

## **Energieübertragung in elektrischen Systemen mithilfe von elektromagnetischen Feldern erklären**

### **Forschungshintergrund**

Aus der fachdidaktischen Forschung ist bekannt, dass viele Schüler\*innen selbst nach dem Elektrizitätslehreunterricht an beständigen Lernendenvorstellungen zu diesem Thema festhalten. Darunter finden sich auch unvollständige oder fachlich unzureichende Vorstellungen zur Energieübertragung in elektrischen Systemen (Engelhardt & Beichner, 2004; Schecker, Wilhelm, Hopf & Duit, 2018; Sefton, 2002; Trumper & Gorsky, 1993). McDermott und van Zee (1985) stellten beispielsweise fest, dass die Begriffe Energie, Strom, Leistung, Potential und Spannung häufig synonym von Schüler\*innen verwendet werden. Diese Verwechslung kann zu grundlegenden Problemen beim Verständnis und der Unterscheidung der jeweiligen Konzepte führen. Auch Backhaus (1987) beschrieb Lernendenvorstellungen in diesem Zusammenhang: Einige Schüler\*innen sind der Auffassung, dass Energie in den Leiterkabeln strömt, oder dass Elektronen mit Energie ‚beladen‘ sind und diese am Widerstand ‚abgeben‘. Eng damit verknüpft ist die sogenannte ‚Verbrauchervorstellung‘, bei der Strom oder Energie scheinbar am Widerstand ‚aufgebraucht‘ wird.

Obwohl es schon einige Unterrichtskonzepte zur Elektrizitätslehre gibt, die das Thema Energie aufgreifen (Aschauer, 2017; Muckenfuß & Walz, 1997; Rückl, 1991), spielt die Energieübertragung meist nur eine geringe oder keine Rolle. In der fachdidaktischen Literatur finden sich zwar Vorschläge, wie das Thema Energieübertragung mithilfe von elektromagnetischen Feldern erklärt werden kann, es fehlen jedoch konkrete Angaben zur Umsetzung für den Unterricht (Backhaus, 1987; Sefton, 2002). Darüber hinaus gibt es amerikanisches Lehrbuch zur Physik, das sich in mehreren Kapiteln mit elektrischen Feldern in Stromkreisen befasst, die auf die Anwesenheit von Oberflächenladungen zurückgeführt werden (Chabay & Sherwood, 2007). Dieses wurde jedoch im Rahmen eines calculus-based introductory Physics course für die universitäre Ausbildung konzipiert und lässt sich daher nicht direkt für die Sekundarstufe anwenden. Der Ansatz, Oberflächenladungen zur Erklärung von Feldern heranzuziehen, findet sich auch in einigen Beiträgen in der deutschsprachigen Literatur, wobei es große Unterschiede hinsichtlich der Bedeutungszumessung dieser Oberflächenladungen gibt (Härtel, 2012; Müller, 2012).

Daraus ergibt sich eine Forschungslücke, wonach ein Unterrichtsansatz zur Energieübertragung in elektrischen Systemen für die Sekundarstufe II im deutschsprachigen Raum fehlt, um den oben beschriebenen Lernendenvorstellungen in geeigneter Weise begegnen zu können.

### **Forschungsziele und -design**

Ziel dieses Projekts ist es, einen neuen Unterrichtsansatz für die Sekundarstufe II zu entwickeln, der Schüler\*innen der 10. und 11. Schulstufe die Energieübertragung in elektrischen Systemen verständlich machen soll. Insbesondere soll ein Erklärungsansatz mit elektromagnetischen Feldern untersucht werden und ein besonderer Fokus auf die Kontextualisierung gelegt werden, um die Lebenswelt der Schüler\*innen miteinzubeziehen.

### *Forschungsfragen*

Daraus leiten sich die folgenden Forschungsfragen ab:

F1: Wie sieht ein Unterrichtsansatz zur Energieübertragung in elektrischen Systemen mithilfe von elektromagnetischen Feldern aus, der Schüler\*innen der Sek. II bei der Entwicklung fachlich adäquater Vorstellungen unterstützt?

F2: Inwiefern unterscheiden sich die Vorstellungen von Schüler\*innen, die mit dem neuen Unterrichtsansatz unterrichtet wurden von den in der Literatur beschriebenen?

### *Methoden*

Die Entwicklung des neuen Unterrichtskonzepts zur Energieübertragung mithilfe von EM Feldern erfolgt nach dem Design-Based-Research-Modell (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2020). Im ersten Schritt wurden dazu anhand einer Literaturrecherche elementare Grundideen, sogenannte ‚Key Ideas‘, nach dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion (Kattmann, Duit, Gropengiesser & Komorek, 1997) formuliert.

Diese wurden in einem nächsten Schritt dazu verwendet, einen Interviewleitfaden zu erstellen, der für Akzeptanzbefragungen herangezogen wird. Die Methode der Akzeptanzbefragung geht auf Jung (1992) zurück und wurde von Wiesner und Wodzinski (1996) weiterentwickelt. Bei einer Akzeptanzbefragung handelt es sich um ein Interview, das dem Ablauf eines Vier-Schrittes folgt. i) Zunächst erhält die oder der Interviewpartner\*in eine Erklärung. Diese kann sich auf eine Key Idea beziehen oder einen Versuch beinhalten. Beispielsweise wurden den Interviewpartner\*innen in der ersten Runde von Akzeptanzbefragungen ein einfacher Stromkreis, bestehend aus zwei Kabeln, einer Batterie und einem Ventilator, gezeigt. In den Stromkreis wurde eine Strommesszange gehalten, die einen positiven Wert anzeigt, sofern der Stromkreis geschlossen ist und ein Strom fließt. Dies wird mit der Anwesenheit eines Magnetfeldes um den Leiter begründet, das sich bei einem elektrischen Stromfluss um den Leiter ausbildet. ii) Anschließend wird nach der Akzeptanz des Erklärungsmodells gefragt („War das für dich verständlich?“). iii) Dann wird die oder der Interviewpartner\*in gebeten, die Erklärung selbst zu wiederholen. Dabei wird darauf geachtet, welche Begriffe verwendet werden. iv) Zuletzt werden eine oder mehrere Aufgaben gestellt, die sich auf den Erklärungsansatz beziehen, um das tiefere Verständnis zu hinterfragen. Der Vier-Schritt wird pro Key Idea bzw. Versuch wiederholt, sodass das gesamte Interview einer ähnlichen Struktur folgt.

Bisher wurde die erste Runde von Akzeptanzbefragungen mit 7 Schüler\*innen der 11. Schulstufe durchgeführt. Die Ergebnisse der Akzeptanzbefragungen werden transkribiert und mithilfe einer qualitativen Inhaltsanalyse (Kuckartz, 2016) ausgewertet. Dabei wird ein ‚Ampelsystem‘ verwendet, um anzuzeigen, wenn eine Aussage als fachlich korrekt (grün), beinahe korrekt (gelb) oder inkorrekt (rot) kodiert wird. Aus der Auswertung der Interviewdaten kann darauf geschlossen werden, welche Stellen der Akzeptanzbefragung für die Interviewpartner\*innen problematisch sind und ob es sich um Einzelfälle handelt. Anhand dieser Informationen kann der Interviewleitfaden für die nächste Interviewrunde überarbeitet werden, indem Aufgaben oder Key Ideas adaptiert werden. Dieser zyklische Prozess des Designs und Re-Designs wiederholt sich mehrmals, wobei in jeder Runde neue Schlüsse über die Akzeptanz des Erklärungsmodells gezogen werden können.

### *Interviewleitfaden*

Der Interviewleitfaden für die erste Runde von Akzeptanzbefragungen besteht aus 11 Key Ideas, wobei diese in drei Gruppen (K1, K2 und K3) unterteilt sind (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Übersicht der Key Ideas (Hauptkategorien)

<b>K1</b>	Elektrische Systeme (elektrische Gleich- und Wechselstromkreise) können Energie übertragen.
<b>K2</b>	Um (geschlossene) elektrische Systeme gibt es magnetische und elektrische Felder, die sich experimentell nachweisen lassen.
<b>K3</b>	In einem elektrischen System wird Energie durch ein elektromagnetisches Feld von der Energiequelle zum Energieumwandler übertragen.

In der ersten Gruppe wird ein Alltagsbezug hergestellt, indem verschiedene kabelgebundene Systeme (z. B. Lampe, Föhn) und kabellose Systeme (z. B. kabellose Ladestation für ein Smartphone, elektrische Zahnbürste) besprochen werden. Für die zweite Gruppe werden zwei Versuche mit den Schüler\*innen durchgeführt. Die Schüler\*innen erfahren, dass es ein elektrisches Feld aufgrund der Oberflächenladungen gibt, das zum Stromfluss im Inneren des Leiters beiträgt. Der Stromfluss erzeugt wiederum ein Magnetfeld um den Leiter. Für die 3. Gruppe kann der Energiefluss näherungsweise mithilfe der Linken-Hand-Regel hergeleitet werden (siehe Abbildung 1). Es wird deutlich: In einem elektrischen System wird Energie durch ein EM Feld von der Energiequelle zum Energieumwandler übertragen.

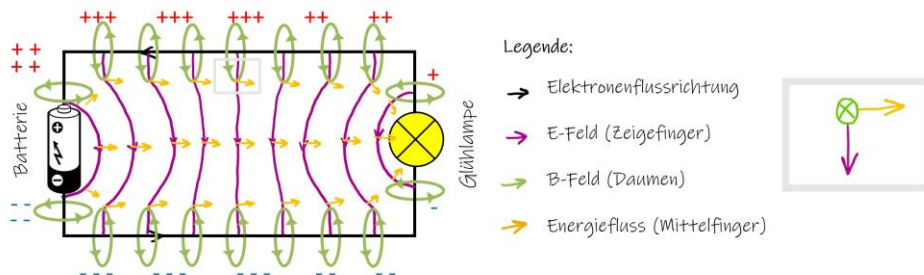


Abbildung 1: Darstellung der Energieübertragung mit elektromagnetischen Feldern mithilfe von Feldlinien gemäß Poynting (Sefton, 2002).

#### Aktueller Forschungsstand und Ausblick

Eine erste Auswertung der Daten zeigt, dass das Konzept insgesamt gut von den Schüler\*innen aufgenommen wird. Die problematischen Passagen aus den Interviewergebnissen geben Aufschluss darauf, welche Überarbeitungen für die nächste Interviewrunde notwendig sind. So bedarf es beispielsweise noch einer Hilfestellung für die Unterscheidung des magnetischen und elektrischen Feldes. Zudem sollte das elektrische Feld in offenen Stromkreisen genauer mit den Schüler\*innen besprochen werden. Zuletzt könnten alternative (3D) Darstellungsformen eine Möglichkeit bieten, das Konzept noch verständlicher zu machen.

### Literaturverzeichnis

- Aschauer, W. (2017). Elektrische und magnetische Felder. Dissertation. Logos Verlag Berlin GmbH.
- Backhaus, U. (1987). Der Energietransport durch elektrische Ströme und elektromagnetische Felder. *Praxis der Naturwissenschaften Physik*, 36(3), 30. Verfügbar unter: <http://www.didaktik.physik.uni-due.de/~backhaus/publicat/Energietransport.pdf>
- Chabay, R. W. & Sherwood, B. A. (2007). *Matter & interactions* (3rd ed.). Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- Engelhardt, P. V. & Beichner, R. J. (2004). Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. *American Journal of Physics*, 72(1), 98–115. <https://doi.org/10.1119/1.1614813>
- Haagen-Schützenhöfer, C. & Hopf, M. (2020). Design-based research as a model for systematic curriculum development: The example of a curriculum for introductory optics. *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.*, 16(2), 20152. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.020152>
- Härtel, H. (2012). Voltage and Surface Charges What Wilhelm Weber already knew 150 years ago. *PdN-PhyS*, Vol61, 17–24.
- Jung, W. (1992). Probing acceptance: A technique for investigating learning difficulties. In R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (Hrsg.), *Research in physics learning: theoretical issues and empirical studies. Proceedings of an international workshop held at the University of Bremen, March 4 - 8, 1991* (IPN, Bd. 131, S. 278–295). Kiel.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengiesser, H. & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung, 3, 3–18.
- Kuckartz, U. (2016). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (Grundlagentexte Methoden, 3. Aufl.). Weinheim, Basel: Beltz Juventa.
- McDermott, L. C. & Van Zee, E. H. (1985). Identifying and Addressing Student Difficulties with Electric Circuits. In R. Duit, C. v. Rhöneck & W. Jung (Hrsg.), *Aspects of understanding electricity. Proceedings of an international workshop* (IPN-Arbeitsberichte, Bd. 59, S. 39–48). Kiel: Schmidt und Klaunig.
- Muckenfuß, H. & Walz, A. (Hrsg.). (1997). *Neue Wege im Elektrizitätsunterricht. Vom Tun über die Vorstellung zum Begriff* (Unterrichtshilfen Naturwissenschaften, 2., überarb. Aufl.). Köln: Aulis-Verl. Deubner.
- Müller, R. (2012). A semiquantitative treatment of surface charges in DC circuits. *American Journal of Physics*, 80(9), 782–788. <https://doi.org/10.1119/1.4731722>
- Rückl, E. (1991). Feldenergie. Ein neues didaktisches Konzept. Teilw. zugl.: Hannover, Univ., Habil.-Schr., 1989 u.d.T.: Rückl, Eckhard: *Zur Feldenergie im Physikunterricht*. Mannheim: BI-Wiss.-Verl.
- Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M. & Duit, R. (Hrsg.). (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2>
- Sefton, I. M. (2002). *Understanding Electricity and Circuits: What the Text Books Don't Tell You*. Proceedings of the 9th Science Teachers Workshop, Sydney.
- Trumper, R. & Gorsky, P. (1993). Learning about energy: The influence of alternative frameworks, cognitive levels, and closed-mindedness. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(7), 637–648. <https://doi.org/10.1002/tea.3660300704>
- Wiesner, H. & Wodzinski, R. (1996). Akzeptanzbefragungen als Methode zur Untersuchung von Lernschwierigkeiten und Lernverläufen. In R. Duit (Hrsg.), *Lernen in den Naturwissenschaften* (Bd. 151, S. 250–274). Kiel: IPN.