

Einführung von Gleichstromkreisen mit elektrischem Feld

Ausgangslage bzw. theoretischer Hintergrund

Elektrische und magnetische Felder sind zentrale Konzepte der Elektrizitätslehre. Dementsprechend werden Phänomene in der Elektrostatik, bei der Induktion oder bei elektromagnetischen Wellen mit Feldern erklärt und analysiert. Eine Ausnahme bilden hier meist Gleichstromkreise. Dieses Themengebiet wird im traditionellen Physikunterricht der Sekundarstufe II ohne das Feldkonzept eingeführt. Die Stromkreise werden meist nur quasistatisch betrachtet und Übergangsprozesse ausgeblendet. Es ist daher nicht überraschend, dass viele Schülerinnen und Schüler inadäquate Vorstellungen über die Bedeutung elektrischer Felder bei Gleichstromkreisen haben und falsche Kausalbeziehungen herstellen. Sie sind beispielsweise der Meinung, dass der konstante elektrische Strom das elektrische Feld hervorrufen würde (Aschauer, 2017; Rainson et al., 1994).

Unterrichtsvorschläge (Härtel, 2012; Müller, 2012; Chabay & Sherwood, 2006), in denen die Bedeutung des elektrischen Feldes für den Elektronenfluss im Gleichstromkreis, der Aufbau des elektrischen Feldes im Draht, Einschaltvorgänge und Übergangsprozesse thematisiert werden, finden sich nur vereinzelt in Lehrwerken wieder. Eine der wenigen Ausnahmen ist hier das Lehrbuch „Matter & Interactions“ (Chabay & Sherwood, 2011), welches für die Einführungskurse an amerikanischen Colleges konzipiert wurde.

Ziele des Forschungsprojekts

Die Ziele des hier beschriebenen Forschungsprojekts sind die Adaptierung des Konzepts von Chabay & Sherwood (2011) an die Gegebenheiten der Sekundarstufe II und die anschließende Evaluierung des Unterrichtskonzepts.

Unterrichtskonzept

Das entwickelte Unterrichtskonzept gliedert sich in folgende Abschnitte:

Einstieg und Motivation

Motiviert wird der Einstieg in die Thematik durch Fragen nach der Ursache des Elektronenflusses in einem Gleichstromkreis bzw. nach den Vorgängen bei Einschaltprozessen. Aufbauend auf die Vorkenntnisse werden gemeinsam mit den Lernenden folgende Inhalte erarbeitet:

- Konstante Stromstärke geht mit einer konstanten mittleren Driftgeschwindigkeit einher.
- Da die Elektronen ständig durch Stöße abgebremst werden, muss eine Kraft sie immer wieder beschleunigen.
- Diese Kraft wird durch ein elektrisches Feld hervorgerufen ($F = q \cdot E$), das dem Drahtverlauf folgt. Die Elektronen werden durch die Kraft entgegengesetzt zur Feldrichtung beschleunigt.

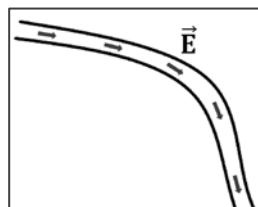


Abb. 1: In einem geschlossenen Stromkreis folgt das elektrische Feld dem Drahtverlauf.

- Aus dem Wechselspiel zwischen Beschleunigung durch das Feld und Abbremsung durch Stöße ergibt sich eine mittlere Driftgeschwindigkeit. Die Stromdichte j ist proportional zur Feldstärke und zur Driftgeschwindigkeit.

Es stellt sich daher die Frage, wodurch das elektrische Feld hervorgerufen wird.

Schließen des Stromkreises

In dieser Sequenz wird nun die vorausgegangene Frage beantwortet, indem auf die Oberflächenladungen fokussiert wird. Den Ausgangspunkt liefert hierbei die Ladungsverteilung eines nicht geschlossenen Stromkreises.

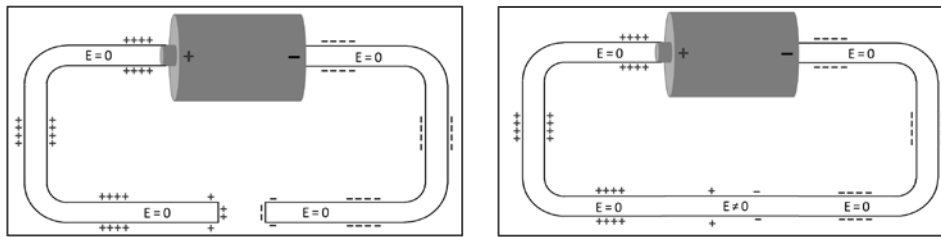


Abb. 2: Verteilung der Oberflächenladungen bei einem nicht geschlossenen Stromkreis und kurz nach dem Schließen des Stromkreises.

Wird der Stromkreis geschlossen, kommt es zu einer Umverteilung der Oberflächenladungen, die von der Stelle des Schalters ausgeht (siehe Abb. 2). Am Ende dieses Vorgangs sind die Oberflächenladungen so verteilt, dass das elektrische Feld an jedem Ort dem Drahtverlauf folgt. Die Verteilung der Oberflächenladungen wird dabei stark vereinfacht und schematisch dargestellt (siehe Abb. 3).

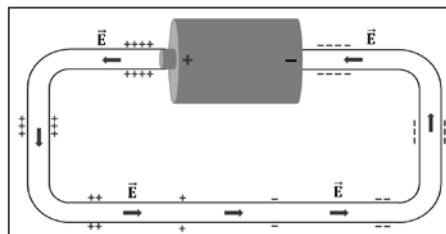


Abb. 3: Schematische und vereinfachte Darstellung der Verteilung der Oberflächenladungen bei einem geschlossenen Stromkreis.

Feedback-Mechanismus

In dieser Sequenz wird die Selbstregulation der Oberflächenladungen und des elektrischen Feldes durch einen Feedback-Mechanismus exemplarisch an einem Drahtstück mit einer Biegung erklärt. Durch den Rückkoppelungsmechanismus ordnen sich die Elektronen so an, dass das resultierende Feld dem Drahtverlauf folgt.

Zusätzlicher Widerstand

Aus der Analyse der Stromstärke, der Stromdichte und der Driftgeschwindigkeit folgt, dass in einem zusätzlichen Widerstand das elektrische Feld höher ist, als im Rest des Stromkreises (siehe Abb. 4). Als Widerstandsmodell wird sowohl ein Drahtabschnitt mit kleinerer Querschnittsfläche betrachtet, als auch ein Drahtabschnitt mit geringerer Leitfähigkeit. In beiden Fällen kommt es zur Umverteilung der Ladungen durch einen

Feedback-Mechanismus, sodass die elektrische Feldstärke im Widerstand zunimmt und im Kabel abnimmt, bis sich eine gleichgroße Stromstärke einstellt. Dieser Mechanismus wird rein qualitativ diskutiert, ohne eine Abbildung der konkreten Ladungsverteilung.

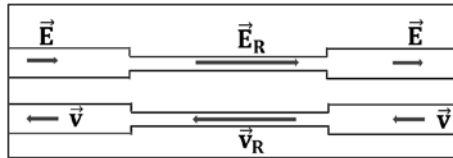


Abb.4: Elektrisches Feld und Driftgeschwindigkeit bei zusätzlichem Widerstand.

Die Erklärungen in den einzelnen Abschnitten erfolgten mündlich und wurden durch eine PowerPoint Präsentation sowie Tafelbilder unterstützt.

Methodik

Die Evaluation erfolgte im Laborsetting mit je einer Schülerin und einem Schüler der 10. Schulstufe in Form von Akzeptanzbefragungen (Jung, 1992), die nach jedem Abschnitt durchgeführt wurden.

Ablauf der Akzeptanzbefragung (Wiesner & Wodzinski 1996):

- Erklärung
- Beurteilung der Erklärung
- Wiedergabe der Erklärung
- Anwendung auf konkrete Fragestellung

Die Akzeptanzbefragungen wurden videografiert und anschließend transkribiert. Insgesamt wurde das Unterrichtskonzept achtmal evaluiert.

Ergebnisse und Diskussion

Die vorläufigen Ergebnisse zeigen, dass der konzipierte Unterricht unter den gegebenen Bedingungen die Entwicklung von physikalisch angemessenen Vorstellungen unterstützt. Die Verteilung der Oberflächenladungen und somit der Verlauf des elektrischen Feldes im Draht wird durch die Geometrie und die Eigenschaften des gesamten Stromkreises beeinflusst. Dadurch können effektiv sequentielle und lokale Vorstellungen überwunden werden.

Spezielle Stolpersteine konnten nicht identifiziert werden. Die Erklärungen wurden einstimmig als verständlich und nachvollziehbar eingestuft. Auch bei den individuellen Wiedergaben der Probanden konnten keine Verständnisprobleme oder hinderliche Vorstellungen diagnostiziert werden. Alle Fragestellungen konnten von Probanden korrekt gelöst bzw. beantwortet werden.

In Voruntersuchungen zeigte sich, dass eine fundierte Kenntnis der Grundlagen (Feldkonzept, Beweglichkeit von Ladungen in Leitern, Coulombkraft) eine wesentliche Voraussetzung ist. Vor der Evaluation wurden daher die entsprechenden Inhalte wiederholt. Im nächsten Schritt soll das Unterrichtskonzept ausgebaut werden, indem die Einführung des Potentials und der elektrischen Spannung integriert werden. Anschließend ist eine Evaluierung der Praxistauglichkeit in einer Feldstudie geplant.

Literatur

- Aschauer, W. (2017): Elektrische und magnetische Felder – Eine empirische Studie zu Lernprozessen in der Sekundarstufe II. In: Niedderer, H.; Fischler, H.; Sumfleth, E. (Hrsg): Studien zum Physik- und Chemielernen, Band 214
- Chabay, R.; Sherwood, B. (2006): Reconstructing the introductory electricity and magnetism course. In: American Journal of Physics 74 (4), S. 329 – 336
- Chabay, R.; Sherwood, B. (2011): Matter & Interactions (3rd ed.). USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Härtel, H. (2012): Spannung und Oberflächenladungen. In: PdN Physik in der Schule 61 (5), S. 25 – 31
- Jung, W. (1992): Probing Acceptance, A Technique for Investigating Learning Difficulties, In: Duit, R.; Niedderer, H. (eds.): Research in Physics Learning – Theoretical Issues and Empirical Studies, Proceedings of an International Workshop in Bremen, S. 278 – 295. Kiel: IPN
- Müller, R. (2012): Was ist Spannung. In: PdN Physik in der Schule 61 (5), S. 5 – 16
- Rainson, S.; Tranströmer, G.; Viennot, L. (1994): Students' understanding of superposition of electric fields. In: American Journal of Physics 62 (11), S. 1026 – 1032
- Wiesner, H.; Wodzinski, R. (1996): Akzeptanzbefragung als Methode zur Untersuchung von Lernschwierigkeiten und Lernverläufen. In: Duit, R.; Rhöneck, C.: Lernen in den Naturwissenschaften. S. 250 – 274. Kiel: IPN