Akzeptanzbefragung zum Elektronengasmodell. *PhyDid B - Didaktik der Physik – Frühjahrstagung Wuppertal 2015*, <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/view/602/734>
- Burde, J.-P., Wilhelm, T. & Wiesner, H. (2014). Das Elektronengasmodell in der Sekundarstufe I. *PhyDid B - Didaktik der Physik – Frühjahrstagung Frankfurt 2014*, <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/view/505/652>
- Clement, J. J. & Steinberg, M. S. (2002). Step-Wise Evolution of Mental Models of Electric Circuits: A „Learning-Aloud“ Case Study. *The Journal of The Learning Sciences*, 11 (4), S. 389 - 452.
- diSessa, A. (1993). Toward an Epistemology of Physics. *Cognition and Instruction*, 10 (2-3), 105-225.
- Herrmann, F. & Schmälzle, P. (1984). Das elektrische Potential im Unterricht der Sekundarstufe I. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 37 (8), S. 476 - 482.
- Rhöneck, C. v. (1986). Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis und zu den Begriffen Strom, Spannung und Widerstand. *Naturwissenschaften im Unterricht - Physik*, 34 (13), S. 10 - 14.
- Urban-Woldron, H. & Hopf, M. (2012). Entwicklung eines Testinstruments zum Verständnis in der Elektrizitätslehre. *Zeitschrift für die Didaktik der Naturwissenschaften* 18, S. 201 - 227. [http://archiv.ipn.uni-kiel.de/zfdn/pdf/18\\_Urbahn.pdf](http://archiv.ipn.uni-kiel.de/zfdn/pdf/18_Urbahn.pdf)
- Wilhelm, T., Tobias, V., Waltner, C., Hopf, M. & Wiesner, H. (2012). Design-Based Research am Beispiel der zweidimensional-dynamischen Mechanik. In S. Bernholt (Hrsg.): *Konzepte fachdidaktischer Strukturierung für den Unterricht*, Jahrestagung der GDGP in Oldenburg 2011, Reihe: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Band 32, Lit-Verlag, Münster, S. 31 - 47