

Akzeptanzbefragung zum Elektronengasmodell

Jan-Philipp Burde*, Thomas Wilhelm*

*Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt, Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt
burde@physik.uni-frankfurt.de, wilhelm@physik.uni-frankfurt.de

Kurzfassung

Lernenden gelingt es in der Sek I häufig nicht, ein adäquates Verständnis vom Spannungskonzept zu entwickeln. Das Elektronengasmodell versucht auf Erfolgen von Potenzialansätzen aufzubauen, indem das elektrische Potenzial mit dem elektrischen Druck gleichgesetzt wird. Aus didaktischer Sicht besteht die Hoffnung dabei darin, die Vorstellung vom elektrischen Druck mit Alltagserfahrungen zum Luftdruck (z.B. Luftpumpen, Spritzen und Fahrradreifen) zu verknüpfen und die Spannung den Schülern so als Druckunterschied verständlich zu machen.

Im Rahmen einer Akzeptanzbefragung mit neun Schülern einer sechsten Gymnasialklasse vor dem ersten Elektrizitätslehreunterricht wurde u.a. untersucht, inwiefern das Modell und seine Visualisierungen von Schülern akzeptiert werden. Dabei zeigte sich, dass das Elektronengasmodell und die mit ihm verbundene Atom- und Druckvorstellung von den Schülern weitgehend angenommen und verstanden werden. Insbesondere bringen Schüler aufgrund ihrer Alltagserfahrungen bereits ein für das Elektronengasmodell ausreichendes Luftdruckverständnis mit und können dieses erfolgreich auf den im Modell in Stromkreisen herrschenden elektrischen Druck übertragen. Infolgedessen gelang es den meisten Schülern bereits nach verhältnismäßig kurzer Zeit ein vom elektrischen Strom unabhängiges Spannungskonzept im Sinne eines elektrischen Druckunterschieds zu entwickeln. Von vier vorgestellten Visualisierungsformen des elektrischen Drucks haben sich zwei, nämlich die Punktedichtedarstellung und die Farbdarstellung, als intuitiv verständlich erwiesen.

1. Motivation

Trotz mehrjähriger unterrichtlicher Bemühungen besitzen viele Schülerinnen und Schüler am Ende der Mittelstufe kein angemessenes Spannungskonzept. Stattdessen wird die elektrische Spannung häufig als Eigenschaft bzw. als Bestandteil des in der Vorstellung der Schüler dominierenden elektrischen Stromes verstanden [1]. Bisherige physikdidaktische Forschung [2 – 4] deutet darauf hin, dass eine der Ursachen für diese Lernschwierigkeit darin zu suchen sein könnte, dass seit Anfang des 20. Jahrhunderts nicht mehr das Potenzial Ausgangspunkt der E-Lehre ist, sondern Lehrbücher größtenteils ohne didaktische Begründung das Strom- und Spannungskonzept zum zentralen Lerngegenstand erhoben haben. Problematisch daran ist, dass sich die Spannung als Potentialdifferenz immer auf zwei Punkte in einem Stromkreis bezieht und damit komplexer ist als das Potenzial, das einem Punkt bzw. Leiterabschnitt zugeordnet werden kann. Das Paradoxe ist also, dass von Schülern im Anfangsunterricht erwartet wird, mit der Spannung als Differenzgröße zu operieren, ohne die dahinterstehende Größe selbst, nämlich das Potenzial, zu kennen, geschweige denn zu verstehen [5, S.477]

2. Das Elektronengasmodell

Die bisherige physikdidaktische Forschung zur Lernwirksamkeit von Modellen des elektrischen Stromkreises hat beispielsweise beim Stäbchenmo-

dell und dem geschlossenen Wasserkreislauf mit Doppelwassersäule zeigen können, dass Potenzialansätze mit visueller Darstellung des Potenzials besonders vielversprechend sind und zu einem vergleichsweise hohen Lernerfolg führen [6, S.35, 3, S.70]. Aufbauend auf der von Clement & Steinberg [4] erfolgreich erprobten Luftdruckanalogie versucht das hier vorgeschlagene Elektronengasmodell daher im Sinne von Design-Based-Research [7] auf diesen Erkenntnissen aufzubauen und die Luftdruckvorstellung mit einer bildhaft-anschauungsorientierten Vorstellung des Potenzials zu verknüpfen.

Die Grundidee des Elektronengasmodells ist, dass sich in Metallen Elektronen in Teilchenform befinden und sich dort frei bewegen können. Im Gegensatz zu den „Luftteilchen“ sind die Elektronen aber negativ geladen und werden daher 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 [8] verwiesen). Ursächlich für die Ungleichverteilung der Elektronen im Leiter sind dabei die Pole der Batterie. Da am Minuspol ein Elektronenüberschuss herrscht, kommt es in dem mit ihm verbundenen Leiterabschnitt zu einer erhöhten Elektronendichte und damit zu einem erhöhten „elektrischen Druck“. Der positiv

geladene Pluspol hingegen „saugt“ ähnlich einem Staubsauger die negativen Elektronen aus dem mit ihm verbundenen Leiterabschnitt, weshalb es hier zu einer verringerten Elektronendichte und damit einem geringeren elektrischen Druck kommt. Durch Gleichsetzen des elektrischen Drucks mit dem elektrischen Potenzial kann so die Spannung als Druckunterschied interpretiert werden, der zu einer Elektronenströmung führt.

3. Visualisierungsformen

Aufgrund der Bedeutung der Visualisierung des Potenzials auf den Lernerfolg wurden vier verschiedene Darstellungsformen des elektrischen Drucks in Leitern entwickelt.

Eine naheliegende Visualisierung stellt die Punktedichtedarstellung dar, bei der die Elektronen im Leiter durch Punkte repräsentiert werden. Dabei gilt: Je höher die Dichte der Punkte bzw. Elektronen und je größer damit die gegenseitige Abstoßung ist, desto größer ist der elektrische Druck und damit das Potenzial.

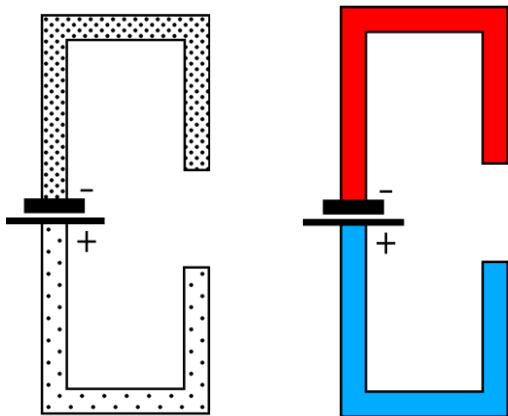


Abb. 1: Punktedichtedarstellung (links) und Farbdarstellung (rechts) des elektrischen Drucks.

Eine etwas simplifizierte Visualisierung stellt die Farbdarstellung dar, bei der auf eine Darstellung von Elektronen verzichtet und stattdessen direkt über die Farbe der Druck bzw. das Potenzial dargestellt wird. Dabei gilt, dass der Druck bzw. das Potenzial umso höher ist, je intensiver das Rot ist. Andersherum war ursprünglich die Farbe Grün zur Darstellung des Unterdrucks angedacht, aufgrund der dann aber sehr hohen optischen Ähnlichkeit zur Darstellung von magnetischen Nord- und Südpolen, erscheint Blau als Farbwahl hier geschickter, um möglichen Lernschwierigkeiten vorzubeugen.

Eine zur Farbdarstellung ähnliche Visualisierung ist die Graustufendarstellung, für die gilt: Je dunkler das Grau, desto größer der Druck bzw. das Potenzial. Etwas abstrakter hingegen ist die Visualisierung über Plus- bzw. Minuszeichen seitlich eines Leiters, wie sie z.B. im amerikanischen Lehrbuch Chabay & Sherwood [9, S.760ff] verwendet wird. Die Idee ist hier, einen Elektronenüberschuss durch Minuszeichen und einen Elektronenmangel durch Pluszeichen

neben den Leitern zu symbolisieren. Dabei ist die Anzahl der Plus- und Minuszeichen proportional zum Elektronenmangel bzw. Elektronenüberschuss und damit zum Druck bzw. Potenzial. Viele Minuszeichen stehen also für einen großen Elektronenüberschuss verglichen mit der Anzahl der positiv geladenen Atomrümpfe, damit für einen elektrischen Überdruck und damit für einen hohen Potenzialwert. Viele Pluszeichen stehen hingegen für einen großen Elektronenmangel und damit netto positiv geladenen Leiter, damit für einen elektrischen Unterdruck und damit für einen niedrigen Potenzialwert.

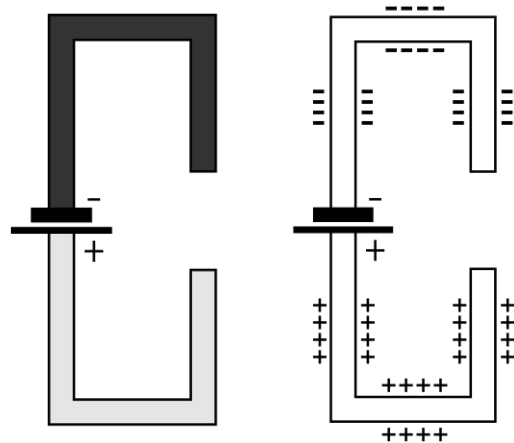


Abb. 2: Graustufendarstellung (links) und Plus-Minus-Zeichen-Darstellung (rechts) des elektrischen Drucks.

4. Die Akzeptanzbefragungen

In Teaching Experiments mit neun Schülern einer sechsten Gymnasialschulklasse wurde nun untersucht, inwiefern das Elektronengasmodell und seine Visualisierungen von Schülern akzeptiert und verstanden wurden. Die in Einzelgesprächen durchgeführten Teaching Experiments hatten dabei einen Umfang von ca. drei Schulstunden und wurden ausschließlich mit Schülern durchgeführt, die bisher noch keinen Elektrizitätslehreunterricht bekommen hatten. Mit Hilfe der Teaching Experiments sollten dabei insbesondere drei Fragestellungen geklärt werden:

- Welche Visualisierung des Potenzials empfinden die Schüler als am verständlichsten?
- Werden die Grundideen hinter dem Elektronengasmodell von den Schülern akzeptiert und verstanden?
- Mit welchen Lernschwierigkeiten ist in einem weitergehenden Unterrichtskonzept zu rechnen?

Zur Klärung der dritten Frage wurden die Schüler in kurzer Zeit mit verhältnismäßig anspruchsvollen Fragestellungen u.a. zu Reihen- und Parallelschaltungen sowie Lade- und Entladevorgängen von Kondensatoren konfrontiert. Ziel und Anspruch dieses Teils des Teaching Interviews bestand allerdings nicht darin, den Schülern die gesamte elementare Elektrizitätslehre in weniger als drei Schulstunden zu vermitteln, sondern vielmehr darin, Hinweise

darauf zu erhalten, wo mögliche Lernschwierigkeiten eines weitergehenden Unterrichtskonzeptes zu erwarten sind.

5. Die geeignete Visualisierungsform

Zur Evaluation der vier vorgestellten Visualisierungen wurden die Schüler u.a. aufgefordert, die verschiedenen Darstellungen nach ihrer Verständlichkeit zu ordnen und anschließend auch selber Potenziale in Stromkreisen einzuzeichnen. Dabei ergab sich ein klares Bild: Die Punktedichtedarstellung und die Farbdarstellung wurde von den Schülern als Visualisierung des elektrischen Drucks akzeptiert und intuitiv verstanden. Konkret empfanden sechs der neun Schüler die Punktedichtedarstellung als am verständlichsten und drei Schüler die Farbdarstellung, während die Graustufendarstellung sowie die Plus-Minus-Darstellung hingegen von keinem einzigen Schüler favorisiert wurden.

Interessant ist, dass die Schüler beim Lösen von Aufgaben mehrheitlich nicht auf die Punktedichtedarstellung zurückgriffen (nur drei Schüler), sondern auf die Farbdarstellung (sechs Schüler). Die Vermutung liegt nahe, dass hier praktische Erwägungen eine entscheidende Rolle gespielt haben, da sich das farbliche Einfärben eines Stromkreises mit Farbstiften als deutlich unkomplizierter erweist als das Einzeichnen unzähliger Punkte per Hand. Der hierzu nötige Wechsel zwischen den unterschiedlichen Modelldarstellungen bereitete den Schülern keinerlei Probleme.

6. Stärken des Modells

Die Ergebnisse der Akzeptanzbefragung zeigen, dass ein Unterrichtskonzept auf Basis des Elektronengasmodells von den Schülern akzeptiert und grundsätzlich verstanden wird. Besonders erfreulich ist, dass die Schüler mit den Grundkonzepten hinter dem Elektronengasmodell wie der Elektrostatik sowie der Atom- und Luftdruckvorstellung keine nennenswerten Schwierigkeiten zu haben scheinen. Die anfängliche Einführung in die Elektrostatik bereitet den Schülern also ebenso wenige Probleme wie die Vorstellung von freibeweglichen, sich gegenseitig abstoßenden Elektronen und ortsfesten Atomrümpfen in Metallen. Auch hat sich gezeigt, dass die Schüler aufgrund ihrer Alltagserfahrungen beispielsweise mit Fahrradreifen bereits ein intuitives Luftdruckverständnis im Sinne von „komprimierte Luft steht unter Druck, drückt gegen die Wände und hat das Bestreben sich auszudehnen“ mitbringen, was für das hier vorgeschlagene Unterrichtskonzept völlig ausreichend ist. Die in den Teaching Experiments genutzten Schülerexperimente mit (Luft-)Spritzen zur Festigung und Vertiefung dieser Vorstellung wurde von den Schülern als hilfreich empfunden.

Besonders positiv hervorzuheben ist, dass allen Schülern der anschließende Transfer dieses für das Unterrichtskonzept zentralen Luftdruckverständnis-

ses auf den nach dem Modell in elektrischen Stromkreisen herrschenden elektrischen Druck ohne Weiteres gelang. So entwickelten die meisten Schüler bereits nach verhältnismäßig kurzer Zeit ein grundlegendes, aber anschauliches Spannungskonzept und besaßen mit dem Verständnis der Spannung als Druckunterschied eine plausible Erklärung dafür, wie es überhaupt zu einem elektrischen Strom in Stromkreisen kommen kann. Im Gegensatz zu traditionellen Ansätzen wurde die Spannung also als Differenzgröße und Ursache des elektrischen Stroms wahrgenommen und nicht als Eigenschaft desselben.

Zusammenfassend lässt sich damit sagen, dass sich die grundlegenden Ansätze, Konzepte und Ideen hinter dem Elektronengasmodell als vielversprechend erwiesen haben und den Schülern in verhältnismäßig kurzer Zeit ein fundiertes Verständnis des Spannungsbegriffs vermittelt werden konnte. Vor dem Hintergrund, dass viele Schüler bei traditionellen Ansätzen auch nach der Sek I kein angemessenes Spannungskonzept besitzen, sondern vielmehr glauben, die Spannung sei die Stärke bzw. Kraft des Stromes [10], ist dies ein sehr positives und ermutigendes Ergebnis.

7. Aufgetretene Lernschwierigkeiten

In den Teaching Interviews traten natürlich auch eine Reihe bekannter und neuer Fehlvorstellungen und Lernschwierigkeiten auf, die einerseits wertvolle Erkenntnisse in Hinblick auf die Erarbeitung eines vollwertigen Unterrichtskonzepts lieferten, andererseits aber vor dem Hintergrund des mit drei Schulstunden knappen Zeitrahmens und der für die Schüler vielen neuen Inhalte ohne Übungs- und Vertiefungsphasen nicht überbewertet werden sollten.

Zu den aufgetretenen bekannten Lernschwierigkeiten zählt u.a. die sequentielle Argumentation [11], wonach Schüler nicht den Systemcharakter von Stromkreisen erkennen, sondern diesen ausgehend von einem Elektronenstrom mit dem Minuspol der Batterie als Quelle Schritt für Schritt analysieren. Entsprechend wurde z.B. bei Reihenschaltungen von einigen Schülern argumentiert, dass die Lämpchen nacheinander angehen müssten oder dass sich Widerstandsänderungen „hinten“ nicht auf die Stromstärke im „vorderen“ Teil des Stromkreises auswirken würden. Auch vertraten drei Schüler die bekannte und weit verbreitete Stromverbrauchsvorstellung [1], wonach Elektronen in Widerständen oder Lämpchen verbraucht oder an den Atomrümpfen hängenbleiben würden. Die in der physikdidaktischen Forschung bereits ebenfalls gut dokumentierte inverse Widerstandsvorstellung [1] trat auch bei einigen Schülern während der Akzeptanzbefragung auf und zeigte sich u.a. darin, dass diese glaubten, ein größerer Widerstand müsse zu einer größeren Stromstärke führen, da ein größerer Widerstand mehr Strom benötige.

Aus physikdidaktischer Perspektive interessanter sind hingegen die neuauftretenden, modellspezifi-

schen Lernschwierigkeiten, da diese Hinweise darauf geben, welche Punkte bei der Entwicklung eines neuen Unterrichtskonzepts auf Grundlage des Elektronengasmodells besonderer Aufmerksamkeit bedürfen. So führt die bereits bekannte Fehlvorstellung einer Batterie als Konstantstrom- statt Konstantspannungsquelle im Elektronengasmodell dazu, dass Schüler glauben, dass das Potenzial in einem Leiter von dessen Volumen abhängt. Konkret zeigte sich diese Fehlvorstellung, wenn neben ein bisheriges Lämpchen ein weiteres, gleichartiges Lämpchen parallel geschaltet werden soll. Argumentiert wurde hier seitens der Schüler, dass durch den Anschluss des zusätzlichen Leiterstücks den bisherigen Elektronen mehr Platz zur Verfügung stünde und sich dadurch der elektrische Druck bzw. das elektrische Potenzial im nun vergrößerten Leitervolumen absenken müsste.

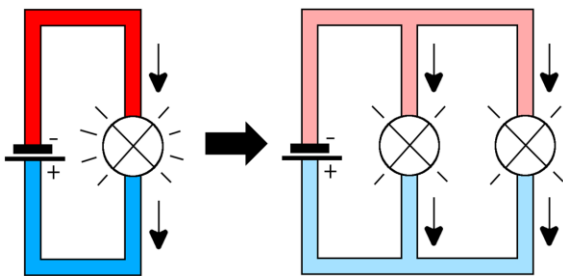


Abb. 3: Fehlvorstellung, wonach die elektrischen Druckunterschiede bei Vergrößerung des Leitervolumens absinken müssten

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 in der untenstehenden Abbildung 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. Begründet wird dies damit, dass der größere Widerstand zu einem größeren Elektronenrückstau im Leiterstück führe und damit auch der elektrische Druck bzw. das elektrische Potenzial ansteigen müsse.

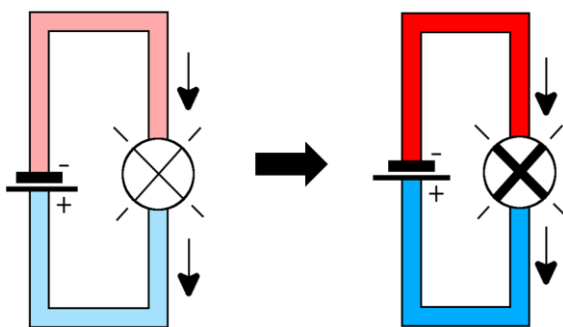


Abb. 4: Fehlvorstellung, wonach die elektrischen Druckunterschiede bei Vergrößerung des Widerstands ansteigen müssten

8. Folgerungen

Auch wenn die Punktedichtedarstellung von mehr Schülern favorisiert wurde als die Farbdarstellung, sind bei ihrer Verwendung im weiteren Unterrichtsverlauf einige bedeutende Schwierigkeiten zu erwarten. So eignet sich die Darstellung einerseits unter praktischen Gesichtspunkten kaum für den alleinigen Einsatz im Unterricht, da das Einzeichnen verschiedener Punktedichten für die Schüler mit einem unverhältnismäßig hohen Zeitaufwand verbunden ist. Andererseits führt die Verwendung der Punktedichtedarstellung aber auch zu Erklärungs- und Verständnisschwierigkeiten in Hinblick auf die Konstanz der Stromstärke vor und nach einem Widerstand, da durch die unterschiedlichen Elektronendichten in statischen Bildern die Stromverbrauchsvorstellung ggf. ungewollt unterstützt wird. Die Konstanz der Stromstärke vor und nach dem Widerstand trotz unterschiedlicher Elektronendichten ließe sich zwar mit unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten erklären, jedoch zeigte sich in den Teaching Interviews an verschiedenen Stellen, dass die Schüler Probleme haben, konzeptionell zwischen Stromstärke und Strömungsgeschwindigkeit zu unterscheiden.

Die hohe Akzeptanz der Punktedichtedarstellung in Kombination mit dem von den Schülern gezeigten problemlosen Wechsel der Visualisierungsform hin zur Farbdarstellung spricht dafür, beiden Darstellungen einen Platz im Unterrichtskonzept einzuräumen, so gleichzeitig ein Bewusstsein für den Modellcharakter der Darstellungen des elektrischen Drucks zu schaffen und damit auch die Modellkompetenz der Schüler zu fördern [12]. Während sich die Punktedichtedarstellung insbesondere zur Einführung in den elektrischen Druck an Hand von elektrostatischen Beispielen eignet, erscheint ein Übergang zur Farbdarstellung aus oben genannten Gründen spätestens dann sinnvoll, wenn fließende Elektronenströme im Unterricht betrachtet werden sollen.

9. Zusammenfassung und Ausblick

In den durchgeführten Teaching Experiments hat sich das Elektronengasmodell als vielversprechender Ansatz zur Einführung in die elementare Elektrizitätslehre erwiesen. Die dem Elektronengasmodell zugrundeliegenden Konzepte wie die Atom- und Luftdruckvorstellung werden verstanden und akzeptiert. Positiv ist insbesondere anzumerken, dass Schüler bereits ein für das Konzept ausreichendes intuitives Luftdruckverständnis mit in den Unterricht bringen und dieses erfolgreich auf den elektrischen Druck in Stromkreisen übertragen können. Folglich gelingt es den meisten Schülern ein unabhängiges Spannungskonzept zu entwickeln, nach dem die elektrische Spannung als Druckunterschied zu verstehen ist, die eine Elektronenströmung in Stromkreisen bewirkt. Dieses Ergebnis ist insbesondere vor dem Hintergrund, dass viele Schüler bei traditionellen Unterrichtsansätzen auch nach der Sek I kein

angemessenes Spannungskonzept besitzen, ermutigend.

Als nächstes ist geplant, auf Basis der Erkenntnisse der Teaching Experiments ein Unterrichtskonzept inklusive passender Unterrichtsmaterialien zu entwickeln und im realen Unterricht zu evaluieren. Hierzu soll u.a. mit Hilfe des von Urban-Woldron entwickelten E-Lehre-Tests [13] untersucht werden, inwiefern ein Unterrichtskonzept auf Basis des Elektronengasmodells zu einem besseren Verständnis der elementaren Elektrizitätslehre führt. Zusätzlich sollen Schüler und Lehrer zu ihren Erfahrungen mit dem neuen Modell befragt werden, um eine zukünftige Weiterentwicklung des Elektronengasmodells im Sinne von Design-Based-Research zu ermöglichen.

10. Literatur

- [1] 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.
- [2] Schumacher, M.; Wiesner, H. (1997). Erprobung des Potentialansatzes in der Elektrizitätslehre in Form einer Akzeptanzbefragungssequenz. In: *Vorträge Physikertagung, DPG Tagung 1996*, S.573-578
- [3] Gleixner, C. (1998). Einleuchtende Elektrizitätslehre mit Potenzial, Dissertation LMU München
- [4] Clement, J. J.; Steinberg, M. S. (2002). Step-Wise Evolution of Mental Models of Electric Circuits: A „Learning-Aloud“ Case Study. In: *The Journal of The Learning Sciences*, 11 (2002) 4, S.389-452
- [5] Herrmann, F.; Schmälzle, P. (1984). Das elektrische Potential im Unterricht der Sekundarstufe I. In: *MNU* 37 (1984) 8, S.476-482
- [6] Schwedes, H.; Dudeck, W.-G.; Seibel, C. (1995). *Elektrizitätslehre mit Wassermodellen, Praxis der Naturwissenschaften – Physik*, 44 (1995) 2, S.28-36
- [7] Wilhelm, T.; Tobias, V.; Waltner, C.; Hopf, M.; Wiesner, H. (2011). Design-Based Research am Beispiel der zweidimensional-dynamischen Mechanik. In: Bernholt, S. (Hrsg.): *Konzepte fachdidaktischer Strukturierung für den Unterricht, Jahrestagung der GDCP in Oldenburg 2011, Reihe: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Band 32, Lit-Verlag, Münster, 2012, S.31-47*
- [8] Burde, J.-P.; Wilhelm, T.; Wiesner, H. (2014). Das Elektronengasmodell in der Sekundarstufe I. In: *PhyDid-B - Didaktik der Physik – Frühjahrstagung Frankfurt 2014*, www.phydid.de
- [9] Chabay, R. W.; Sherwood, B. A. (2011). *Matter & Interactions*. Hoboken N.Y.: Wiley
- [10] Rhöneck, C. v.; Völker, B. (1984). Vorstellungen vom Stromkreis und ihr Einfluss auf den Lernprozess. *Der Physikunterricht* 18 (1984) 2, S.4–16.
- [11] 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.
- [12] Mikelskis-Seifert, S. & Kasper, L. (2011). Modellieren in der Physik, im Alltag und im Unterricht. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik – Themenheft „Modelle“* 22 (2011) 122, S.4-12.
- [13] 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*