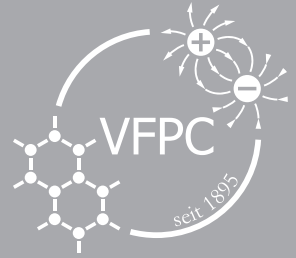


plusLucis

Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts



Einfache Stromkreise

Impressum

PLUS LUCIS, Mitteilungsblatt des Vereins zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts und des Fachausschusses Physik & Schule der Österreichischen Physikalischen Gesellschaft (VZR: 668472729)
Erscheint vierteljährlich

Medieninhaber:

Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts
Adr.: AECC Physik Universität Wien, Porzellangasse 4, Stiege 2, 1090 Wien
Web: <https://www.pluslucis.org>
Mail: schriftenleitung@pluslucis.org

Redaktion:

Mag. Dr. Thomas Plotz (Leitung)
Mag. Sarah Zloklikovits

Verantwortlicher Herausgeber dieser Ausgabe:

Jun.-Prof. Dr. Jan-Philipp Burde
Eberhard Karls Universität Tübingen,
AG Didaktik der Physik
E-Mail: jan-philipp.burde@uni-tuebingen.de
Univ. Prof. Dr. Thomas Wilhelm Goethe-Universität Frankfurt, Institut für Didaktik der Physik
E-Mail: wilhelm@physik.uni-frankfurt.de

HerausgeberInnenteam:

Univ.-Prof. Dr. Claudia Haagen-Schützenhöfer
Universität Graz, Physikdidaktik
E-Mail: claudia.haagen@uni-graz.at
Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf
Universität Wien, Physikdidaktik
E-Mail: martin.hopf@univie.ac.at
Univ.-Prof. Dr. Anja Lembens
Universität Wien, Chemiedidaktik
E-Mail: anja.lembens@univie.ac.at
Univ.-Prof. Dr. Thomas Wilhelm
Universität Frankfurt, Physikdidaktik
E-Mail: wilhelm@physik.uni-frankfurt.de

Bezugshinweise:

Das Abonnement der Zeitschrift ist für Vereinsmitglieder im Mitgliedsbeitrag inkludiert.
Ein institutionelles Abonnement (z. B. für Bibliotheken) ist zum Bezugspreis von 40 Euro im Jahr möglich.

Offenlegung nach § 25 des Mediengesetzes Grundlegende Richtung: Fortbildung und fachliche Information für Physik- und ChemielehrerInnen, organisatorische Mitteilungen, Vereinsinterna.

Für die Inhalte der Artikel sind ausschließlich die namentlich genannten AutorInnen verantwortlich.

Titelbild (Umschlag):

Stockphoto

Inhalt

Die Unterschiedlichkeit des Elektrizitätslehreunterrichts in der Sekundarstufe I.....	4
<i>Thomas Schubatzky, Claudia Haagen-Schützenhöfer, Jan-Philipp Burde, Liza Dopatka, Martin Hopf, Lana Ivanjek, Verena Spatz und Thomas Wilhelm</i>	
Stromkreise besser verstehen mit Potenzial und Bikepark-Analogie.....	8
<i>Rainer Müller und Jan Mandler</i>	
Die Fahrradkette als durchgängige Vorstellungshilfe im Elektrizitätslehreunterricht der Sekundarstufe I.....	14
<i>Michael Kahnt</i>	
Mehr Spannung beim Thema Stromkreise!	22
<i>Jan-Philipp Burde, Thomas Wilhelm, Thomas Sean Weatherby, Thomas Schubatzky, Claudia Haagen-Schützenhöfer, Martin Hopf, Lana Ivanjek, Liza Dopatka und Verena Spatz</i>	
Flipped Classroom in der E-Lehre – mehr Zeit für meinen Unterricht.....	27
<i>Wolfgang Lutz, Sebastian Haase, Jan-Philipp Burde, Thomas Wilhelm und Thomas Trefzger</i>	
Interessante Fragestellungen aus vielfältigen Kontexten zur Elektrizitätslehre.....	33
<i>Liza Dopatka, Verena Spatz, Jan-Philipp Burde, Thomas Wilhelm, Thomas Schubatzky, Claudia Haagen-Schützenhöfer, Martin Hopf und Lana Ivanjek</i>	
Eine forschungsgeleitete Einführung in die Elektrizitätslehre mit Kontexten.....	38
<i>Benedikt Gottschlich, Jan-Philipp Burde, Thomas Wilhelm, Liza Dopatka, Verena Spatz, Martin Hopf, Lana Ivanjek, Thomas Schubatzky und Claudia Haagen-Schützenhöfer</i>	

Editorial

Liebe Leser*innen,

auch wenn elektrische Stromkreise im Alltag meist nicht direkt sichtbar sind, sind sie doch allgegenwärtig und von großer Bedeutung für unser Leben. Deutlich wird dies daran, dass elektrische Stromkreise sowohl für die von uns täglich genutzten Produkte der Informationstechnologie grundlegend sind als auch für aktuelle gesellschaftliche Herausforderungen wie der Energiewende oder der Elektromobilität. Vor diesem Hintergrund ist es aus didaktischer Perspektive sehr ernüchternd, dass es vielen Schüler*innen in der Sekundarstufe I nicht gelingt, auch nur ein grundlegendes Verständnis für die Physik elektrischer Stromkreise zu entwickeln. So denken trotz des engagierten Einsatzes ihrer Lehrkräfte viele Schüler*innen auch noch nach dem Unterricht, dass der Strom aus der Steckdose bzw. Batterie kommt, ähnlich einem Brennstoff wie Öl zum Elektrogerät fließt und dort zumindest teilweise verbraucht wird. Neben Alltagserfahrungen werden solche Vorstellungen auch auf die Alltagssprache zurückgeführt, wonach in Kraftwerken Strom „produziert“ wird, Elektrogeräte im Haushalt „Verbraucher“ darstellen und Batterien irgendwann „leer“ sind. An diesen Ausführungen wird ferner deutlich, dass das Denken der Schüler*innen in der Regel von einem „übermächtigen Strombegriff“ mit energetischer Konnotation geprägt ist, der nicht durch einen unabhängigen Spannungsbegriff ergänzt wird. In der Folge wird die Spannung dann als Eigenschaft des Stroms betrachtet, statt zu erkennen, dass die Spannung eine Differenzgröße darstellt und Voraussetzung dafür ist, dass es überhaupt zu einem elektrischen Strom durch ein Elektrogerät kommt. Die Ursachen für die geschilderten Verständnisschwierigkeiten sind vielschichtig und reichen von ungeschickten Elementarisierungen und Modellen bis hin zur Tatsache, dass elektrische Stromkreise oftmals nur unter technischen Aspekten betrachtet werden, was jedoch insbesondere den Interessen von Mädchen nicht gerecht wird.

Der „einfache“ Stromkreis hat sich also als alles andere als einfach erwiesen und ihm schlägt zudem oftmals eher geringes Interesse entgegen. Vor diesem Hintergrund freuen wir uns sehr, Ihnen mit diesem Heft eine ganze Reihe an didaktischen Anregungen geben zu können, den Unterricht zum wichtigen Thema „elektrische Stromkreise“ verständlicher und interessanter zu gestalten.

Thomas Schubatzky und Kolleg*innen führen zunächst eine Bestandsaufnahme durch, indem sie die Vielseitigkeit des „traditionellen“ Elektrizitätslehreunterrichts in Hinblick auf die verfolgten Ziele, Analogiemodelle und inhaltlichen Abfolgemuster beschreiben. Rainer Müller und Jan Mandler stellen mit der Bikepark-Analogie ein Potenzialmodell des elektrischen Stromkreises vor, das an die Erfahrungen der Schüler*innen



Jan-Philipp Burde



Thomas Wilhelm

beim Radfahren bzw. Mountainbiking anknüpft, um ihnen die Zusammenhänge im elektrischen Stromkreis verständlicher zu machen. Erfahrungen mit Fahrrädern sind auch entscheidend im Artikel von Michael Kahnt, der aufzeigt, wie die Fahrradkette als Vorstellungshilfe im Elektrizitätslehreunterricht genutzt werden kann, um Schüler*innen ein Verständnis von Stromstärke, Widerstand und Spannung in einfachen Stromkreisen zu vermitteln. Jan-Philipp Burde und Kolleg*innen bauen in ihrem Unterrichtskonzept auf Basis des Elektronengasmodells gezielt auf den alltäglichen Erfahrungen der Kinder mit Luftdruck auf, um ihnen ein Verständnis der wechselseitigen Beziehung von Spannung, Stromstärke und Widerstand in elektrischen Stromkreisen zu erleichtern. Basierend auf diesem Unterrichtskonzept erläutern Wolfgang Lutz und Kollegen die Vorteile des „Flipped Classroom“, der mehr Zeit im Präsenzunterricht für Experimente und Vertiefungsaufgaben verspricht. Hierfür wurden nicht nur online verfügbare Lernvideos zu jeder Einheit des Unterrichtskonzepts erstellt, sondern auch dazu passende interaktive Quizze zur Verständniskontrolle sowie kleine Heimexperimente, die per interaktivem Bildschirmexperiment leicht zu Hause durchgeführt werden können.

Vor dem Hintergrund, dass das Thema Stromkreise oftmals anhand von technischen Beispielen unterrichtet wird, stellen Liza Dopatka und Kolleg*innen empirische Erkenntnisse einer Studie zu den konkreten Interessen von Jugendlichen in der Elektrizitätslehre vor, wonach diese insbesondere an medizinischen, naturbezogenen und gesellschaftsrelevanten Kontexten wie z. B. medizinische Anwendungen der Elektrizität, elektrische Fische oder Blitze interessiert sind. Benedikt Gottschlich und Kolleg*innen stellen ein kontextstrukturiertes Unterrichtskonzept vor, das anknüpfend an die Ergebnisse des vorherigen Artikels gezielt versucht, das Interesse von Mädchen und Jungen an elektrischen Stromkreisen gleichermaßen zu fördern, indem das Thema u. a. anhand der von Liza Dopatka und Kolleg*innen identifizierten interessanten Kontexte erarbeitet wird.

Wir hoffen, dass manche Anregung in diesem Heft die „einfachen“ Stromkreise für Ihre Schüler*innen einfacher und interessanter macht.

Jan-Philipp Burde und Thomas Wilhelm

Die Unterschiedlichkeit des Elektrizitätslehreunterrichts in der Sekundarstufe I

Thomas Schubatzky, Claudia Haagen-Schützenhöfer, Jan-Philipp Burde, Liza Dopatka, Martin Hopf, Lana Ivanjek, Verena Spatz und Thomas Wilhelm

Die Elektrizitätslehre ist seit vielen Jahrzehnten fester Teil des Physikunterrichts – nicht nur im deutschsprachigen Raum, sondern überall auf der Welt. Man könnte daher vermuten, dass der Elektrizitätslehreunterricht in der Sekundarstufe I zumindest im deutschsprachigen Raum durchaus ähnlich aufgebaut ist. Doch welche Zugänge gibt es zu den zentralen Größen in der Elektrizitätslehre, in welcher Reihenfolge werden diese typischerweise behandelt und welche Analogiemodelle werden (wie) im Unterricht eingesetzt? Diese Fragestellungen sollen in diesem Beitrag ein Stück weit beantwortet werden.

1. Ziele in der Elektrizitätslehre

Zuerst soll der Frage nachgegangen werden, ob Lehrkräfte überhaupt ähnliche Zielsetzungen verfolgen, wenn sie die Elektrizitätslehre in der Sekundarstufe I unterrichten. Empirische Untersuchungen, die dieser Frage nachgegangen sind, gibt es wenige, und das nicht nur für den Elektrizitätslehreunterricht. In einer Studie [1] wurden 32 Lehrkräfte, die in Bayern, Hessen oder Österreich unterrichten, nach ihren Zielen gefragt, die sie im Elektrizitätslehreunterricht zu einfachen Stromkreisen in der Sekundarstufe I verfolgen. Bevor Sie sich jetzt die genannten Bereiche in Abbildung 1 ansehen, überlegen Sie einmal für sich selbst: Was sind denn für Sie die drei wichtigsten Aspekte, die Sie in Ihrem Elektrizitätslehreunterricht typischerweise adressieren möchten?

Vielleicht ist es für Sie besonders wichtig, den Lernenden den Stellenwert zu vermitteln, den Elektrizität in unserem Alltag einnimmt; dieser Aspekt war auch bei den teilnehmenden Lehrkräften der Studie der am häufigsten genannte (siehe Abb. 1). Zentral war für viele Lehrkräfte auch die Vermittlung einer Modellvorstellung elektrischer Stromkreise. Oder vielleicht steht für Sie ein grundlegendes Verständnis der Grundgrößen elektrische Spannung, elektrische Stromstärke und elektrischer Widerstand im Vordergrund Ihrer unterrichtlichen Bemühungen, wie es auch für viele der Lehrkräfte in der Befragung der Fall war. Damit Schüler*innen dieses Ziel eines grundlegenden Verständnisses der elektrischen Grundgrößen erlangen können, benötigt es jedenfalls geeignete Elementarisierungen dieser Größen. Diese zu finden, ist nicht einfach; jedenfalls gibt es in fachdidaktischer Literatur sowie in Schulbüchern sehr unterschiedliche Ansätze zur Einführung dieser Grundgrößen.

2. Gängige Einführungen der Grundgrößen

Für die elektrische Stromstärke finden sich vor allem zwei unterschiedliche Definitionen oder Ansätze, die auch in Schulbüchern vielfach Verwendung finden. Der erste Ansatz zielt auf einen quantitativen Zusammenhang ab und bezieht sich auf die Definition der elektrischen Stromstärke als „ein Maß dafür, wie viel Ladung pro Sekunde durch die

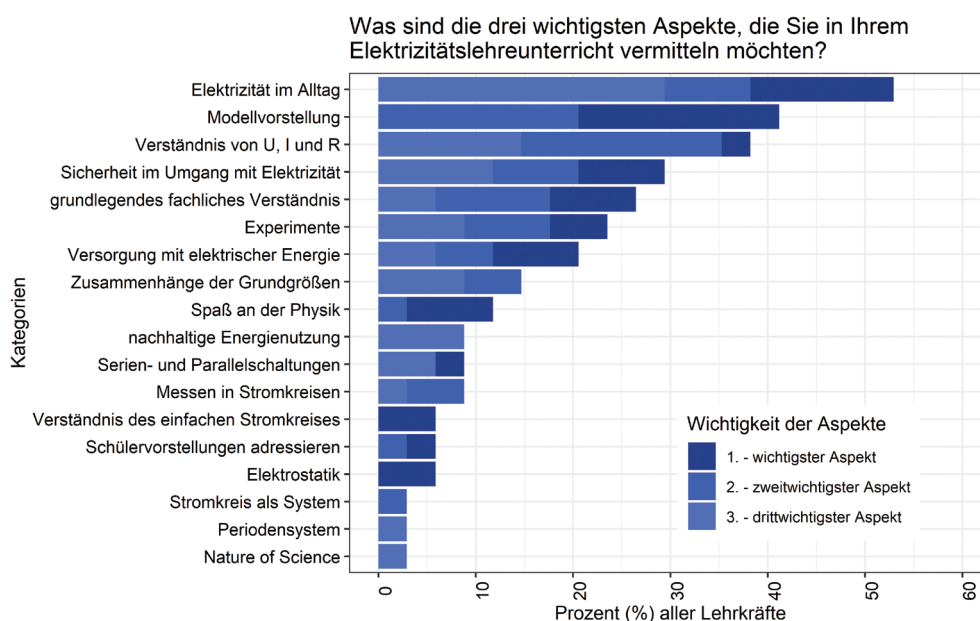


Abbildung 1: Die wichtigsten Aspekte, welche die Lehrkräfte nach eigenen Angaben in ihrem Elektrizitätslehreunterricht der Sekundarstufe I vermitteln möchten (N = 32, Reihung nach Häufigkeit der Nennung). Die teilnehmenden Lehrkräfte unterrichten in Bayern, Hessen oder Österreich.

Leiterquerschnittsfläche fließt“ [2]. Diese auf den ersten Blick anschaulich wirkende Definition setzt aber vor allem eines voraus: Eine angemessene Modellvorstellung des elektrischen Stroms bzw. der Elektronenströmung. Der zweite Ansatz, der auf einen qualitativen Zusammenhang abzielt, bezieht sich auf die magnetische Wirkung des elektrischen Stroms. Die Auslenkung einer Magnethnadel dient hierbei als Indikator für die elektrische Stromstärke und eignet sich somit besonders für den Anfangsunterricht, wenn Schüler*innen noch keine vertiefte Modellvorstellung des elektrischen Stroms besitzen [3].

Die elektrische Spannung erweist sich als das schwierigste Konzept im Elektrizitätslehreunterricht der Sekundarstufe I [4], wenn nicht sogar des gesamten Physikunterrichts in der Sekundarstufe. Diese Schwierigkeit kann dabei mitunter auf nicht angemessene Elementarisierungen zurückzuführen sein. Bei einem Blick in die Literatur bzw. Schulbücher findet man viele unterschiedliche Definitionen des Spannungsbegriffs.

Hier einige exemplarische Definitionen des Spannungsbegriffs:

- Die Spannung als der Ladungsunterschied, der Elektronen von einem negativ geladenen Pol zu einem positiv geladenen Pol fließen lässt [5, 6].
- Eine Definition der Spannung über die Formel $U = W/q$; die Spannung ist dementsprechend proportional zur Arbeit pro Ladung [7].
- Die Spannung als Energiemenge, die bei einer bestimmten Stromstärke pro Zeiteinheit entsprechend $U = P/I$ übertragen werden kann [8, 9].
- Die Definition der Spannung über eine Potenzialdifferenz entsprechend $U = \Phi_2 - \Phi_1$ [2].

Erschwerend kommt hinzu, dass mit dem Wort „Spannung“ auch drei unterschiedliche Begriffe benannt werden: die „abfallende Spannung“ (fachlich korrekt besser: abfallendes Potenzial) in einem geschlossenen elektrischen Stromkreis, die auch gemessen werden kann, die „Quellenspannung“ bspw. die Spannung einer Batterie, die als fixer Wert eines elektrischen Bauteils gesehen werden kann [10] und schließlich auch die „Nennspannung“ von elektrischen Bauteilen wie etwa Glühlämpchen.

Als kritisch zu sehen ist jedenfalls die Definition der elektrischen Spannung über die Formel $U = \frac{W}{q}$ und dem oft damit verbundenen „Rucksackmodell“ [7]. Das Formelzeichen W wird hierbei als die Arbeit interpretiert, die die Batterie oder das Netzteil verrichtet, oder als die Energie, die von der Batterie oder dem Netzteil zu den elektrischen Bauteilen wie Lämpchen transportiert wird. Der Quotient $\frac{W}{q}$ suggeriert damit eine gewisse „Energiemenge pro Ladungsträger“. Diese Darstellung hat jedoch einige klare Schwächen: Die Energie wird in elektrischen Stromkreisen fachlich gesehen nicht durch die Elektronen übertragen, sondern vielmehr durch das elektrische und magnetische Feld um den Leiter. Neben einigen weiteren Schwierigkeiten [4] bleibt bei dieser Definition auch

offen, wie die Spannungsverhältnisse bei Reihenschaltungen zustande kommen.

Anschlussfähiger und auch tragfähiger scheinen Zugänge zum Spannungsbegriff über das elektrische Potenzial. Spannenderweise scheint der Potenzialbegriff im gängigen Unterricht zur Elektrizitätslehre der Sekundarstufe I aber kaum eine Rolle zu spielen [11], wie sich auch in unterschiedlichen Schulbüchern zeigt [12]. Dem gegenüber steht, dass sich Potenzialansätze für die Spannung in der fachdidaktischen Forschung als vielversprechend herausgestellt haben [13-15]. Beispiele für einen Potenzialansatz der elektrischen Spannung finden Sie auch in den Beiträgen in diesem Heft von Müller & Mandler (S. 8) sowie Burde et al. (S. 22).

Die dritte zentrale Größe im Elektrizitätslehreunterricht der Sekundarstufe I ist der elektrische Widerstand. Der Begriff Widerstand wird dabei auch mit drei unterschiedlichen Bedeutungen versehen: Erstens als die Eigenschaft „Widerstand“: Eine elektrische Eigenschaft eines Bauteils, die etwas darüber aussagt, wie der Ladungsträgerfluss behindert wird. Zweitens als die Bezeichnung für elektrische Bauteile, welche genau die Eigenschaft von erstens besitzen („Widerstandsbauelement“). Und drittens auch als quantitative Messgröße im Sinne von $R = \frac{U}{I}$ [16]. Dabei sollte man vor allem nicht in die Falle tappen, die Definition des Widerstands ($R = \frac{U}{I}$) mit dem Ohm'schen Gesetz zu verwechseln. Die Definition $R = \frac{U}{I}$ gilt immer. Das Ohm'sche Gesetz sagt hingegen aus, dass in speziellen Fällen (z. B. Metalle bei konstanter Temperatur) ein konstanter Widerstand (im Sinne der ersten Bedeutung) vorliegt, also U und I in diesem Fall proportional sind [17].

3. Aktuell gängige Analogiemodelle

Gerade weil die Elektrizitätslehre Schüler*innen oft vor große Probleme stellt, u. a. weil Potenzial, elektrische Spannung und Stromstärke abstrakte und nicht direkt wahrnehmbare Größen sind, werden zur Veranschaulichung elektrischer Stromkreise bzw. der Grundgrößen sogenannte Analogiemodelle eingesetzt. Die Idee dabei ist, auf Analogien oder Ähnlichkeiten zwischen einem Stromkreis und einem bestimmten Modell, wie zum Beispiel einem Fahrradkettenmodell, zurückzugreifen [18]. Voraussetzung dafür ist, dass das Modell den Schüler*innen möglichst vertraut ist. Das Verständnis in der Elektrizitätslehre soll durch den Vergleich mit bereits Bekanntem erleichtert werden. Klar ist, dass nicht alle Eigenschaften von Modellen aus anderen Bereichen auf den elektrischen Stromkreis übertragen werden können; jedes Analogiemodell hat seine Grenzen. Für Schüler*innen ist a priori aber nicht klar, welche Eigenschaften übertragen werden können und welche nicht.

Wirft man einen Blick auf die gängige Unterrichtspraxis von Lehrkräften in Bayern, Hessen und Österreich scheint der Einsatz von Analogiemodellen sehr verbreitet zu sein. In der bereits oben genannten Studie [11] setzten rund

zwei Drittel aller Lehrkräfte ein Analogiemodell in ihrem Elektrizitätslehreunterricht ein. Am häufigsten wurde dabei mit Abstand ein Wasserkreislauf-Analogiemodell eingesetzt: Von den Lehrkräften, die ein Analogiemodell verwendet haben, wurde von rund 60 % ein Wasserkreislauf-Analogiemodell genutzt, siehe Tab. 1 [11].

Tabelle 1: Eingesetzte Analogiemodelle der Lehrkräfte ($N = 32$). Aufgrund der Ununterscheidbarkeit in der Studie wurden die beiden Arten von Wasserkreislaufmodellen zu „Wasserkreislaufmodell“ zusammengefasst.

Analogiemodell	Häufigkeit	Prozent
Wasserkreislaufmodell	20	63
Analogie zu aufgeteiltem/n Verkehr/Menschen	5	16
Fahrradkettenmodell	5	16
Wassertanks in unterschiedlicher Höhe	4	13
Rucksackmodell/Bienenmodell	3	9
Analogie zu Wärmetransport	2	6
Elektronengasmodell	1	3
Stäbchenmodell	1	3

Dabei kann prinzipiell zwischen zwei Arten von Wasserkreislaufmodellen unterschieden werden: Dem ebenen, geschlossenen Wasserkreislauf, bei dem Druckdifferenzen für elektrische Spannungen stehen, und dem offenen Wasserkreislauf, bei dem Höhendifferenzen für elektrische Spannungen stehen. Dass Wasserkreislaufmodelle so häufig Anwendung finden, ist überraschend, denn der Einsatz dieser Analogiemodelle hat sich in bisheriger fachdidaktischer Forschung als durchaus problematisch herausgestellt [19]. Insbesondere für den ebenen, geschlossenen Wasserkreislauf, unter dem man ein System aus dichten Wasserrohren mit gleichem Querschnitt in einer Ebene versteht [18], ergeben sich viele Probleme bei der Nutzung. So können sich Schüler*innen unter Wasserdruck wenig vorstellen, woran auch eine experimentelle Demonstration kaum etwas ändert. Das größte Problem bei diesem Analogiemodell ist jedoch vermutlich, dass die Lernenden keine oder kaum Alltagserfahrungen mit geschlossenen Wasserkreisläufen in der Ebene haben, aber stattdessen dazu viele Fehlvorstellungen. Um Gesetzmäßigkeiten vom Wasserkreislauf auf den elektrischen Stromkreis übertragen zu können, müssen sich Schüler*innen also erst einmal mit den Verhältnissen von Strömen und Drücken im Wasserkreislauf vertraut machen, was aber wiederum sehr zeitintensiv ist [20]. In der gelebten Unterrichtspraxis werden Wasserkreislaufanalogien jedoch eher punktuell zur Demonstration von bestimmten fachlichen Inhalten (wie etwa der elektrischen Spannung) in einzelnen Stunden eingesetzt, und nur selten durchgängig über mehrere Stunden hinweg verwendet [11].

In Unterrichtskonzeptionen, in denen Analogiemodelle Anwendung finden, werden diese meist über mehrere Unterrichtsstunden hinweg eingesetzt, um so Ähnlichkeiten und auch Unterschiede zwischen Analogiemodell und dem elektrischen Stromkreis sukzessive herauszuarbeiten [15, 21]. Fachdidaktische Forschung zeigt, dass es aber sehr stark vom

eingesetzten Analogiemodell selbst abhängt, ob Schüler*innen in der Verständnisentwicklung unterstützt werden [15]. So eignet sich etwa eine Luftdruckanalogie zur Verankerung der elektrischen Spannung als Potenzialdifferenz [13]. Auch bei einigen der in diesem Heft vorgestellten Unterrichtskonzepten wird eine vertiefte Verwendung von Analogiemodellen verfolgt [22, 23].

4. Unterschiedliche Zugänge zum Elektrizitätslehreunterricht der Sekundarstufe I

In der bereits oben erwähnten Studie mit 32 Lehrkräften in Bayern, Hessen und Österreich ließen sich für die zentralen Inhalte des Anfangselektrizitätsunterrichts insgesamt vier Abfolgemuster finden. Dem Unterricht aller Lehrkräfte gemeinsam war eine Art Einführungsblock in das Thema einfache elektrische Stromkreise, ausgestaltet mit dem Inhalt Elektrostatik und/oder dem einfachen Stromkreis. Dann ging es unterschiedlich weiter:

Zwölf der 32 Lehrkräfte thematisierten danach Reihen- und Parallelschaltung, um anschließend die elektrischen Grundgrößen und schließlich deren Zusammenhänge zu erarbeiten (Muster 1).

15 Lehrkräfte behandelten direkt nach der Einführung in die Elektrizitätslehre zuerst die elektrischen Grundgrößen, um dann entweder das Ohm'sche Gesetz zu behandeln und auf Reihen- und Parallelschaltungen anzuwenden (Muster 2) oder um zuerst Stromstärken- und Spannungsverhältnisse in Reihen- und Parallelschaltungen zu thematisieren und anschließend das Ohm'sche Gesetz zu behandeln (Muster 3).

Drei Lehrkräfte aus Bayern wählten einen von den bisher beschriebenen Abfolgemustern abweichenden Zugang, indem zuerst die elektrische Stromstärke eingeführt wurde, um anschließend Reihen- und Parallelschaltungen zu erarbeiten und erst danach die Grundgröße elektrische Spannung und das Ohm'sche Gesetz (Muster 4).

Für die Einführungszeitpunkte der elektrischen Stromstärke und elektrischen Spannung zeigte sich, dass die elektrische Stromstärke häufiger vor der elektrischen Spannung eingeführt wurde (in 12 von 32 Fällen) als umgekehrt (9 von 32 Fällen). Zehn Lehrkräfte führten beide Grundgrößen in derselben Unterrichtsstunde ein. Bei einer Überbetonung der elektrischen Stromstärke bzw. des Strombegriffs laufen Schüler*innen oft Gefahr, den zentralen ursächlichen Zusammenhang zwischen Spannung als Ursache für Elektronenströmungen und der Stromstärke nicht zu erkennen [24]. Aus fachdidaktischer Sicht macht es daher Sinn, die elektrische Spannung zuerst zu thematisieren und somit als Primärkonzept für die Analyse von einfachen Stromkreisen zu verankern. Denn dann laufen Schüler*innen weniger Gefahr, Stromkreise aus der „Sicht des Stroms“ zu analysieren [25].

5. Fazit

Zugänge zur Elektrizitätslehre in der Sekundarstufe I sind insgesamt vielfältig und durch unterschiedliche Zielsetzungen, Elementarisierungen und den Einsatz von Analogiemodellen geprägt. Besonders für den Spannungsbegriff haben sich Ansätze, die den Potenzialbegriff aufgreifen, als sehr nützlich herausgestellt. Als Tipps für den Einsatz von Analogiemodellen lassen sich formulieren: Wasserkreislaufmodelle, insbesondere der Ebene geschlossene, sind eher nicht zielführend, um Schüler*innen bei der Entwicklung eines konzeptionellen Verständnisses zu unterstützen. Außerdem sollte beim Einsatz von Analogiemodellen jeglicher Art das Ausgangsmodell den Schüler*innen vertraut sein und insbesondere sollten auch die Grenzen der Analogie herausgearbeitet werden. In den Beiträgen in diesem Heft sind einige Beispiele zu finden, wie das gelingen kann!

Literatur

- [1] Schubatzky, T., Haagen-Schützenhöfer, C., Burde, J.-P., Wilhelm, T., Ivanjek, L., Hopf, M., Dopatka, L., Spatz, V., Orientation to Teaching Introductory Electricity – Aims and Motives of Teachers. In: Electronic Proceedings of the ESERA 2019 Conference. The beauty and pleasure of understanding: engaging with contemporary challenges through science education. Levirini, O., Tasquier, G. (Hrsg.). 2019, Bologna, S. 1678-1687.
- [2] Aschauer, W., Kloimböck, C., Haim, K., Expedition Physik 3. 2017, Wien: E.Dorner.
- [3] Waltner, C., Wiesner, H., Zur Demonstration von "I = konstant". Praxis der Naturwissenschaften–Physik, 2009, 58(3), S. 36-38.
- [4] Ivanjek, L., Morris, L., Schubatzky, T., Hopf, M., Burde, J.-P., Haagen-Schützenhöfer, C., Dopatka, L., Spatz, V., Wilhelm, T., Development of a two-tier instrument on simple electric circuits. Phys. Rev. Phys. Educ. Res., 2021, 17(2), S. 2-15.
- [5] Reitinger, J., Fischer, B., Novak, P., Impuls Physik 3, 1. Aufl. 2015, Wien: ÖBV.
- [6] Diese Definition ist mit Vorsicht zu genießen. Gemäß dieser Definition könnte man auch den Pluspol einer Batterie mit dem Minuspol einer zweiten Batterie verbinden und damit einen Kurzschluss erzeugen.
- [7] Wilhelm, T., Elektronen als Energieträger? In: Stolpersteine überwinden im Physikunterricht. Wilhelm, T. (Hrsg.). 2018, Aulis: Seelze, S. 96-99.
- [8] Bei dieser Definition ist zu beachten, dass es zu keiner Verwechslung der Spannung mit dem Energiekonzept kommt. Insbesondere ist die Einheit der Spannung Volt und nicht Coloumb oder Joule.
- [9] Muckenfuß, H., Walz, A. (Hrsg.). 1997, Neue Wege im Elektriunterricht. Vom Tun über die Vorstellung zum Begriff, 2. Aufl. Köln: Aulis-Verl. Deubner.
- [10] Müller, R., Was ist Spannung? Der Begriff der Spannung und seine Verknüpfung zur potenziellen Energie. Praxis der Naturwissenschaften–Physik, 2012, 61(5), S. 5-16.
- [11] Schubatzky, T., Das Amalgam Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht. Eine multiperspektivische Betrachtung in Deutschland und Österreich. 2020: Logos Verlag Berlin.
- [12] Wilhelm, T., Vairo, R., Vergleichende Schulbuchanalyse zur Einführung in die E-Lehre. In: Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen. GDGP-Jahrestagung 2019. Habig, S. (Hrsg.). 2020, Duisburg-Essen, S. 578-581.
- [13] Burde, J.-P., Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells. 2018, Logos Verlag Berlin.
- [14] Gleixner, C. 1998, Einleuchtende Elektrizitätslehre mit Potenzial. Dissertation. LMU, München.
- [15] Wilhelm, T., Schecker, H., Hopf, M., Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht. 2021. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- [16] Duit, R., Elektrizitätslehre aus Schülersicht. Naturwissenschaften im Unterricht. Physik, 2017, 28(157), S. 2-7.
- [17] Donges, A., Zur Diskussion gestellt: Ohmscher Widerstand und ohmsches Gesetz. Plus Lucis, 2019(3), S. 27-30.
- [18] Burde, J.-P., Wilhelm, T., Modelle in der Elektrizitätslehre. Unterricht Physik, 2017, 157(28), S. 8-13.
- [19] Burde, J.-P., Wilhelm, T., Hilft die Wasserkreislaufanalogie? In: Stolpersteine überwinden im Physikunterricht. Anregungen zu fachgerechten Elementarisierungen, 1. Aufl. Wilhelm, T. (Hrsg.). 2018, Aulis: Seelze, S. 100-104.
- [20] Schwedes, H., Dudeck, W. G., Seibel, C., Elektrizitätslehre mit Wassermodellen. Praxis der Naturwissenschaften–Physik, 1995, 44(2), S. 28-36.
- [21] Burde, J.-P., Wilhelm, T., Schubatzky, T., Haagen-Schützenhöfer, C., Ivanjek, L., Hopf, M., Dopatka, L., Spatz, V., Re-Design des Frankfurter Unterrichtskonzepts im Rahmen von EPo-EKo. PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 2019, 1), S. 253-260.
- [22] Kahnt, M., Die Fahrradkette als durchgängige Vorstellungshilfe im Elektrizitätslehreunterricht der Sekundarstufe I. Plus Lucis, 2022(2) (dieses Heft).
- [23] Burde, J.-P., Wilhelm, T., Weatherby, T., Schubatzky, T., Haagen-Schützenhöfer, C., Hopf, M., Ivanjek, L., Dopatka, L., Spatz, V., Mehr Spannung beim Thema Stromkreise! Plus Lucis, 2022(2) (dieses Heft).
- [24] Rhöneck, C., Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis und zu den Begriffen Strom, Spannung und Widerstand. Naturwissenschaften im Unterricht. Physik, 1986, 34(13), S. 10-14.
- [25] Wilhelm, T., Hopf, M., Schülervorstellungen zum elektrischen Stromkreis. In: Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M., Duit, R. (Hrsg.). 2018, Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg, S. 115-138.

Thomas Schubatzky *Karl-Franzens-Universität*

Graz, Institut für Physik, Physikdidaktik

Claudia Haagen-Schützenhöfer *Karl-Franzens-*

Universität Graz, Institut für Physik, Physikdidaktik

Jan-Philipp Burde *Eberhard Karls Universität*

Tübingen, AG Didaktik der Physik

Liza Dopatka *Technische Universität Darmstadt,*

Fachbereich Physik, Physikdidaktik

Martin Hopf *Universität Wien, Didaktik der Physik*

Lana Ivanjek *TU Dresden, Didaktik der Physik*

Verena Spatz *Technische Universität Darmstadt,*

Fachbereich Physik, Physikdidaktik

Thomas Wilhelm *Goethe-Universität Frankfurt,*

Institut für Didaktik der Physik

Stromkreise besser verstehen mit Potenzial und Bikepark-Analogie

Rainer Müller und Jan Mandler

1. Lernschwierigkeiten in der Elektrizitätslehre

Das Verständnis elektrischer Stromkreise, speziell des Spannungsbegriffs, gehört zu den schwierigsten Kapiteln der Schulphysik. Die fachdidaktische Forschung zeigt, dass es Lernenden in der Sekundarstufe I in der Regel nicht gelingt, korrekte Vorstellungen zum physikalischen Spannungsbegriff zu entwickeln (die Ergebnisse der Forschung zu Schüler-vorstellungen sind in [1] zusammengefasst; siehe auch die anderen Artikel in diesem Heft).

Wenn man versucht, die möglichen Gründe für Lernschwierigkeiten von Lernenden zu rekonstruieren, stößt man auf Denkmuster, die durchaus plausibel sind und in anderen Bereichen der Physik als korrekt angesehen werden. Zwei wichtige physikalisch Fehlvorstellungen werden in der fachdidaktischen Literatur als *sequentielle Argumentation* und *lokales Denken* bezeichnet [1]. Bei der *sequentuellen Argumentation* wird im Stromkreis zwischen „vorn“ und „hinten“ unterschieden. Nach dieser Vorstellung kann die Helligkeit eines Lämpchens davon abhängen, welche Bauteile sich vor dem Lämpchen im Stromkreis befinden, aber nicht von denjenigen, die vom Strom erst *danach* durchlaufen werden. Das *lokale Denken* tritt an Verzweigungen in Erscheinung, etwa bei Parallelschaltungen: Der Strom „sieht“ nur die lokale Verzweigung und nicht, was dahinter kommt. Deshalb teilt er sich – so die Vorstellung – an der Verzweigung gleichmäßig auf (und nicht gemäß den Widerstandsverhältnissen im gesamten Stromkreis).

Beide Argumentationen sind nicht einmal unplausibel. Im Gegenteil: Die physikalisch richtige Vorstellung, dass nämlich bei der Reihenschaltung die Helligkeit eines Lämpchens auch durch die Bauteile beeinflusst wird, die sich woanders und speziell *hinter* dem Lämpchen im Stromkreis befinden, erscheint zunächst unglaublich und begründungsbedürftig. Man stelle sich eine entsprechende Situation in der Mechanik vor: Die Behauptung, dass die von einer Billardkugel beim Stoß mit einer zweiten Kugel abgegebene Energie davon abhängt, ob sie hinterher noch mit einer weiteren Kugel kollidiert oder nicht, würde man sofort als offensichtlich falsch ablehnen. Auch bei der Betrachtung von Wurfbewegungen oder der Berechnung von Bewegungen mithilfe der Energieerhaltung ist die Unterscheidung in „vorher“ und „hinterher“ explizites Ziel des Physikunterrichts.

Im Stromkreis scheinen die Verhältnisse also anders gelagert zu sein als in der Mechanik. Das Verhalten von Elektronen an einem Punkt hängt von der Beschaffenheit des Stromkreises anderswo

ab. Änderungen an einer Stelle (z. B. das Heraus-schrauben eines Lämpchens) haben Auswirkungen an anderer Stelle. Beim Versuch, den Stromkreis zu beschreiben, müssen wir daher auf globale, nicht-lokale Konzepte zurückgreifen. In der Sprache der Bildungsstandards: Es muss das ganze System betrachtet werden. Aber was bedeutet das konkret physikalisch?

Die globale Größe, die für das Verhalten von Ladungen in Stromkreisen maßgeblich ist, ist das elektrische Feld. Das *elektrische Feld* erfüllt den gesamten Raum (auch außerhalb der Drähte) und wird von den Verhältnissen im Stromkreis global beeinflusst. Änderungen an einer Stelle beeinflussen das Feld überall. Das elektrische Feld wird von der Batterie und Oberflächenladungen in den Drähten erzeugt. Es hat Versuche gegeben, Stromkreise in dieser Weise, mit Hilfe des elektrischen Feldes, zu beschreiben [2-4]. Auf einem hohen fachlichen Niveau ist diese Beschreibungsweise sehr lehrreich. Aber sie ist so komplex, dass sie weder in der Physik noch in der Technik Anwendung findet. Für Lernende in der Sekundarstufe ist sie völlig ungeeignet.

Statt das elektrische Feld zu betrachten, geht man deshalb zur *Spannung* über, einer mathematisch sehr viel zugänglicheren Größe. In der Mechanik entspricht dieser Übergang demjenigen von einer Beschreibung durch Kräfte zu einer Beschreibung mit Hilfe der Energie [4].

Vom globalen Charakter des Feldes bleibt in der Spannungsbeschreibung nur noch ein Merkmal übrig: Die Spannung ist eine Größe, die immer in Bezug auf zwei Punkte im Stromkreis definiert ist. Dieser Umstand ist dann allerdings für die Argumentation entscheidend. Im Unterricht führt dies zu den erwähnten Lernschwierigkeiten, denn die Spannung ist in dieser Hinsicht anders als die meisten Größen, die sonst im Physikunterricht behandelt werden. Wie aber sollte es Lernenden gelingen, ein solch abstraktes und schwieriges Konzept zu verstehen? Die gängigen Experimente oder Modellvorstellungen zu Stromkreisen erscheinen wenig geeignet dafür. Betrachten wir beispielsweise das Modell des ebenen, geschlossenen Wasserkreislaufs: Wer elektrischen Strom in Leitungen durch strömendes Wasser in Rohren darstellen will, benötigt den Druck bzw. Druckdifferenzen als Modell für Spannung. Damit ersetzt man ein schwieriges Konzept, die Spannung, durch eine andere, ebenso schwierige physikalische Größe, den Druckunterschied. Wer aber den globalen Charakter der Spannung, die sich auf das System „Stromkreis“ als Ganzes bezieht, nicht erkannt hat, wird

nahezu zwangsläufig physikalisch fehlerhaft argumentieren und sequentielle bzw. lokale Denkmuster heranziehen.

Die fachdidaktische Aufgabe zur Überwindung der Lernschwierigkeiten besteht darin, Lernangebote zu entwickeln, die den Lernenden das Akzeptieren und Übernehmen der physikalischen Argumentation erleichtern. In diesem Artikel möchten wir für zwei Dinge argumentieren: Zum einen, dass das Potenzialmodell bei der Übernahme der physikalischen Argumentation hilft. Statt der Spannung wird eine physikalisch einfachere Größe in den Mittelpunkt gestellt: das *Potenzial* – eine Größe, die sowohl eng mit dem elektrischen Feld als auch mit der Spannung verknüpft ist. Und zum anderen argumentieren wir, dass speziell die in diesem Artikel vorgestellte Bikepark-Analogie eine gute Veranschaulichungshilfe für das Potenzialmodell ist, durch die es für Lernende zugänglicher wird.

2. Das Potenzialmodell für elektrische Stromkreise

In den vergangenen 20 Jahren hat es in der Fachdidaktik eine kontinuierliche Entwicklung gegeben, das elektrische Potenzial für das Lernen der Elektrizitätslehre nutzbar zu machen. Verschiedene Veranschaulichungen und Analogien (z. B. Höhenanalogie, Mauermodell, Druckanalogie) wurden entwickelt und in fachdidaktischen Forschungsprojekten untersucht [4-11].

Das elektrische Potenzial ist kein traditioneller Begriff der Schulphysik. In den meisten Lehrplänen und Kerncurricula kommt es als Unterrichtsinhalt nicht vor. Dabei hat es gegenüber den etablierten Begriffen der Spannung und des elektrischen Feldes einige Vorzüge:

- Das elektrische Potenzial lässt sich für jeden Punkt angeben. In diesem Sinne ist es ein einfacherer Begriff als die Spannung, die sich jeweils auf zwei Punkte bezieht. Man kann von dem „Potenzial am Ort x “ sprechen, aber nicht von der „Spannung am Ort x “.
- Es ist eine skalare Größe. Anders als beim elektrischen Feld ist es nicht nötig, sich mit einem vektoriellen Charakter auseinanderzusetzen.
- Das Potenzial ist sowohl eng mit der Spannung als auch mit dem elektrischen Feld verknüpft und kann daher zwischen diesen beiden wichtigen Begriffen vermitteln. Das elektrische Feld ist als der Gradient des Potenzials definiert; das elektrische Feld zeigt also in Richtung der größten Neigung in der Potenziallandschaft. Die Spannung zwischen zwei Punkten ist als Potenzialdifferenz definiert.
- Das Potenzial ist ein Wort, das auch in der Alltagssprache verwendet wird, und zwar mit einer Bedeutung, die ihrem physikalischen Charakter entspricht: Potenzial (in der Alltags-Rechtschreibung meist mit z geschrieben, in der Physik mit φ oder U) ist die Fähigkeit, Dinge zu tun. Eine solche Kongruenz zwischen Alltagssprache und physikalischem Fachbegriff erleichtert das Lernen.

Nur als Nebenbemerkung sei erwähnt, dass die erste Aussage nur eingeschränkt gültig ist: In Regionen mit veränderlichem Magnetfeld, also z. B. im Inneren von Generatoren, lässt sich das elektrische Potenzial – ebenso wie die Spannung – nicht eindeutig definieren [12]. Bei der Betrachtung von Stromkreisen spielen diese Fälle üblicherweise aber keine Rolle.

In der traditionellen Zugangsweise werden Spannung und Stromstärke relativ gleichgewichtig behandelt. Da sie noch dazu durch die Beziehung $U = R \cdot I$ verknüpft sind, fällt es den Lernenden oft schwer, zwischen den beiden Begriffen zu unterscheiden. Im Potenzialansatz ist das anders: Hier ist die Stromstärke klar der nachgeordnete Begriff. Das physikalische „sich-gegenseitig-Bedingen“ von Spannung und Stromstärke wird aufgebrochen. Die wesentlichen Argumentationsschritte machen nur vom Potenzial Gebrauch: Die „Potenziallandschaft“ stellt sich in Abhängigkeit von der Batterie, von den elektrischen Bauteilen und ihrer Anordnung im Raum ein. Es ist überall definiert, auch außerhalb der Drähte und Bauteile. Die Ladungen bewegen sich im Stromkreis entsprechend der herrschenden Potenzialdifferenzen. Erst ganz am Schluss kommt die Stromstärke ins Spiel, die sich aus den jeweiligen Widerstandsverhältnissen ergibt.

Auf diese Weise ist eine leichte Veranschaulichung möglich. Über die Höhenanalogie lässt sich eine fachlich tragfähige Verknüpfung zur potentiellen Energie im Schwerfeld der Erde geben [4] – einer Größe, die den Lernenden auch in der Mechanik begegnet und die zur Analogiebildung genutzt werden kann. Insbesondere kann man an die Vorkenntnisse zu Höhenlinien (auf Landkarten) anknüpfen und sie mit den elektrischen Äquipotenziallinien in Beziehung setzen: eine fachlich völlig korrekte Entsprechung, denn die Höhenlinien auf der Landkarte sind die Äquipotenziallinien im Schwerfeld der Erde.

3. Bikepark-Analogie

Für Lernende sind die angeführten Überlegungen und der Begriff Potenzial sehr abstrakt, ebenso wie der Begriff des Potenzials in der Alltagssprache ein abstrakter ist. Deshalb ist es für die konkrete Unterrichtspraxis hilfreich, ein Modell einzusetzen, das mithilfe von Analogietransfers das Verständnis und das Argumentieren erleichtert. Ein Bikepark ist hier besonders gut geeignet. Was genau das ist und warum dieses Modell geeignet ist, soll im Folgenden erklärt werden.

Ein Bikepark ist wie ein Skigebiet für Radfahrende: angelegte Abfahrtstrecken, ohne Schnee, mit Lift direkt daneben. Radfahrende, die technisch anspruchsvolle Abfahrten (sogenannte Downhill-Fahrten) mögen – mit kleinen Sprüngen, engen Wegen über Wurzeln und Steine und kniffligen Spitzkehren – fahren meist stark gefederte Mountainbikes. Diese sind bergauf anstrengend zu pedalieren. Daher haben sich Bikeparks als Variante dieses Sports etabliert: Sporttreibende werden per Lift auf den Berg gebracht und können dann –

ebenso wie Skifahrende – verschiedene Routen zur Abfahrt ins Tal nutzen. Dabei bewegen sie sich von einer Höhenlinie höheren Potentials zu einer Höhenlinie niedrigeren Potentials.

Physikalisch ist das Modell des Bikeparks dem Modell des Ski-gebiets gleichwertig. Für den Einsatz im Unterricht bietet der Bikepark jedoch Vorteile: Jugendliche kennen das Radfahren und die Anstrengung beim Bergauf-Fahren aus ihrem Alltag; Mountainbike-Fahren ist bei manchen älteren Jugendlichen ein beliebter Sport. Zudem sind viele Jugendliche mit den spektakulären Videos von Downhill-Athleten wie zum Beispiel Fabio Widmer oder Danny MacAskill vertraut. Diese inhaltliche Nähe zu den Jugendlichen macht den Bikepark attraktiver für den Physikunterricht.

Der Unterrichtsgang stellt ganz das Potenzial bzw. die Spannung in den Vordergrund. Der Hauptschritt bei der Diskussion von Stromkreisen ist das Ermitteln der Potenzial- bzw. Spannungsverteilung im Stromkreis. Die Stromstärke wird am Ende ermittelt, aus $I = U/R$. Diese Vorgehensweise erleichtert das sonst auftretende Problem der zwei Begriffe zur Beschreibung von Stromkreisen: Spannung und Stromstärke. Hier ist es nur ein Begriff, das Potenzial bzw. die Spannung, der im Mittelpunkt der Betrachtung steht.

Tabelle 1 zeigt die Analogien zwischen Bikepark und elektrischem Stromkreis. Zwei zentrale Beobachtungen lassen sich anhand dieser Tabelle gut nachvollziehen. Zum einen: Der in der Elektrizitätslehre abstrakte Begriff der Spannung wird am Modell des Bikeparks greifbar. Denn ihr entspricht die Differenz zwischen zwei Höhenlinien im Bikepark, also ein ganz realer, sichtbarer Höhenunterschied. Diesen kann man leicht messen und angeben, und er ist Lernenden aus ihrem Alltag vertraut. Solche Differenzen kann man messen und mit einer Einheit versehen: Die Höhendifferenz misst man in Metern, die elektrische Potenzialdifferenz in der Einheit Volt. Und so ist es auch ganz natürlich, dass das bloße Vorhandensein einer Höhendifferenz (bzw. Spannung) noch nicht dazu führt, dass Mountainbiker den Berg hinunterfahren (bzw. elektrischer

Strom fließt). Der Mountainbiker fährt erst, wenn ein – zumindest kleiner – Weg vorhanden ist, auf dem er bergab fahren kann. Elektrischer Strom fließt erst bei Vorhandensein einer Leitung.

Tabelle 1: Analogie zwischen Bikepark und elektrischem Stromkreis

Bikepark	Stromkreis
Mountainbiker und -innen	Ladungen
Lift	Batterie
Berg-/Talstation	Plus-/Minuspol
Lageenergie	elektrisches Potenzial
Differenz zweier Lageenergien	Potenzialdifferenz (Spannung)
verschiedene Routen	verschiedene Stromkreise
waagerechte Abschnitte	Drähte
steile Abschnitte	elektrische Bauteile
Routenlänge s	Länge entlang der Drähte s
Zahl der Radelnden pro Sekunde an einer Stelle	Zahl der Ladungen pro Sekunde an einer Stelle (Stromstärke)

Zum anderen: Die Vorzeichenproblematik der Elektrizitätslehre besteht auch im Bikepark-Modell und lässt sich auf diese Weise gut thematisieren, nachvollziehen und damit reduzieren. Elektronen haben negative Ladungen und bewegen sich daher entgegen der Richtung des elektrischen Feldes. Auch im Bikepark-Modell genügt die Angabe eines rein betragsmäßigen Höhenunterschieds nicht. Wichtig ist immer: bergauf oder bergab? Diese Unterscheidung bietet sich jedoch erst an, nachdem die Lernenden mit den Grundzügen des Modells vertraut sind. Beim Erstkontakt mit dem Modell ist es daher hilfreich, allgemein von „Ladungen“ zu sprechen, die sich aufgrund einer Potenzialdifferenz bewegen.

4. Vorgeschlagener Unterrichtsgang

Der folgende Unterrichtsgang kann eine grobe Orientierung geben, wie sich der Einsatz des Bikepark-Modells im Unterricht der Mittelstufe realisieren lässt. Das Modell ist in mehreren aktuellen Schulbuch-Länderausgaben von *Dorn-Bader Physik* in Übereinstimmung mit den jeweiligen Kerncurricula bzw. Lehrplänen umgesetzt [13-15].

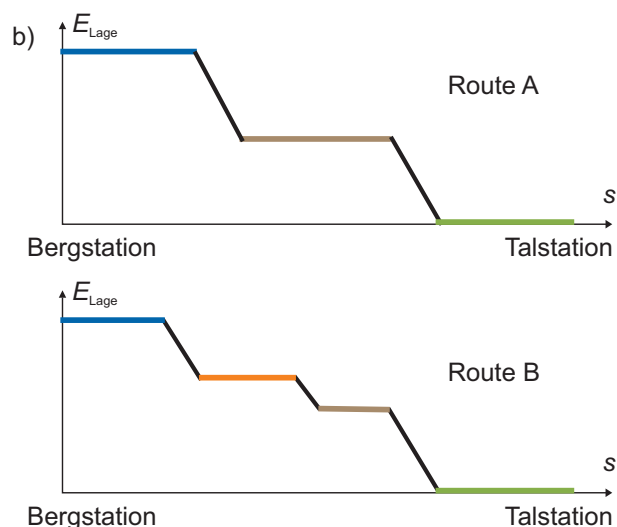
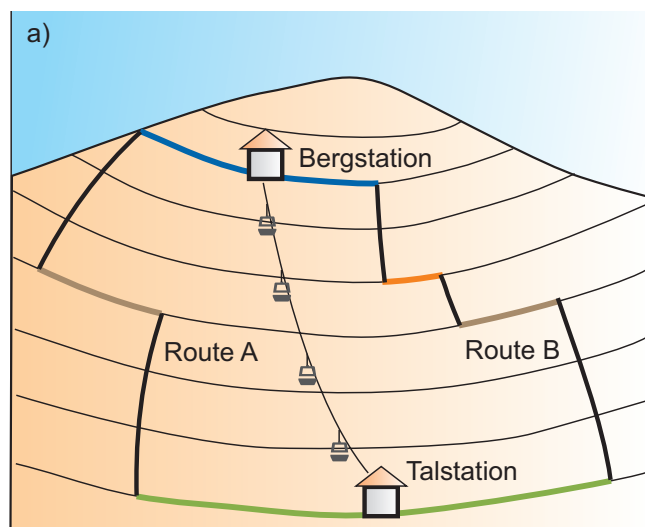


Abbildung 1: Verschiedene Routen im Bikepark und die zugehörigen Verläufe der Lageenergie in Abhängigkeit der Routenlänge s

1. Ohne Höhenunterschied kein Strom: In beliebten Mountainbike-Revieren gibt es Bikeparks (Abb. 1a). In Bikeparks kann man aufgrund der Höhenunterschiede einen richtigen „Strom“ von Radelnden beobachten.

2. Potenzial – können, wenn man will: Ohne den Potenzialunterschied zwischen Berg und Tal gibt es keinen Radfahrenden-Strom. Der Potenzialunterschied ist die Ursache für den Strom. Er bleibt auch bestehen, wenn kein Strom fließt, also niemand den Berg hinab fährt. Radfahrende fahren entlang verschiedener Routen vom Berg ins Tal und legen dabei eine bestimmte Höhendifferenz zurück.

3. Batterie als Antrieb: Der Höhenunterschied, über den der Lift die Mountainbiker nach oben bringt, entspricht der Spannung an der Batterie. Die Batterie transportiert die Ladungen auf ein höheres Potenzial. Die Radfahrenden werden vom Lift auf den Berg gebracht. Dort oben haben sie eine höhere Lageenergie E_{Lage} . Zum Antrieb des Lifts muss daher Energie aufgewendet werden.

4. Höhenverlust und Spannungsabfall: Obwohl die Radfahrenden im Bikepark verschiedene Routen wählen können, durchlaufen sie alle die gleiche Höhendifferenz Δh . Die bei der Abfahrt freigesetzte Lageenergie $E_{\text{Lage}} = m \cdot g \cdot \Delta h$ ist für alle Wege gleich. Durch Kombination von waagerechten Verbindungswegen und steilen Abfahrten lassen sich unterschiedliche Routen mit unterschiedlichem Verlauf der Lageenergie zusammenstellen.

Vergleichbar zu den Radelnden im Bikepark bewegen sich im Stromkreis Ladungen durch Drähte und elektrische Bauteile (Abb. 2, links). Sie durchlaufen dabei eine bestimmte Potenzialdifferenz. Die Potenzialdifferenz im Stromkreis entspricht dabei der Höhendifferenz im Bikepark. Die Potenzialdifferenz kann man nicht sehen, man kann sie sich nur mit Potenzialdiagrammen wie in Abb. 2 (rechts) veranschaulichen. Sie zeigen den Verlauf des Potenzials entlang der Drähte und Bauteile im Stromkreis. Diese Diagramme sehen

genauso aus wie die entsprechenden Bikepark-Diagramme in Abb. 1b.

Der Höhenunterschied entspricht im Stromkreis dem Potenzialunterschied zwischen den Anschlüssen des Lämpchens. Man nennt diesen Potenzialunterschied *Spannung* an dem Lämpchen. Je höher die Spannung, desto heller leuchtet das Lämpchen. In sprachlicher Analogie zum Höhenverlust spricht man in der Elektrizitätslehre auch von *Spannungsabfall* an einem Lämpchen.

5. Verbindungswege und Leitungen: Die Verbindungswege zwischen Bergstation und Beginn der Abfahrt verlaufen waagrecht entlang einer Höhen- bzw. Äquipotenziallinie. Ähnliches gilt im Stromkreis: Entlang der Leitungen vom Batteriepol zum Lämpchen ändert sich das Potenzial nicht.

6. Potenzialdifferenz und Energieabgabe: So wie die Radfahrenden Energie abgeben, wenn sie von der Berg- zur Talstation fahren, geben die Ladungen auf ihrem Weg durch den Stromkreis Energie ab – zum Beispiel an einem Lämpchen. Je größer die Potenzialdifferenz ist, die eine Ladung Q durchquert, desto mehr Energie kann sie entlang ihres Weges abgeben. Den Zusammenhang zwischen der elektrischen Energie, die pro Ladung im Stromkreis abgegeben wird, und dem Potenzial können wir nutzen, um die Größe einer Potenzialdifferenz durch eine Formel festzulegen:

$$\text{Potenzialdifferenz} = \frac{\text{abgegebene elektrische Energie}}{\text{Ladung}}$$

7. Reihenschaltung: Im Bikepark weisen alle Routen von der Berg- zur Talstation insgesamt die gleiche Höhendifferenz auf. Beim Stromkreis durchlaufen alle Ladungen die gleiche Potenzialdifferenz. Es gibt auch hier die Möglichkeit, verschiedene „Routen“ mit unterschiedlichem Potenzialverlauf zu gestalten: durch die Kombination von elektrischen Bauteilen und Drähten in elektrischen Schaltungen.

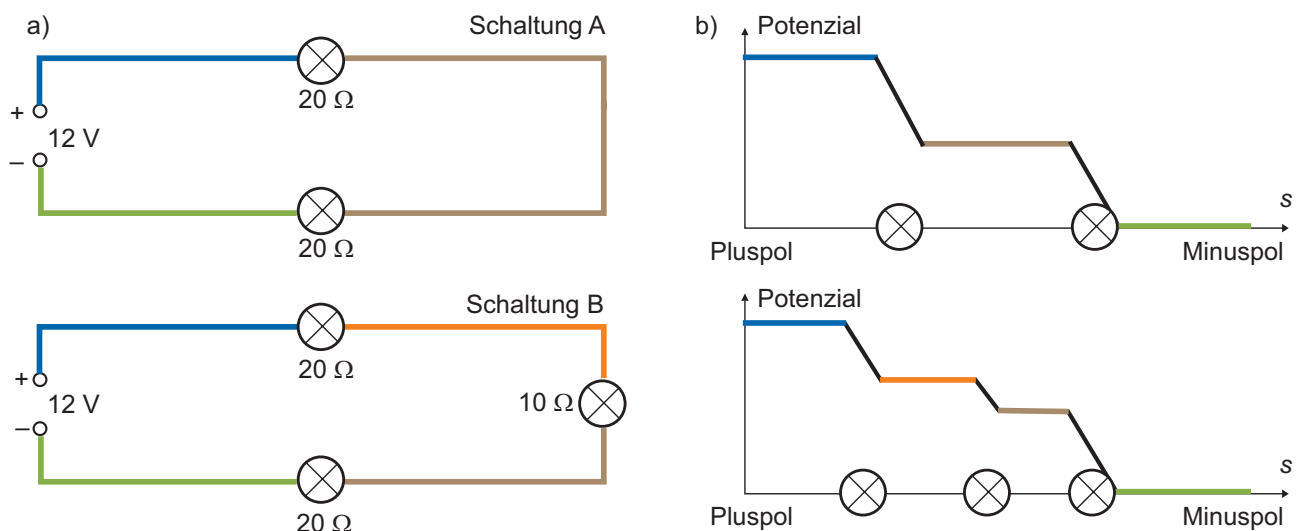


Abbildung 2: Verschiedene Stromkreise und die zugehörigen Potenzialverläufe bzw. Lageenergie in Abhängigkeit der Routenlänge s

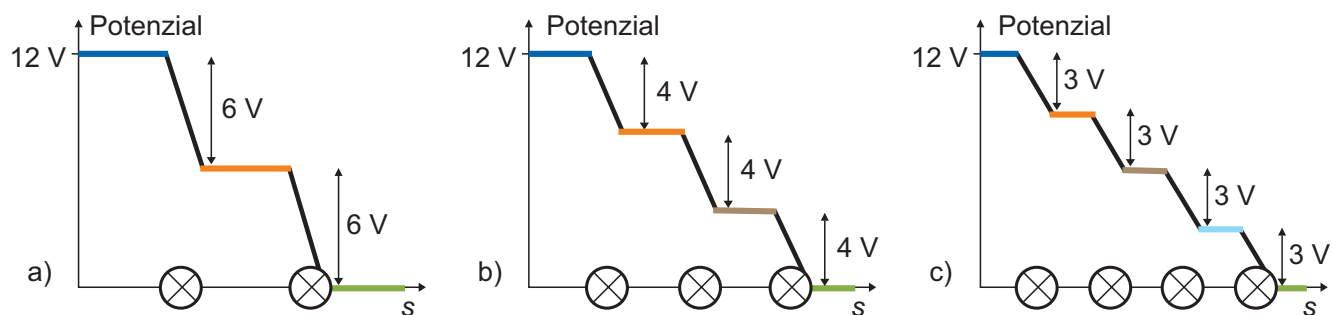


Abbildung 3: Potenzialdiagramm für eine Reihenschaltung von zwei, drei und vier Lämpchen

Das Potenzialdiagramm in Abb. 2 (rechts) zeigt den Verlauf des Potentials entlang der Drähte und Bauteile. Leiter gleichen Potentials (die Drähte) sind mit jeweils gleichen Farben markiert. Das Potential ändert sich an den elektrischen Bauteilen.

Bei zwei gleichen Lämpchen in Reihe teilt sich die Quellenspannung von 12 V gleichmäßig in Spannung von $2 \cdot 6 \text{ V}$ auf (Abb. 3a). Bei drei Lämpchen sind es $3 \cdot 4 \text{ V}$ und bei vier Lämpchen sind es $4 \cdot 3 \text{ V}$ (Abb. 3b-c). Das lässt sich verallgemeinern. Generell gilt für die Reihenschaltung: Die Spannungen entsprechen dem jeweiligen Anteil am Gesamtwiderstand R_{ges} .

Als Merksatz lässt sich formulieren:

In einer Reihenschaltung gilt: Der Teilspannung U_R an einem Widerstand R entspricht dessen Anteil am Gesamtwiderstand R_{ges} :

$$U_R = \frac{R}{R_{\text{ges}}} U_{\text{ges}}.$$

In einer Reihenschaltung ist die Stromstärke in allen Bauteilen gleich groß. Sie kann aus dem Gesamtwiderstand und der Quellenspannung gemäß $I = U/R$ berechnet werden. Stromkreise lassen sich auf diese Weise nahezu ohne Rechnen analysieren.

8. Parallelschaltung: Parallelschaltungen sind im Potenzialmodell einfach zu beschreiben. Abb. 4 zeigt eine Parallelschaltung aus zwei Lämpchen. Gleiche Farben bedeuten wieder gleiches Potential. Anhand der Farbmarkierung erkennt man: An beiden Lämpchen beträgt die Potentialdifferenz 12 V. In einer Parallelschaltung fällt an jedem Bauteil die volle Quellenspannung ab. Die Stromstärke in jedem Bauteil ergibt sich gemäß $I = U/R$ aus seinem Widerstand.

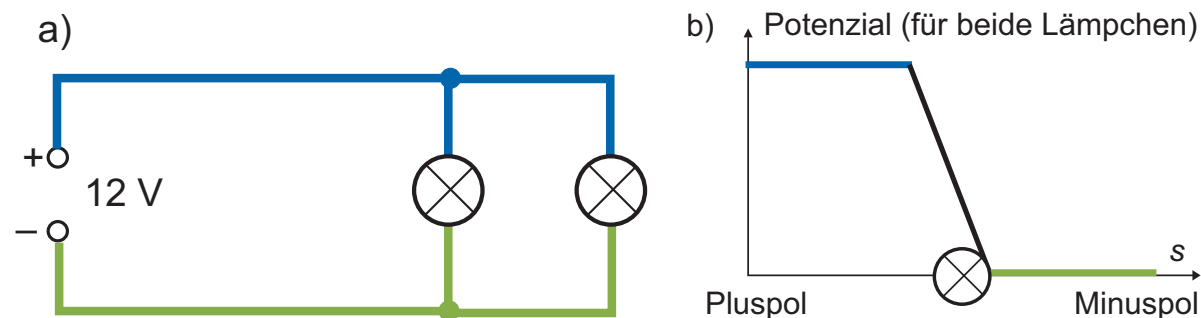


Abbildung 4: Potenzialverlauf bei der Parallelschaltung

5. Reihen- und Parallelschaltung im Potenzialmodell

Reihen- und Parallelschaltung kommen in diesem Unterrichtsgang sehr verschiedene Funktionen zu. Sie sind keinesfalls zwei quasi gleichwertige Varianten, einen Stromkreis aufzubauen, bei denen sich nur die Formeln ein wenig unterscheiden – und oft leicht verwechselt werden.

Die Reihenschaltung ist ein Prüfstein für das Verständnis des Bikepark-Modells. Sie ist daher im Unterricht ein gutes Diagnose-Instrument und ein Anstoß zur Selbstreflexion der Lernenden: Kann ich die Reihenschaltung mithilfe der Bikepark-Analogie erklären? Kann ich Voraussagen treffen, die sich im Experiment bestätigen? Wenn ja, dann habe ich das Konzept des elektrischen Stromkreises wirklich verstanden.

Die Parallelschaltung hat eine ganz andere Funktion: Sie ist diejenige, die in der Versorgung mit elektrischer Energie im Alltag wirklich zum Einsatz kommt. Jeder Klassenraum, jeder Haushalt ist voll von Parallelschaltungen. Kompetenter Umgang mit diesen Parallelschaltungen – also sechs Waffeleisen nicht an einen Mehrfachstecker zu hängen – ist zentrales Ziel des Physikunterrichts. Daher ist es sinnvoll, nach einer Phase der Diagnose, Ausschärfung und Selbstreflexion mithilfe der Reihenschaltung die Behandlung der Parallelschaltung ans Ende der Unterrichtseinheit zu stellen. Damit schließt man mit dem, was zentral für den Alltag ist, oder leitet über in weiterführende Themenfelder, etwa Energieversorgung.

6. Erste Ergebnisse

Die hier vorgestellte Bikepark-Analogie wurde im Rahmen einer Bachelorarbeit an der TU Braunschweig untersucht [16]. Dabei wurden in Einzelinterviews Akzeptanzbefragungen

mit fünf Lernenden der Jahrgangsstufe 7/8 durchgeführt und im Anschluss ausgewertet. Die Teilnehmendenzahl ist zu gering, um stichhaltige Aussagen treffen zu können. Es lässt sich aber ein durchweg gutes Verständnis und eine sehr positive Einschätzung der Befragten feststellen. In weiteren

Untersuchungen soll festgestellt werden, inwieweit sich diese positiven Tendenzen bestätigen lassen.

Rainer Müller *Physikdidaktik TU Braunschweig*

Jan Mandler *Studienseminar für Gymnasien Darmstadt*

Literatur

- [1] Schecker H, Wilhelm T, Hopf M, Duit R (Hrsg.) (2018) Schülervorstellungen und Physikunterricht: ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. Springer Spektrum, Berlin
- [2] Haertel H (1987) A Qualitative Approach to Electricity. Xerox Cooperation, Palo Alto; online verfügbar unter: <https://eric.ed.gov/?q=haertel+electricity&id=ED287730>
- [3] Chabay RW, Sherwood BA (2015) Matter & interactions, Fourth edition. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ
- [4] Müller R (2012) Was ist Spannung? Der Begriff der Spannung und seine Verknüpfung zur potenziellen Energie. Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 61:5-16
- [5] Gleixner C (1998) Einleuchtende Elektrizitätslehre mit Potenzial. Dissertation, LMU München
- [6] Koller D, Waltner Ch (2008) Zur Einführung von Stromstärke und Spannung. Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 57:6-18
- [7] Waltner C, Späth S, Koller D, Wiesner H (2010) Einführung von Stromstärke und Spannung – Ein Unterrichtskonzept und Ergebnisse einer Vergleichsstudie. GDGP Jahrestagung Dresden 2009 182-184
- [8] Burde J-P (2018) Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells. Logos Verlag, Berlin
- [9] Bierwirth R (2014) Untersuchung von Lernproblemen zum elektrischen Potential. Masterarbeit, TU Braunschweig
- [10] Bruns SV (2016) Elektrizitätslehre mit dem Potentialbegriff. Masterarbeit, TU Braunschweig
- [11] Schrempf J (2016) Elektrizität mit dem Potentialbegriff. Masterarbeit, TU Braunschweig
- [12] Backhaus U, Braun T (2006) Der Begriff der elektrischen Spannung und seine Messung in Gegenwart von zeitlich veränderlichen Magnetfeldern. PhyDid A 5:45-53
- [13] Müller R (Hrsg.) (2020) Dorn Bader Physik NRW 7/8, Gymnasium, [Nordrhein-Westfalen, Schleswig-Holstein]. Westermann, Braunschweig
- [14] Müller R (Hrsg.) (2021) Dorn Bader Physik NRW 9/10, Gymnasium, [Nordrhein-Westfalen, Schleswig-Holstein]. Westermann, Braunschweig
- [15] Müller R (Hrsg.) (2021) Dorn Bader Physik SI Hessen, Gymnasium, [Hessen]. Westermann, Braunschweig
- [16] Helmstedt S (2021) Die Bikeparkanalogie im Potentialmodell des elektrischen Stromkreises. Bachelorarbeit, TU Braunschweig

Die Fahrradkette als durchgängige Vorstellungshilfe im Elektrizitätslehreunterricht der Sekundarstufe I

Michael Kahnt

John F. Kennedy wird der Ausspruch „Nichts ist vergleichbar mit der einfachen Freude, Rad zu fahren“ zugeschrieben. Kindern diese Freude zu ermöglichen und ihnen das Radfahren beizubringen, gilt hierzulande als erzieherische Selbstverständlichkeit. „Schau mal, ich kann schon alleine Radfahren“, hört man Kinder in der Regel ab fünf Jahren sagen. Die vielfältigen Erfahrungen mit dem Fahrrad könnten ein Grund dafür sein, dass Schüler*innen die Fahrradkette erfahrungsgemäß als Modell für den elektrischen Stromkreis akzeptieren und erfolgreich nutzen können. Das Modell ist vielen Lehrkräften grundsätzlich bekannt, in Schulbüchern ist es dagegen kaum zu finden – und wenn, dann nur sehr knapp und oft als „eins unter vielen“ [1, 2]. Zum systematischen Aufbau von Wissen oder gar Modellkompetenz wird es nicht genutzt, womit ein großes Potenzial der Fahrradkette verloren geht. Dieser Beitrag möchte aufzeigen, dass und wie die Fahrradkette gewinnbringend im Elektrizitätslehreunterricht eingesetzt werden kann.

1. Fachliche Hintergründe

1.1 Gegenüberstellung der physikalischen Größen

Beim Fahrradkettenmodell stehen die Pedalen für die Energiequelle, das Hinterrad für das elektrische Gerät und die Fahrradkette für die im Kreis laufenden Elektronen (Abb. 1a und 1b). In einer Variante des Modells wird nicht das Hinterrad mit einem elektrischen Gerät assoziiert, sondern ein zusätzlicher Bremsklotz (Abb. 1c); das hintere Ritzelrad fungiert dann lediglich als (widerstandslose) Umlenkrolle. Hier wird stets die erste Variante verwendet.

In Tabelle 1 werden die physikalischen Größen beim elektrischen Stromkreis und beim Fahrradkettenmodell gegenübergestellt. Der Spannung U entspricht die Trittkraft F (Kraft auf die Pedalen) und dem Elektronenstrom ein Kettenstrom v_k , der gleichbedeutend mit einem Kettentempo (z. B. in der Einheit cm/s) ist. Anschaulich bringt der Kettenstrom zum Ausdruck, „wieviel cm Kette in einer Sekunde“ an einer betrachteten Stelle vorbeikommen. Da ein Kettenglied eine feste Länge hat, kann der Kettenstrom anschaulich auch als Anzahl der

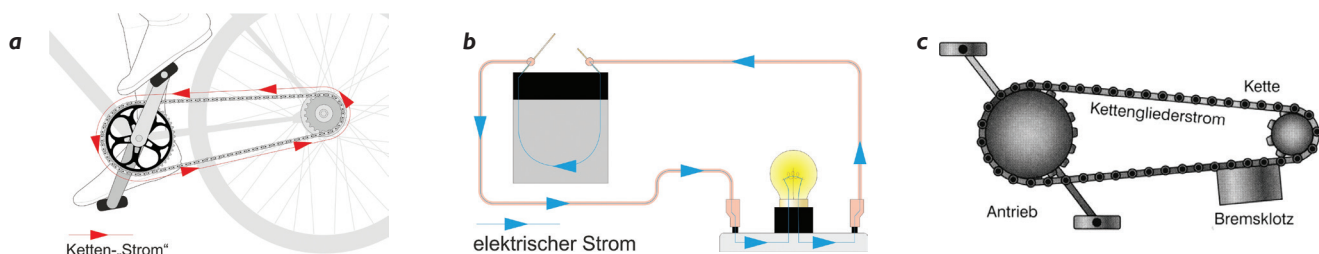


Abbildung 1: Die Fahrradkette als Modell für den elektrischen Stromkreis in verschiedenen Varianten. Die Variante in Bild 1a ist diejenige, die in diesem Beitrag verwendet wird.

Tabelle 1: Gegenüberstellung der physikalischen Größen beim elektrischen Stromkreis und Fahrradkettenmodell

	Elektronenstrom I Spannung U Energiestrom P el. Widerstand R	Kettenstrom v_k Trittkraft F Energiestrom P Bewegungswiderstand R_k
	Stromkreis	Fahrrad
Antrieb	Spannung U	Trittkraft F
Kreisstrom	Elektronenstrom I	Kettenstrom v_k
Hemmung	elektrischer Widerstand R	Bewegungswiderstand R_k
Energiestrom	$P = U \cdot I$	$P = k \cdot F \cdot v_k$
Widerstand quantitativ	$P = \frac{U}{I}$	$R_k = \frac{F}{v_k}$

Kettenglieder, die pro Sekunde an einer Stelle vorbeikommen, betrachtet werden.

Die Leistung P am Fahrrad, die auch als Energiestrom verstanden werden kann, der von der Pedale zum Hinterrad läuft, berechnet sich demnach zu $P = \frac{F_{\text{Kette}} \cdot \Delta s_{\text{Kette}}}{\Delta t} = k \cdot F \cdot v_K$, wobei die Kraft auf die Kette darstellt, die gemäß der Hebelrelation $F_{\text{Kette}} = \frac{r_{\text{Pedale}}}{r_{\text{Kettenblatt}}} \cdot F$ linear mit der Trittkraft F verknüpft ist. Die Gleichung $P = k \cdot F \cdot v$ entspricht also formal $P = U \cdot I$ und liefert ebenfalls die Einheit Watt. Damit wird deutlich, dass das Fahrradkettenmodell nicht nur oberflächliche Analogierelationen zum elektrischen Stromkreis aufweist, sondern auch strukturelle Ähnlichkeiten, die lernpsychologisch als bedeutsam eingeschätzt werden [3].

1.2 Zum analogen Bewegungswiderstand

Der zum elektrischen Widerstand analog definierte Bewegungswiderstand gemäß $R_K = \frac{F}{v_K}$ enthält eine Schwierigkeit: Betrachtet man ein Fahrrad, das mit konstantem Tempo fährt, so kompensiert die Trittkraft F (genauer genommen das Trittdrehmoment) gerade alle Kräfte (bzw. Drehmomente), die das Rad bremsen. Ein Beispiel für eine solche bremsende Kraft ist die Rollreibungskraft am Vorder- und Hinterrifen. Sie ist im Idealfall geschwindigkeitsunabhängig. Bei einem Fahrrad, bei dem man nur diesen bremsenden Einfluss betrachtet, ist ein Widerstand gemäß der obigen Gleichung nicht definierbar. Experimentell lässt sich dieser Fall mit einem Aufbau vergleichen, bei dem mithilfe einer Fahrradkette ein Massestück hochgehoben wird. Die notwendige Kraft zum Kurbeln ergibt sich aus der Gewichtskraft des Massestücks. Sie ist konstant und damit unabhängig vom (konstanten) Tempo, mit dem das Massestück nach oben befördert wird und mit dem sich die Kette bewegt.

Damit es einen definierbaren Widerstand gibt, muss die Trittkraft vom Tempo der Kette selbst abhängen; bei einem linearen Zusammenhang ergibt sich das Pendant zu einem ohmschen Widerstand. Bei einem echten Fahrrad ist die Luftreibungskraft tempoabhängig (allerdings nicht linear, sondern quadratisch), sie hat bei einer glatten Fahrbahn bei einem Tempo von etwa 15 km/h die Größenordnung der Rollreibungskraft [4].

Betrachtet man anstelle eines Fahrrads auf der Straße ein Ergometer (oder ein Fahrrad auf einer Trainingsrolle), so sieht die Sache etwas anders aus. Viele Ergometer werden zur Simulation verschiedener Steigungen oder Straßenbeläge induktiv gebremst. Das geschieht beispielsweise mithilfe eines Permanentmagneten, der Wirbelströme in einer von der Kette angetriebenen Metallscheibe induziert oder mithilfe eines Generators, der elektrisch belastet wird. In allen Fällen ist die bremsende Kraft vom Tempo der von der Fahrradkette angetriebenen Teile und somit vom Kettentempo selbst abhängig. Das lässt sich grob gesagt auf die Lorentzkraft zurückführen, die sich bremsend auf die freien Ladungsträger

in den sich im Magnetfeld bewegenden Metallteilen auswirkt und von deren Tempo abhängt.

1.3 Konsequenzen für die im Unterricht verwendeten Modelle

Um mit der Fahrradkettenanalogie im Unterricht auch experimentell zu arbeiten, ist ein gegenständliches Funktionsmodell notwendig. Aus den oben beschriebenen Gründen wird dafür allerdings keine Handkurbel benutzt, mit der über eine Fahrradkette ein Massestück angehoben wird. Stattdessen wird einerseits mit einer wirbelstromgebremsten Trainingsrolle gearbeitet (Abb. 2a), andererseits kommt ein handgetriebener Generator zum Einsatz („Dynamot“) [5], an den mit wenig Aufwand ein Kettenblatt montiert wird und dessen Bewegungswiderstand über einen angeschlossenen elektrischen Widerstand reguliert werden kann. Der Zusammenhang zwischen angeschlossenem elektrischem Widerstand und Bewegungswiderstand (je größer der angeschlossene elektrische Widerstand ist, desto geringer ist der Bewegungswiderstand) spielt für den Unterricht keine Rolle; der elektrische Widerstand fungiert lediglich als Black-Box-Regelmechanismus (Abb. 2b). Zwei klar zu unterscheidende Bewegungswiderstände werden im Unterricht durch zwei Straßenbeläge konzeptualisiert: „glatte Straße“ und „Feldweg“. Es wird immer wieder betont, dass die im Unterricht verwendeten Fahrradmodelle keine Gangschaltung haben. Diese würde eine Betrachtung erheblich erschweren.



Abbildung 2a: Trainingsrolle, deren Fahrwiderstand reguliert werden kann

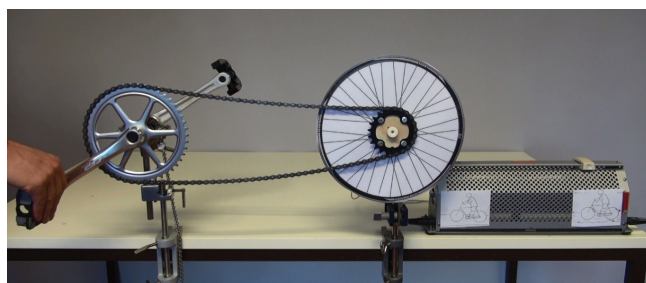


Abbildung 2b: Experimentiermodell mit einem umgebauten Dynamot-Generator, an dem der Bewegungswiderstand elektrisch reguliert werden kann.

1.4 Schalter, Reihen- und Parallelschaltung

Der „ganz normale“ Fahrrad Antrieb (Pedale, Kette und Hinterrad) steht für einen relativ einfachen Stromkreis aus Energiequelle und einem Energiewandler. Möchte man kompliziertere Stromkreise aus weiteren Bauteilen mit der Fahrradkettenanalogie darstellen, muss das Modell erweitert werden. Diese Erweiterung ist zunächst eine gedankliche Erweiterung, die aber z. T. auch experimentell umgesetzt werden kann. Klar ist, dass das erweiterte Funktionsmodell dann nicht mehr ein Fortbewegungsmittel darstellt, sondern auf einem abstrakteren Niveau die neu aufgebauten Stromkreise veranschaulicht.

Ein wichtiges Bauteil im elektrischen Stromkreis bildet der Schalter. Er kann bei der Fahrradkettenanalogie durch eine Klemme dargestellt werden, die die Kette stoppt. Der Kettenstrom kommt dabei überall gleichzeitig zum Stillstand, wie das auch beim Elektronenstrom der Fall ist. Eine Reihenschaltung im elektrischen Stromkreis kann in der Fahrradkettenanalogie mit einer Kette dargestellt werden, die über mehrere „Hinterräder“ läuft. Schalter und Reihenschaltung spielen in dem analogiebasierten Unterrichtskonzept bei der Behandlung des Potenzials eine wichtige Rolle, sie werden dort auch mit Abbildungen vorgestellt.

Eine Parallelschaltung ist mit der Fahrradkettenanalogie schwieriger darzustellen als die Reihenschaltung, da sich Ketten nicht aufteilen können. Dieses wird oft als größte Schwäche der Fahrradkettenanalogie ins Feld geführt. Denkbar ist es, für die Veranschaulichung elektrischer Parallelschaltungen mehrere unabhängig voneinander laufende Ketten zu nutzen, die jeweils mit der gleichen Kraft angetrieben werden. Dafür wurde der „Fahrradkäfer“ erfunden, der in einer Geogebra-Simulation [6] mit seinen Beinpaaren mehrere Ketten gleichzeitig antreiben kann (Abb. 3). Er bringt damit mehrere Hinterräder auf ihren Trainingsrollen gleichzeitig zum Laufen, deren Fahrwiderstände einzeln eingestellt werden können. Der Käfer zeichnet sich dadurch aus, dass er in allen Beinen „gleich stark“ ist, genauer gesagt, auf alle Pedalen die gleiche Kraft ausübt. Dieses entspricht der Tatsache, dass an allen Zweigen einer Parallelschaltung die gleiche Spannung anliegt und so die Elektronen in allen Zweigen gleich stark angetrieben werden. Die je nach elektrischem Widerstand in den Zweigen unterschiedlichen Elektronenströme werden beim Fahrradkäfer durch voneinander unabhängige Ketten dargestellt, die mit unterschiedlichem Tempo im Kreis laufen. Die Fahrradkäfer-Simulation wird bei der Behandlung der Knotenregel im Unterricht eingesetzt.

Fachlich gesehen sieht es zunächst so aus, als könnten mit dieser Art der Betrachtung nur reine Parallelschaltungen ins Fahrradkettenmodell übersetzt werden. Man kann jedoch zeigen, dass prinzipiell auch gemischte Schaltungen, z. B. aus einem Widerstand und einer zu diesem in Reihe geschalteten Parallelschaltung aus zwei Widerständen mit dem Prinzip unabhängig voneinander laufender Ketten dargestellt werden können. Über den in Reihe geschalteten Widerstand laufen

die beiden Ketten der Parallelzweige dann gemeinsam. Für diese Schaltungen wird jedoch im Unterricht keine Fahrradkettenanalogie genutzt.

Ich trete in alle Pedale mit derselben Kraft!

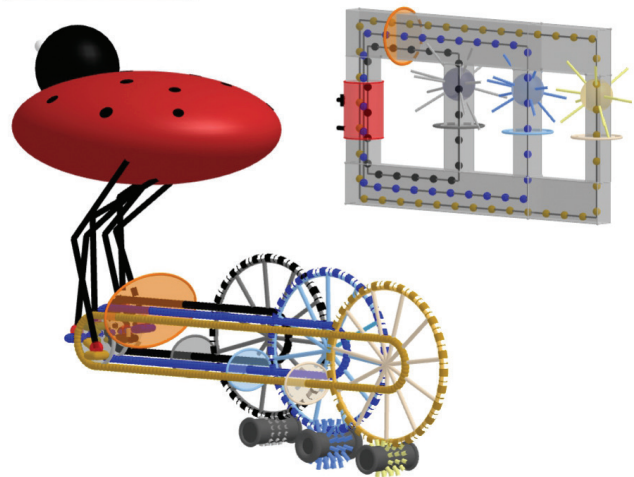


Abbildung 3: Der Fahrradkäfer in der Geogebra-Simulation zur Veranschaulichung einer Parallelschaltung. Elektrischer Stromkreis und Fahrradkettenmodell können gleichzeitig dargestellt werden. In der Steuerung (hier nicht gezeigt) können die Antriebsstärke und Fahrwiderstände einzeln verändert und die Ketten- bzw. Elektronenströme angezeigt werden.

2. Didaktische Aspekte

In der fachdidaktischen Literatur wird der positive Nutzen des Fahrradkettenmodells vor allem im Hinblick auf Lernendenvorstellungen zu Stromkreisen betont [7, 8]. Dieser lässt sich in folgenden Punkten zusammenfassen:

- Der Stromverbrauchsvorstellung kann wirksam begegnet werden, da beim Fahrradkettenmodell eine Energieübertragung auf das Hinterrad ohne Ketten-„verbrauch“ deutlich wird.
- Damit verbunden ist eine praktikable Differenzierung von Energiestrom und Ladungsträgerstrom.
- Der Systemcharakter von Stromkreisen kann veranschaulicht werden, demgemäß sich eine Änderung an einer Stelle im Stromkreis unmittelbar auf den gesamten Stromkreis auswirkt.

Die Analogie hat außerdem den Vorteil, dass die Lernenden mit den Vorgängen am Fahrrad vertraut sind, was eine wichtige Voraussetzung für das erfolgreiche Lernen mit einer Analogie darstellt [3]. Darüber hinaus können mit ihr die physikalischen Größen Spannung, Stromstärke und Widerstand praktisch gleichzeitig eingeführt und damit das Problem eines dominanten Strombegriffs [9] umgangen werden. Reinders Duit sieht dieses als besonders bedeutsam an: „Zu beachten ist, dass die drei Eckpfeiler der Elektrizitätslehre – Stromstärke, Spannung und Widerstand – nur als „Trio“ zu erlernen sind. Die Beziehungen zwischen den drei Begriffen sind wesentliche Bestandteile der Begriffe selbst.“

Die anschauliche Vorstellung – Stromfluss, Antrieb und Behinderung des Stromflusses – kann helfen, den Schülerinnen und Schülern die Zusammenhänge klar zu machen.“ [10].

Weiterhin bietet die Fahrradkette die Möglichkeit, den Potenzialbegriff für ein vertieftes Verständnis der Spannung einzuführen. Wie das konkret geschieht, wird im hinteren Teil des Beitrags bei der Beschreibung des Unterrichts gezeigt. Mehrere Untersuchungen deuten darauf hin, dass der Potenzialansatz für eine Differenzierung von Stromstärke und Spannung wirksam ist und bei der Begegnung von lokalem Denken unterstützt [11, 12, 13].

Die Ausführungen machen deutlich, dass es möglich ist, die Fahrradkette in der Elektrizitätslehre als durchgängige Vorstellungshilfe vom Anfangsunterricht bis weit in die Sekundarstufe I zu nutzen. Wie Abbildung 4 zeigt, werden die Unterrichtsinhalte stetig mithilfe der Analogie im Sinn eines Spiralcurriculums vertieft. Sie kann dabei auch zum Aufbau von Modellkompetenz genutzt werden, indem elektrische Probleme auf das Fahrradkettenmodell übertragen, mit diesem Hypothesen gebildet und diese dann geprüft werden. Damit kann die Fahrradkette zum Lernen über die „Natur der Naturwissenschaften“ beitragen.

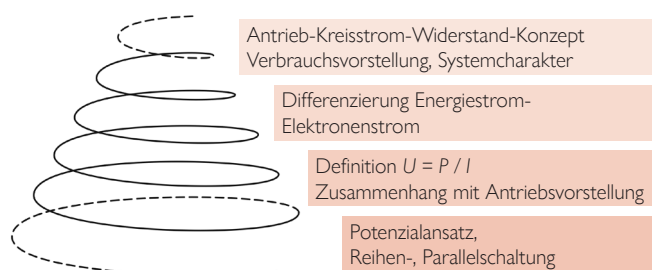


Abbildung 4: Unterrichtsinhalte, bei denen die Fahrradkettenanalogie in besonderem Maße genutzt wird, beginnend im Anfangsunterricht (oben).

3. Vorstellung einiger Elemente der Unterrichtseinheit

Der modellbasierte Unterricht zur Elektrizitätslehre mit der Fahrradkette ist für die curricularen Anforderungen des niedersächsischen Gymnasiums konzipiert worden, lässt sich für andere Länder und Schulformen aber problemlos adaptieren. Er besteht aus zehn Unterrichtseinheiten:

1. Das Fahrrad als Vorstellungshilfe
2. Antrieb, Strom, Widerstand
3. Energietransport durch Kreisläufe
4. Der elektrische Strom
5. Schaltskizzen
6. Die Spannung $U = P / I$
7. Das Potenzial
8. Die Knotenregel
9. Reihen- und Parallelschaltungen
10. Der Widerstand

Der Unterricht erfüllt neben inhaltsbezogene auch prozessbezogene Lernziele wie den praktischen Umgang mit Schaltplänen, die Bedienung von Messgeräten oder das Rechnen mit Formeln. Aus diesem Grund ist sie mit einem Umfang von ca. 20 Doppelstunden sehr gehaltvoll, kann aber entsprechend gekürzt werden. Im Folgenden werden nur beispielhaft Unterrichtsinhalte der Abschnitte 1, 2 und 7 zusammen mit didaktischen Anmerkungen dargestellt und mit Bildern von Experimenten oder Aufgaben illustriert. Die Fahrradkette spielt allerdings auch in anderen Abschnitten eine wichtige Rolle. Der Unterricht ist umfassend aufbereitet, die Unterrichtsmaterialien beinhalten Arbeitsblätter, Präsentationsfolien, Versuchsbeschreibungen sowie vollständige Stundenbeschreibungen und können von der Internetseite https://www.physikdidaktik.uni-osnabrueck.de/elehre_fahrradkette kostenfrei heruntergeladen werden. Die Experimente werden mit schulüblichen Versuchen oder Low-cost-Material durchgeführt. Viele der Experimente, insbesondere diejenigen, die hier vorgestellt werden, gibt es auch als Videofilm.

3.1 Legitimierung und Vorwissen

Der modellbasierte Unterricht mit der Fahrradkette ist inhaltlich an einigen Stellen an das Elektrizitätslehrekonzept von *Muckenfuß* angelehnt [14], beispielsweise in den Abschnitten 3 und 6. Vor allem aber fühlt er sich dessen Legitimierungsgedanken verpflichtet, der darin besteht, den Inhalt des Elektrizitätslehreunterrichts daraufhin auszurichten, elektrische Anlagen als Systeme zur Energieübertragung verständlich zu machen. Aus diesem Grund spielt in dem modellbasierten Unterricht die physikalische Größe „ P “ eine wichtige Rolle. Sie ist traditionell als Leistung bekannt, wird aber bei *Muckenfuß* und auch in dem hier vorgestellten Konzept als „Energiestrom“, also übertragene Energie pro Zeit, konzeptualisiert. Der Energiestrom P wird für den hier dargestellten Unterricht als bekannt vorausgesetzt, ebenso elektrostatische Grundlagen wie die Anziehung und Abstoßung geladener Gegenstände sowie ein einfaches Atommodell, das die Beweglichkeit negativer Ladungsträger (Elektronen) beinhaltet.

3.2 Unterrichtseinheit 1: Das Fahrrad als Vorstellungshilfe

In der ersten Unterrichtseinheit ordnen die Schüler*innen Bestandteile des Fahrrads (Pedale, Kette, Hinterrad) Bestandteilen eines einfachen elektrischen Stromkreises zu und zeichnen geschlossene Stromwege in Bilder von Experimenten ein. Erfahrungsgemäß haben viele die Vorstellung, der Strom fließe nur von einem Pol der Energiequelle zum anderen und nicht etwa durch diese hindurch. Die Fahrradkettenanalogie veranschaulicht diesen Aspekt besonders gut, da die Kette um das Pedalkettenblatt herumgeführt und dabei angetrieben wird. Um diese Vorstellung auf den elektrischen Stromkreis zu übertragen, wird ein auf einer Kunststoffhalterung (aus einem 3D-Drucker) angebrachter Stromkreis verwendet, der

durch eine Stromzange hindurchgeführt werden kann (Abb. 5). Diese zeigt bei geöffnetem Stromkreis „Null“ an und bei geschlossenem einen bestimmten Wert, der sich auch beim Überschreiten der Lampe und der Batterie nicht ändert. Der Versuch ist angelehnt an einen von Wiesner vorgeschlagenen Stromkreis mit einer Kompassnadel [15]. Auch wenn die Lernenden bisher weder etwas über die Einheit der Anzeige noch die Funktionsweise der Zange wissen, wird zumindest plausibel, dass offenbar die Stromzange etwas registriert, was mit der umlaufenden Kette vergleichbar ist.

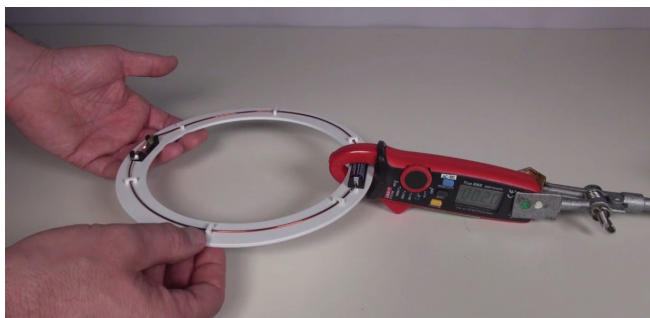


Abbildung 5: Ein einfacher Stromkreis mit einer AAA-Batterie und einer Glühlampe zur Veranschaulichung von $I = \text{konstant}$ mithilfe einer Stromzange

3.3 Unterrichtseinheit 2: Antrieb, Strom, Widerstand

In dieser Unterrichtseinheit wird der Gedanke des hemmenden Einflusses elektrischer Geräte auf den elektrischen Strom etabliert. Das geschieht mithilfe eines Kurzschlusses. Dazu wird ein kurzschlussfester Akku benutzt, an diesen eine Lampe angeschlossen und mit einer Stromzange der Stromwert abgelesen. Anschließend wird der Akku kurzgeschlossen. Nun zeigt die Stromzange einen vielfach höheren Wert. Dieses Experiment kann durch eine Simulation ergänzt werden (Abb. 6). Fragt man nun die Lernenden, welche Rolle die Lampe in dem Stromkreis spielt, so drücken viele es so aus: „Sie bremst den Strom“. Damit ist die Kernidee des Widerstands erschlossen. Einige sind sogar in der Lage, den Kurzschlussfall

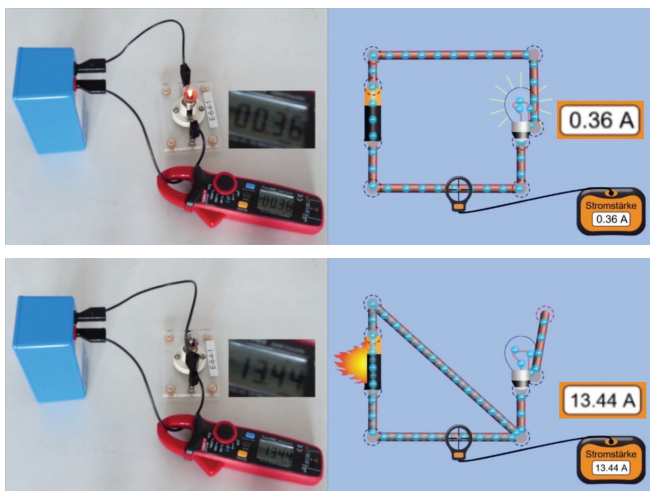


Abbildung 6: Ein Kurzschluss (unten) wird zur Verdeutlichung des hemmenden Einflusses elektrischer Geräte (oben) genutzt.

auf das Fahrrad zu übertragen: Diesen gibt es dann, wenn die Kette am Hinterrad abspringt und sich kurzzeitig sehr schnell bewegt, bevor man aufhört, in die Pedale zu treten. Damit sind die drei Größen Antrieb, Kreisstrom und Widerstand qualitativ eingeführt. Ihnen werden die Fachbegriffe Spannung, Elektronenstromstärke und elektrischer Widerstand für den elektrischen Stromkreis mit den zugehörigen Einheiten zugeordnet (Abb. 7).

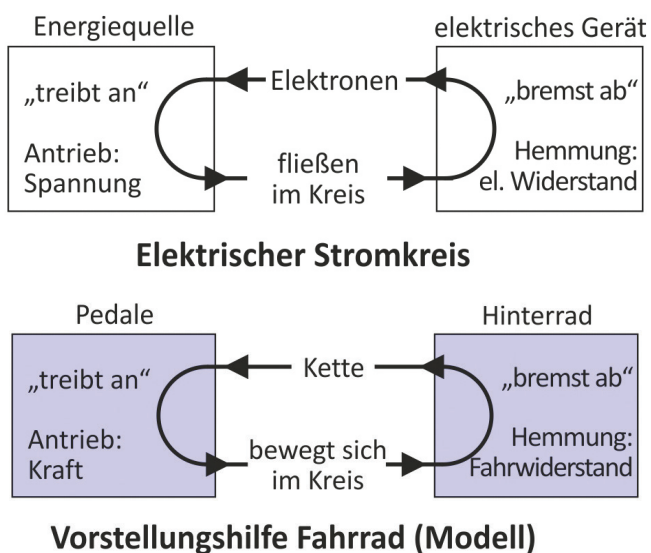


Abbildung 7: Die Grundgrößen der Elektrizitätslehre werden praktisch gleichzeitig sehr früh durch die Fahrradkettenanalogie qualitativ eingeführt.

Im Folgenden geht es darum, den Zusammenhang der drei Größen Antrieb, Kreisstrom und Widerstand zu erarbeiten. Als Einstieg dienen zwei Stromkreise mit unterschiedlichen Batteriespannungen, aber gleichen Elektronenströmen (Abb. 8a). Die Lernenden sollen dann Vermutungen über die Widerstände der beiden Lampen anstellen. Es wird deutlich, dass in dem Stromkreis mit dem stärkeren Antrieb auch ein höherer Widerstand vorliegen muss, damit der gleiche Kreisstrom entsteht. Die Experimente werden dann in einem Erklärvideo mit zwei Fahrrädern verglichen (Abb. 8b), die mit gleichem

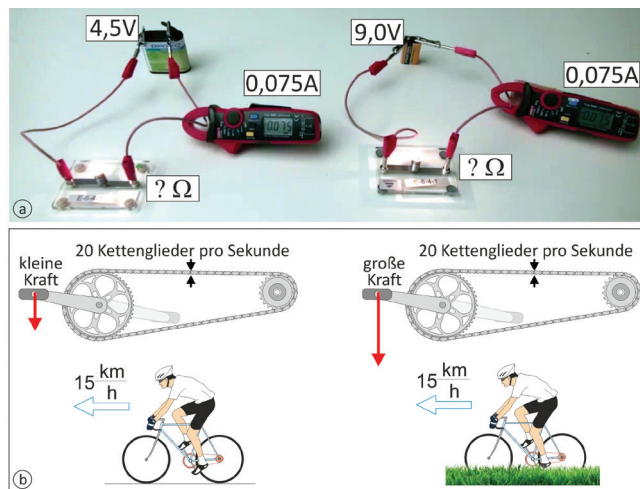


Abbildung 8: Vergleich zweier Stromkreise mit unterschiedlicher Spannung aber gleichem Elektronenstrom und der Vergleich mit einem Fahrrad

Tempo (gleiches Kettentempo) auf zwei unterschiedlichen Straßenbelägen fahren und dafür einen unterschiedlich starken Antrieb benötigen. Um diese Zusammenhänge zu vertiefen, füllen die Schüler*innen anschließend eine Tabelle aus, in der jede Zeile für den Vergleich zweier Situationen (wie zuvor besprochen) steht (Tab. 2). Die Tabelle lehnt sich an einen Vorschlag im IPN-Curriculum an [16].

Tabelle 2: Tabelle zum Zusammenhang von Antrieb, Widerstand und Kreisstrom. Die Symbole bedeuten: „nimmt zu“, „nimmt ab“, „bleibt gleich“, „ist nicht mehr vorhanden“. Die blauen Symbole stellen die von den Lernenden vorzunehmenden Ergänzungen dar. Die erste Zeile bezieht sich auf die in Abb. 8 gezeigten Situationen.

	Antrieb	Widerstand	Kreisstrom
1.	↑	↑	=
2.	=	↑	↓
3.	=	↓	↑
4.	↑	=	↑
5.	=	=	=
6.	↓	=	↓
7.	↓	↓	=
8.	0	=	0

Den Abschluss zu diesem Abschnitt bildet ein Lernen an acht Experimentierstationen, an denen u. a. elektrische Probleme aufgeworfen werden, die durch eine Hypothesenbildung unter Rückgriff auf das Fahrradkettenmodell gelöst werden. Ein Beispiel ist in Abbildung 9 gezeigt.

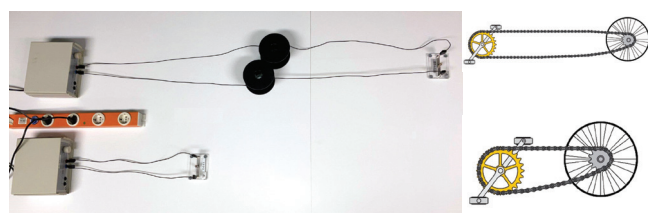


Abbildung 9: Station 3 des Stationenlernens, an der die Lernenden zwei Stromkreise mit identischen Energiequellen und Lampen, aber unterschiedlich langen Verbindungskabeln vorfinden. Sie sollen mithilfe des Fahrradkettenmodells zu einer Hypothese gelangen, ob nach dem gleichzeitigen Einschalten der beiden Energiequellen eine der Lampen zuerst angeht. Der obere Stromkreis hat zwei Zuleitungen mit jeweils 25 m Länge. Natürlich gehen beide Lampen gleichzeitig an.

3.4 Unterrichtseinheit 7: Das Potenzial mit der Fahrradkette

Den Unterrichtskonzepten, die bisher mit dem Potenzial arbeiten, ist gemeinsam, dass elektrische Schaltungen mithilfe von farbigen Markierungen und Regeln für das Potenzial (und damit auch für die Markierungen) analysiert werden. Auch in dem hier vorgeschlagenen Konzept ist das so. Zusätzlich werden die Potenziale mithilfe des Fahrradkettenmodells veranschaulicht. Dazu wird eine lange Fahrradkette verwendet, die absichtlich oben und unten durchhängt. Es kann Folgendes festgestellt werden:

- Wird *keine* Kraft auf die Pedale ausgeübt, gibt es also *keinen* Antrieb, so hängt die Kette oben und unten gleich stark durch (Abb. 10a)
- Gibt es einen Antrieb, so gibt es einen Unterschied zwischen Straffheit in der Kette oben und Lockerheit unten.
- Je stärker die Kette angetrieben wird, je größer die Kraft ist, mit der in die Pedale getreten wird, desto größer ist der Unterschied zwischen Straffheit und Lockerheit (Abb. 10b).

Absichtlich wird nicht von einer „Spannung“ der Kette, sondern von „Straffheit“ und „Lockerheit“ gesprochen, um eine Konfusion mit dem elektrischen Spannungsbegriff zu vermeiden. Analog zu den Verhältnissen bei der Fahrradkette gilt für den elektrischen Stromkreis: Je größer der Antrieb der Elektronen ist, desto größer ist der Unterschied zwischen hohem und geringem Potenzial (Abb. 10c). Um sprachlich eine noch engere Verbindung zwischen dem Zustand der Fahrradkette und dem Potenzial zu schaffen, wäre es grundsätzlich auch denkbar, anstelle von „Straffheit“ und „Lockerheit“ von „hoher“ und „geringer Straffheit“ zu sprechen, analog zu „hohem und geringem Potenzial“.

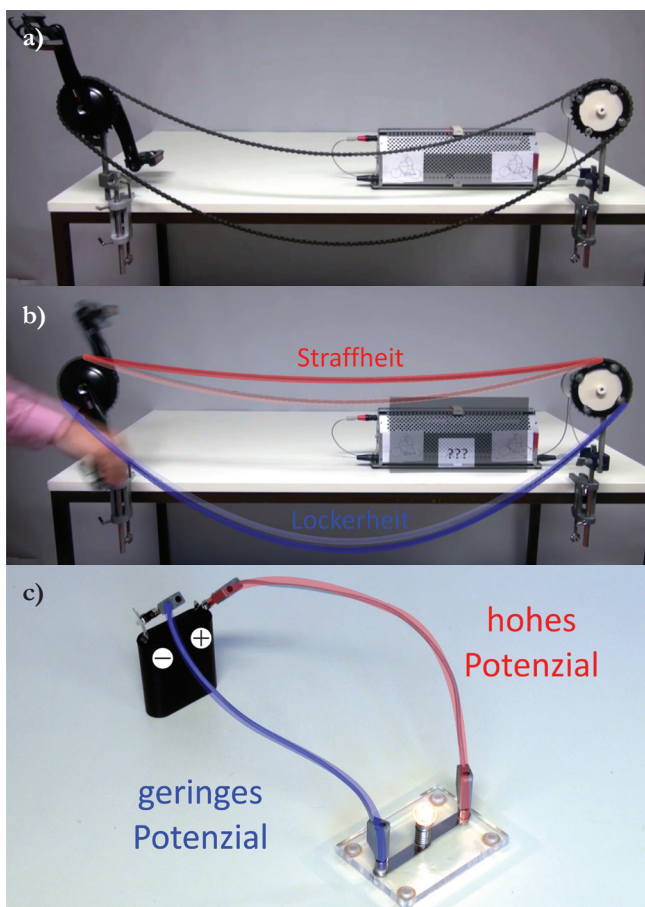


Abbildung 10: Das Bild a) zeigt die Fahrradkette ohne Antrieb. Es ist kein Unterschied in der Straffheit der Kette oben und unten zu sehen. Bild b) stellt eine Überlagerung von zwei Bildern da. Die schwache rote und blaue Markierung zeigt die Kette bei einer geringen Kraft auf die Pedalen, die intensiv gefärbten Markierungen bei einer hohen Kraft. Das Kettentempo wird dabei (durch die Erhöhung des Bewegungswiderstands) konstant gelassen. Bild c) zeigt die Übertragung auf einen elektrischen Stromkreis.

Die Fahrradkette veranschaulicht besonders gut den Unterschied zwischen Potenzial und Elektronenstrom. Das Potenzial ist keine den Elektronen anhaftende oder von ihnen mitgeführte Wesenseigenschaft, sondern die lokale Eigenschaft eines Abschnitts der Schaltung. Die Fahrradkette macht dieses dadurch deutlich, dass es Straffheit und Lockerheit in bestimmten Abschnitten gibt und die Kettenglieder diese „Gebiete“ einfach durchlaufen, wie auch die Elektronen die unterschiedlichen Potenzialgebiete durchlaufen. Insbesondere hilft die Fahrradkette, einen konstanten Elektronenstrom an verschiedenen Stellen des Stromkreises trotz unterschiedlicher Potenzialzustände konsistent zu denken.

Mit Recht kann man fragen, ob es einen Straffheitsunterschied in den Kettenabschnitten auch dann gibt, wenn die Kette nicht durchhängt. Um diese Frage zu beantworten, wurde eine Kette angefertigt, die über Sensoren zwischen den Kettengliedern verfügt, welche die Straffheit messen und über farbige LEDs anzeigen können (rot: straff, grün: locker). Die Kette wird vertikal aufgehängt, um ein Durchhängen zu vermeiden. Auch hier werden beim Kurbeln Straffheit auf der einen und Lockerheit auf der anderen Seite sichtbar (Abb. 11). Die Lernenden beurteilen diese Beobachtung als sehr bedeutsam.

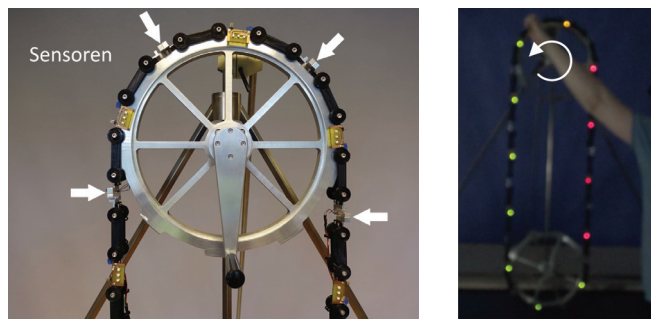


Abbildung 11: Vertikal aufgehängte Kette mit Sensoren, die die Straffheit über das Leuchten von farbigen LEDs anzeigen. Die Kamera wurde für das rechte Bild absichtlich defokussiert, um das Leuchten besser sichtbar zu machen.

Die Potenziale und Spannungen in Schaltungen mit einem geöffneten Schalter oder in einer Reihenschaltung mit zwei Lampen können mit der Fahrradkette ebenfalls verdeutlicht und im Unterricht zunächst hypothetisch für elektrische Schaltungen formuliert und dann experimentell nachgewiesen werden. Die Fahrradkette verdeutlicht die Potenzialverhältnisse in den Schaltungen durch ihre unterschiedlichen Straffheiten (Abb. 12 + 13).

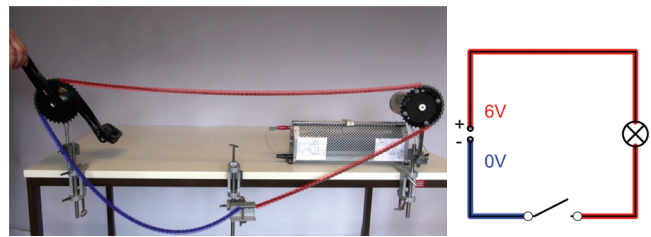


Abbildung 12: Straffheit und Lockerheit an der Fahrradkette mit einer Klemme und analogen Potenziale im Stromkreis mit geöffnetem Schalter

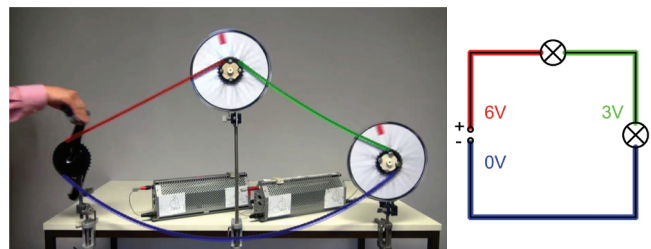


Abbildung 13: Straffheit und Lockerheit an der Fahrradkette mit zwei Rädern und analogen Potenziale im Stromkreis mit zwei Lampen. Das Zwischenpotenzial ist bei der Kette als Abschnitt mit einer mittleren Straffheit erkennbar, die zwischen dem sehr straffen und lockerem Abschnitt liegt.

4. Unterrichtserfahrungen

Der Unterricht mit der Fahrradkettenanalogie wurde in den Schuljahren 2019/20 und 2020/21 in insgesamt sieben Klassen der neunten Jahrgangsstufe eines niedersächsischen Gymnasiums durchgeführt und das Feedback der Lehrkräfte zur Verbesserung des Unterrichtsmaterials genutzt. Als schwierig wird erachtet, das umfangreiche Unterrichtsmaterial mit der knappen Unterrichtszeit in Einklang zu bringen. Hier sollte überlegt werden, an welchen Stellen Zeit eingespart werden kann, ohne die Stärken der Analogiebildung preiszugeben. Die Lehrkräfte berichteten von einer durchgehend starken sachbezogenen Beteiligung der Schüler*innen, insbesondere auch der schwächeren. Die qualitative Argumentation mithilfe der Begriffe Antrieb, Strom und Widerstand und der diesbezügliche Rückgriff auf die Fahrradkette werden als besonders wertvoll eingeschätzt. Das Gleiche gilt für die Veranschaulichung der Potenziale, vor allem für den offenen Schalter. Diese Beobachtungen stimmen optimistisch und laden dazu ein, den Unterricht mit der Fahrradkette einmal selbst auszuprobieren und ihr damit aus dem Schattendasein zu verhelfen.

Michael Kahnt *Universität Osnabrück,*
Arbeitsgruppe der Physikdidaktik

Literatur

- [1] Bredthauer, W. et al.: Impulse Physik 7/8. Niedersachsen. Stuttgart: Klett-Verlag, 2016, S. 31.
- [2] Bengelsdorf, S. et al.: Universum Physik/Chemie. Band 5/6 Gymnasium Niedersachsen G9. Berlin: Cornelsen, Verlag, 2015, S. 37.
- [3] Duit, R.; Glynn, S.: Analogien – Brücken zum Verständnis. In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik 6 (1995), Nr. 27, S.4-10.
- [4] Gressmann, M.: Fahrradphysik und Biomechanik. Bielefeld: Delius-Klasing-Verlag, 2017, S. 65.

- [5] Handgetriebener Generator „Dynamot“, Conatex Lernsysteme (https://www.conatex.com/catalog/physik_lehrmittel/elektrik/motoren_generatoren/product-handgetriebener_generator_dynamot/sku-M2776, Abruf 27.01.2022)
- [6] Fredeweß, L.: Entwicklung und Evaluation einer Simulation zur Darstellung von Parallelschaltungen im Fahrradkettenmodell. Masterarbeit, Universität Osnabrück, 2021.
- [7] Härtel, H.: Der alles andere als einfache elektrische Stromkreis. In: Praxis der Naturwissenschaften. Physik in der Schule 61 (2012), Nr. 5, S. 18.
- [8] Burde, J.-P.; Wilhelm, T.: Modelle in der Elektrizitätslehre. In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik 28 (2017), Nr. 157, S. 11f.
- [9] Schecker, H.; Wilhelm, T.; Hopf, M.; Duit, R. (Hrsg.): Schülervorstellungen und Physikunterricht. Berlin: Springer-Verlag, 2018, S. 119.
- [10] Duit, R.: Elektrizitätslehre aus Schülersicht. In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik 28 (2017), Nr. 157, S. 6.
- [11] Gleixner, C.: Einleuchtende Elektrizitätslehre. Dissertation, LMU München (1998).
- [12] Koller, D.; Waltner, C.; Wiesner, H.: Zur Einführung von Strom und Spannung. In: Praxis der Naturwissenschaften. Physik in der Schule 57 (2008), Nr. 6, S. 6-18.
- [13] Burde, J.-P.: Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells. Berlin: Logos-Verlag, 2018.
- [14] Muckenfuß, H.; Walz, A.: Neue Wege im Elektrikunterricht. Köln: Aulis Verlag Deubner, 1997 (2. Auflage).
- [15] Waltner, C.; Wiesner, H.: Zur Demonstration von „ $I=\text{konstant}$ “. In: Praxis der Naturwissenschaften. Physik in der Schule 58 (2009), Nr. 3, S. 36-38.
- [16] Härtel, H.: IPN Curriculum Physik. Unterrichtseinheiten für das 7. und 8. Schuljahr. Didaktische Anleitung. Kiel, 1981, S. 62.

Mehr Spannung beim Thema Stromkreise!

Jan-Philipp Burde, Thomas Wilhelm, Thomas Sean Weatherby, Thomas Schubatzky, Claudia Haagen-Schützenhöfer, Martin Hopf, Lana Ivanjek, Liza Dopatka und Verena Spatz

1. Der Status Quo aus didaktischer Sicht

Der sogenannte „einfache Stromkreis“ hat sich in der Sekundarstufe I als ein alles andere als einfach zu verstehender Lerngegenstand erwiesen. So zeigt sich in Studien immer wieder, dass viele Schüler*innen auch nach dem Unterricht noch große Verständnisschwierigkeiten mit grundlegenden Konzepten und zentralen Gesetzmäßigkeiten wie dem Zusammenhang zwischen Stromstärke, Spannung und Widerstand haben [1-3]. Insbesondere mangelt es vielen Schüler*innen an einem qualitativen Verständnis der elektrischen Spannung, die oftmals nicht als Differenzgröße und Ursache des elektrischen Stroms erkannt, sondern als Eigenschaft desselben verstanden wird. Die fehlende konzeptionelle Differenzierung zwischen Stromstärke und Spannung spiegelt sich häufig auch in der Verwendung des Begriffes „Stromspannung“ durch die Lernenden wider. Aufgrund des fehlenden Verständnisses für die Spannung und ihrer Bedeutung in Stromkreisen neigen diese dann dazu, Stromkreise ausschließlich auf Basis des Strom- und Widerstandskonzepts zu analysieren, wonach der Strom analog einem Brennstoff wie Öl von einem Pol der Batterie ausgehend den Stromkreis Bauteil für Bauteil durchströmt, sich an Verzweigungen entscheiden muss, wie er sich aufteilt, und zumindest teilweise in Lämpchen verbraucht wird. Das Denken vieler Lernender über elektrische Stromkreise ist also von einem „übermächtigen Strombegriff“ geprägt, der „nicht durch einen unabhängigen Spannungsbegriff ergänzt wird“ [4], was mit einer Vielzahl sogenannter Lernenden- bzw. Fehlvorstellungen einhergeht. Bedenkt man, dass kaum eine Entdeckung unser heutiges Leben so nachhaltig prägt wie die Elektrizität, ist es aus didaktischer Sicht sehr ernüchternd, dass es trotz intensiver Bemühungen seitens der Lehrkräfte im Unterricht oftmals nicht gelingt, hier ein grundlegendes Verständnis zu vermitteln. Die Ursachen für diese Verständnisschwierigkeiten sind vielfältig und reichen von der prinzipiellen Unanschaulichkeit der zugrundeliegenden Größen und Prozesse über eine verfrühte Mathematisierung bis hin zu den verwendeten Modellvorstellungen sowie der Abfolge und Akzentuierung der behandelten Inhalte. So dominiert der Strombegriff den Physikunterricht der Sekundarstufe I oftmals zu Lasten einer adäquaten Auseinandersetzung mit dem Potenzial- und Spannungsbegriff [5]. Wird die elektrische Spannung erst nach der elektrischen Stromstärke eingeführt, kann dies bei Schüler*innen die Entstehung des „übermächtigen Strombegriffs“ fördern und dazu führen, dass die Lernenden die wichtige kausale Beziehung zwischen Spannung und Stromstärke nicht erkennen. Vor diesem Hintergrund wurde schon in den 1980er Jahren gefordert, die Spannung als Potenzialdifferenz noch vor dem elektrischen Strom einzuführen und dabei insbesondere die wichtige Ursache-Wirkungs-Beziehung zwischen Spannung

und Stromstärke zum Unterrichtsgegenstand zu machen [6]. Aus didaktischer Sicht erscheint zudem eine verfrühte Mathematisierung der Zusammenhänge in elektrischen Stromkreisen nicht nur deshalb problematisch, weil dadurch ein qualitatives Verständnis nicht ersetzt werden kann. Vielmehr treten bei der Formel $U = R \cdot I$ Spannung und Stromstärke definitionsgemäß immer nur gemeinsam auf, wodurch die Fehlvorstellung nahegelegt bzw. gefestigt werden dürfte, dass die Spannung eine Eigenschaft des elektrischen Stroms sei [7]. Ein weiterer Kritikpunkt betrifft die im Unterricht häufig verwendete Modellvorstellung des ebenen, geschlossenen Wasserkreislaufs: Zwar ist dieser aus physikalischer Sicht sehr weittragend, jedoch aufgrund mangelnder Erfahrungen der Kinder mit Wasserdruck in ebenen, geschlossenen Rohrsystemen mit erheblichen Verständnisschwierigkeiten verbunden [8, 9].

2. Ein Unterrichtskonzept mit passender Simulation

Vor diesem Hintergrund wurden ein Unterrichtskonzept sowie eine dazu passende Simulation entwickelt, um es Lehrkräften zu ermöglichen, elektrische Stromkreise mit „mehr Spannung“ zu unterrichten. Die Idee des Unterrichtskonzepts besteht dabei darin, den Schüler*innen ausgehend von ihren Alltagserfahrungen insbesondere mit Luftdruck ein Verständnis für die Spannung als Differenzgröße sowie den Zusammenhang zwischen Stromstärke, Spannung und Widerstand entsprechend $I = \frac{U}{R}$ in einfachen elektrischen Stromkreisen zu vermitteln. Bei der hier vorgestellten Version handelt es sich um eine Weiterentwicklung eines bereits im Jahr 2015 in der Plus Lucis vorgestellten Unterrichtskonzepts [10, 11], das inzwischen kostenfrei im Schulbuchformat inklusive diverser Zusatzmaterialien online verfügbar ist [12]. Um die Diskussion von Potenzialunterschieden mittels Farbkodierung im Präsenz- sowie Distanzunterricht zu erleichtern, steht zudem eine zum hier vorgestellten Unterrichtskonzept passende 2D-Simulation elektrischer Stromkreise zur Verfügung [13, 14]. Die kostenfreie HTML5-JavaScript-Simulation ist (betriebssystemunabhängig) in jedem modernen Browser lauffähig und bietet die Möglichkeit, sich Stromstärke und Potenzialunterschiede in praktisch allen in der Sekundarstufe I vorkommenden Stromkreisen unkompliziert anzeigen zu lassen. Dabei unterstützt die Simulation sowohl die klassische Farbkodierung (Pluspol: rot; Minuspol: blau) als auch die im vorliegenden Unterrichtskonzept genutzte Farbkodierung (Pluspol: blau; Minuspol: rot) sowie die physikalische und die technische Stromrichtung. Im Folgenden werden die Kernideen des Unterrichtskonzepts beschrieben sowie Einsatzszenarien der Simulation aufgezeigt.

3. Die Kernideen des Unterrichtskonzepts

Der Einstieg in die Unterrichtssequenz „Eine Einführung in die Elektrizitätslehre mit Potenzial“ erfolgt über eine Betrachtung des elektrischen Stromkreises als Energieübertragungssystem, da dies – neben der Informationsübertragung – eine zentrale Anwendung von Stromkreisen darstellt. In Abgrenzung zu anderen den Kindern bekannten Energieübertragungssystemen wie z. B. Ölpipelines, bei denen der Energieträger „verbraucht“ wird, wird der elektrische Stromkreis hier mit einer Fahrradkette verglichen. Auf diese Weise soll von Beginn an nicht nur der Stromverbrauchsvorstellung entgegengewirkt werden, sondern auch aufgezeigt werden, dass der Stromkreis ein zusammenhängendes System darstellt, bei dem Änderungen an einer Stelle sich sofort auf das gesamte System auswirken [15]. Indem experimentell aufgezeigt wird, dass die Helligkeit zweier identischer Lämpchen davon abhängt, ob sie in Reihe oder parallel geschaltet werden, wird anschließend die Notwendigkeit einer erklärungs-mächtigeren Modellvorstellung motiviert und die im weiteren Unterrichtskonzept genutzte Luftdruckanalogie eingeführt. Anknüpfend an die Alltagserfahrung, dass Luft z. B. bei einem Fahrradreifen oder einer Luftmatratze immer von Bereichen höheren zu Bereichen niedrigeren Drucks strömt, wird erarbeitet, dass eine (Luft-)Strömung immer eine Folge von (Luft-)Druckunterschieden ist (siehe Abb. 1). Hierzu wird bewusst nicht auf den physikalischen, skalaren Druckbegriff zurückgegriffen, sondern gezielt an das intuitive Luftdruckverständnis der Kinder im Sinne von „komprimierte Luft steht unter Druck, drückt gegen die Wände und hat das Bestreben sich auszudehnen“ angeknüpft. Zur Vorbereitung eines qualitativen Widerstandsbegriffs wird an dieser Stelle auch erarbeitet, dass ein Stück Stoff (z. B. ein Tuch oder T-Shirt) eine Luftströmung umso stärker hemmt, je dichter bzw. dicker es ist, und dieser Zusammenhang in einem anschaulichen Diagramm festgehalten (siehe Abb. 2).

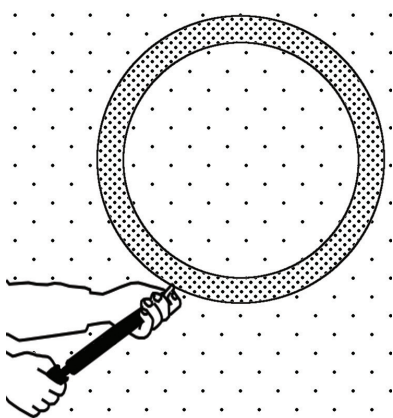


Abbildung 1: Ein Luftdruckunterschied sorgt für eine Luftströmung

In einem nächsten Schritt wird das auf Basis der Alltagserfahrungen der Kinder erarbeitete Verständnis dann auf den zunächst bewusst noch nicht geschlossenen elektrischen Stromkreis übertragen und in Analogie zu den Luftdruckbeispielen argumentiert, dass die Batterie einen „elektrischen Überdruck“ in ihrem mit dem Minuspol verbundenen Leiterstück und einen „elektrischen Unterdruck“

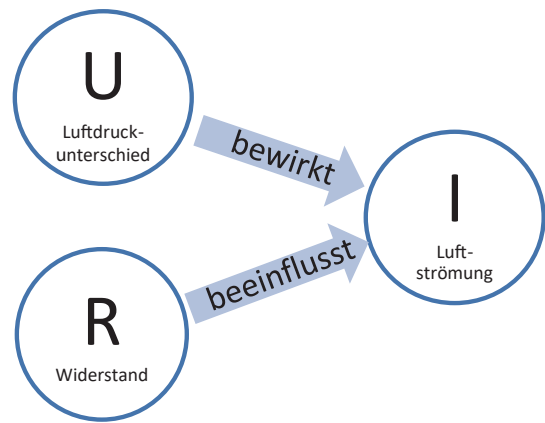


Abbildung 2: Qualitativer Wirkzusammenhang bei den Luftdruckbeispielen

in ihrem mit dem Pluspol verbundenen Leiterstück erzeugt. Leiterabschnitte mit einem hohen elektrischen Druck werden dabei ähnlich der farblichen Darstellung hoher Temperaturen (z. B. Thermometer, Wetterkarten oder Wasserhähnen) mit rot markiert und Leiterabschnitte mit einem niedrigen elektrischen Druck mit blau. An diversen offenen Stromkreisen wird anschließend nicht nur die elektrische Spannung entsprechend ihres Formelzeichens U als „Unterschied des elektrischen Drucks“ eingeführt, sondern auch erarbeitet, wie diese mit Hilfe von Voltmetern gemessen werden kann (siehe Abb. 3).

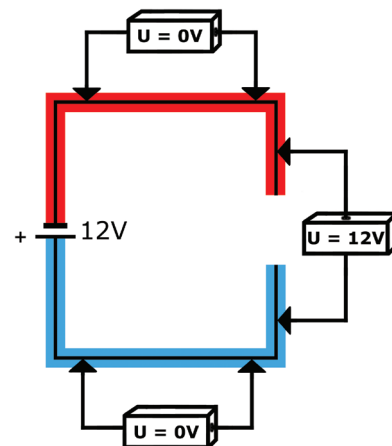


Abbildung 3: Messung des „elektrischen Druckunterschieds“ mittels Voltmeter in einem offenen Stromkreis mit farblicher Kodierung des elektrischen Potenzials. Rot steht für einen „elektrischen Überdruck“, blau für einen „elektrischen Unterdruck“.

Erst nachdem die elektrische Spannung U (anstelle des elektrischen Stroms) so bei den Schüler*innen als Primärkonzept verankert wurde, werden in einem nächsten Schritt geschlossene Stromkreise betrachtet. In Analogie zu den Luftdruckbeispielen wird dabei argumentiert, dass der an einem Lämpchen bzw. Widerstand anliegende elektrische Druckunterschied genauso eine Elektronenströmung verursacht, wie ein Luftdruckunterschied zu einer Luftströmung führt (siehe Abb. 4). Entsprechend des Formelzeichens I wird die elektrische Stromstärke zunächst als „Intensität der Elektronenströmung“ bezeichnet, u. a. um den Strömungscharakter deutlich zu machen und einer Fehlinterpretation der physikalischen Größe

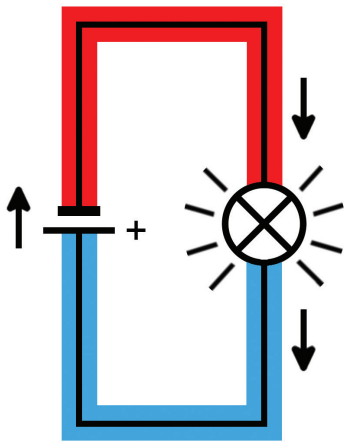


Abbildung 4: Ein elektrischer Druckunterschied bewirkt eine Elektronenströmung.

als Eigenschaft („Stärke“) vorzubeugen (siehe Abb. 5). Durch die Einführung einer mikroskopischen Modellvorstellung des elektrischen Widerstands auf Basis des Drude-Modells bekommen die Schüler*innen zudem eine anschauliche Vorstellung, wie die unterschiedliche Leitfähigkeit von Leitern, Nicht-Leitern und Widerständen zu erklären ist. In Abgrenzung zum Bauelement Widerstand wird ferner der Widerstandswert R als mathematisches Maß dafür eingeführt, wie groß der elektrische Druckunterschied sein muss, um durch einen Widerstand eine Intensität der Elektronenströmung von $I = 1 \text{ A}$ zu verursachen. Zur Veranschaulichung des Einflusses der Geometrie, d. h. insbesondere der Länge bzw. des Querschnitts eines Widerstands, wird wieder die Luftdruckanalogie bemüht: Genauso, wie es schwerer ist, Luft durch einen längeren Strohhalm zu blasen, nimmt der Widerstand mit zunehmender Länge zu; genauso, wie es leichter ist, Luft durch einen dickeren Strohhalm zu blasen, nimmt der Widerstand mit zunehmendem Querschnitt ab.

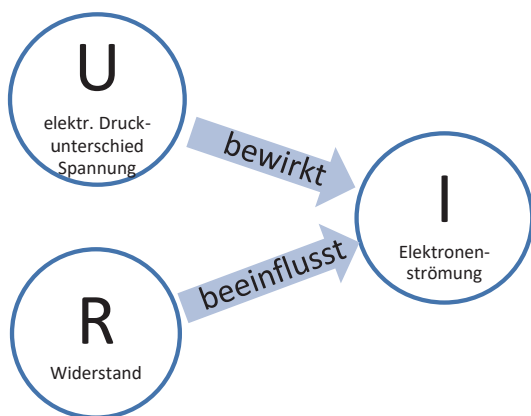


Abbildung 5: Qualitativer Wirkzusammenhang beim elektrischen Stromkreis

4. Parallel- und Reihenschaltungen

In einem nächsten Schritt bietet es sich z. B. entsprechend der Methode „Predict-Observe-Explain“ (Vorhersagen-Beobachten-Erklären) an, in einem Experiment zu untersuchen, was passiert, wenn ein Lämpchen bzw. ein

Widerstand parallel zu einem bereits bestehenden Widerstand geschaltet wird. Dabei sollte unbedingt deutlich gemacht werden, dass Batterien keine konstante Stromstärke liefern, sondern eine konstante Spannung und daher die Spannung und nicht die Stromstärke den Ausgangspunkt bei der Analyse von Stromkreisen darstellen sollte. Entgegen der weit verbreiteten Tendenz, Stromkreise aus Sicht des Stroms zu analysieren („Der Strom verlässt die Batterie und teilt sich an der Verzweigung auf ...“), sollte den Schüler*innen aufgezeigt werden, dass die von der Batterie bereitzustellende Gesamtstromstärke mit jedem parallel geschalteten Widerstand bzw. Lämpchen weiter ansteigt. Um die Spannung als Primärkonzept bei den Lernenden zu verankern, sollten diese bei neuen Stromkreisen immer zuerst die vorliegenden Potenzialunterschiede mittels Farbkodierung einzeichnen. Dadurch wird leicht erkennbar, dass – sofern die gleiche (ideale) Batterie verwendet wird – an einem weiteren parallel geschalteten Widerstand bzw. Lämpchen der gleiche elektrische Druckunterschied anliegt wie am ursprünglichen. Unter der Annahme von baugleichen Lämpchen bzw. Widerständen führt nun der gleiche elektrische Druckunterschied zu einem zusätzlichen Elektronenstrom

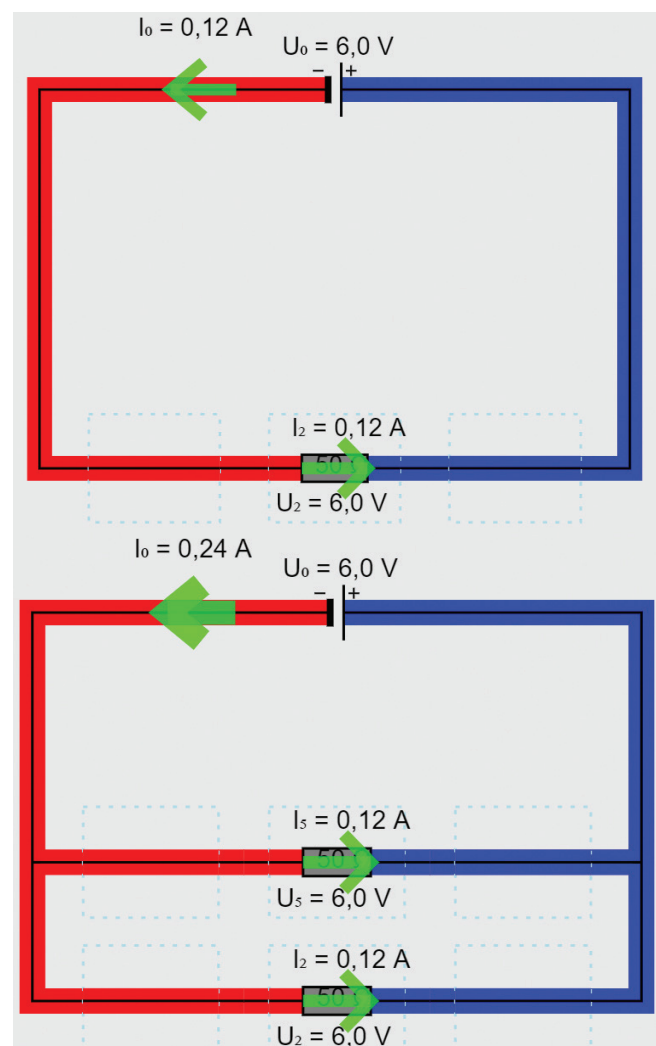


Abbildung 6: Simulation einer Parallelschaltung. Der von der (idealen) Batterie konstant gehaltene elektrische Druckunterschied (= Spannung) sorgt am parallel geschalteten Widerstand für einen zusätzlichen Strom.

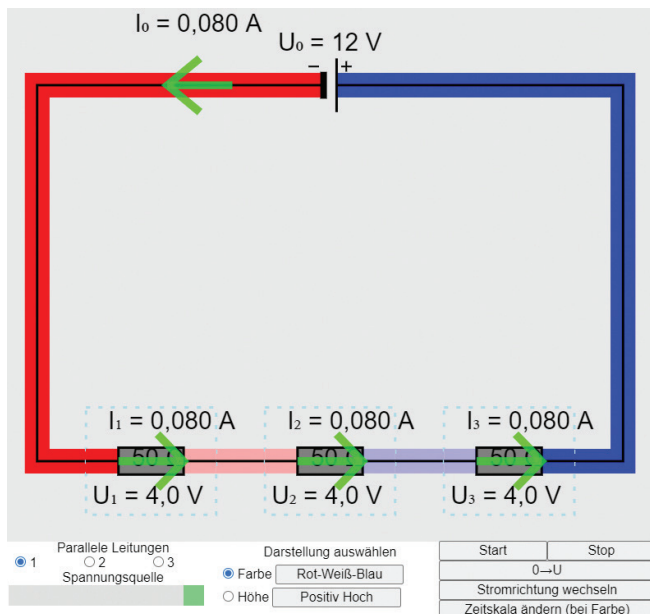


Abbildung 7: Visualisierung der elektrischen Drücke bei einer Reihenschaltung mit Hilfe der Simulation. Rot steht für einen großen elektrischen Überdruck; hellrot für einen geringen elektrischen Überdruck; hellblau für einen geringen elektrischen Unterdruck und blau für einen großen elektrischen Unterdruck.

gleicher Intensität durch das neu hinzugekommene, parallel geschaltete Bauteil, weshalb die von der Batterie bereitstellende Gesamtstromstärke entsprechend ansteigt. Zur Verdeutlichung dieses Zusammenhangs bietet sich ein Rückgriff auf die passend zum Unterrichtskonzept entwickelte 2D-Simulation [13] an, mit der sich u. a. der Einfluss verschiedener parallelgeschalteter Widerstände im Stromkreis unkompliziert simulieren lässt (siehe Abb. 6).

Besteht das Ziel bei Reihenschaltungen lediglich in der Vermittlung des Zusammenhangs zwischen Stromstärke und der Anzahl der in Reihe geschalteten Widerstände, kann wieder die zu Beginn eingeführte Fahrradkettenanalogie bemüht werden: Genauso wie die Kette mit jedem weiteren an ihr reibenden Klotz stärker gebremst wird, nimmt die Stromstärke mit jedem in Reihe geschalteten Widerstand weiter ab. Soll hingegen auch ein Verständnis dafür vermittelt werden, warum bei Reihenschaltungen an einem größeren Widerstand auch eine größere Spannung anliegt, kann dies mit Hilfe einer dynamischen Modellvorstellung auf Basis des elektrischen Drucks verständlich gemacht werden. Die Grundidee dabei besteht darin, dass sich die elektrischen Drücke in den verschiedenen Leiterabschnitten nicht instantan einstellen, sondern sich in den nicht direkt mit den Polen verbundenen Leiterstücken erst entwickeln, bis sich ein dynamischer Gleichgewichtszustand eingestellt hat, bei dem die Stromstärke durch alle in Reihe geschalteten Bauteile gleich groß ist. Für eine ausführliche Erklärung sei an dieser Stelle auf S. 31 ff. im Schulbuch des Unterrichtskonzepts [12] verwiesen. Zur Diskussion der elektrischen Drücke und insbesondere der Frage, wie es zur Herausbildung des dynamischen Gleichgewichtszustands bei Reihenschaltungen kommt, kann auf

Die Lernwirksamkeit bei österreichischen Klassen

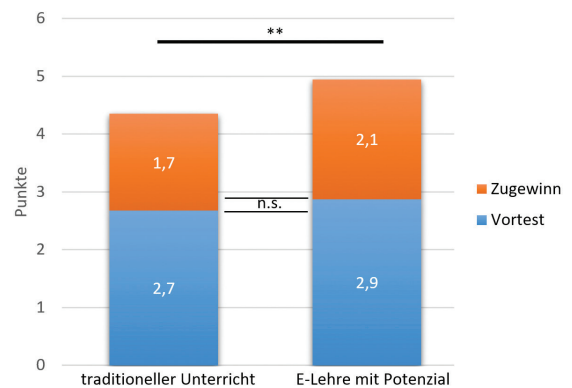


Abbildung 8: Vergleich des Lernerfolgs des traditionellen Unterrichts (links) und des Unterrichts auf Basis des hier vorgestellten Unterrichtskonzepts „E-Lehre mit Potenzial“ (rechts). Während sich die Vortestergebnisse statistisch nicht signifikant („n.s.“) unterscheiden, führt das hier vorgestellte Unterrichtskonzept zu einem statistisch signifikant höheren Lernzuwachs (** $p < 0,01$). Insgesamt umfasste der Test 11 Fragen, weshalb maximal 11 Punkte erzielt werden konnten.

die entwickelte Simulation zurückgegriffen werden, da diese auch den zeitlichen Verlauf des Entstehungsprozesses der elektrischen Drücke in Stromkreisen mittels der Option „Zeitskala ändern (bei Farbe)“ veranschaulichen kann (siehe Abb. 7) [13].

In der letzten Einheit des Unterrichtskonzepts wird dann auf den Unterschied zwischen ohmschen und nicht-ohmschen Widerständen eingegangen und der bisher erarbeitete qualitative Zusammenhang zwischen Spannung, Stromstärke und Widerstand in den mathematischen Zusammenhang $I = \frac{U}{R}$ überführt. Abgerundet wird das Unterrichtskonzept durch eine Reihe von Übungsaufgaben zur Wiederholung und Vertiefung.

5. Lernwirksamkeit und Unterrichtsmaterialien

Im Rahmen einer empirischen Studie wurden 13 österreichische Klassen (262 Lernende) nach dem hier vorgestellten Unterrichtskonzept (ohne Simulation) unterrichtet und 32 Klassen (662 Lernende) traditionell. Eine erste Auswertung der erhobenen Daten zeigt, dass das hier vorgestellte Unterrichtskonzept bei österreichischen Schüler*innen zu einem besseren konzeptionellen Verständnis führt als der traditionelle Unterricht (Abb. 8), wobei eine detailliertere Analyse z. B. in Hinblick auf die Veränderung von Lernendenvorstellungen noch aussteht.

Das Unterrichtskonzept, das auch sehr gut zum künftigen Lehrplan für die Unterstufe in Österreich passt, der mit dem Schuljahr 2023/24 (aufsteigend) in Kraft treten wird, kann als PDF im Schulbuchformat [12] auf www.einfache-elehre.de kostenfrei heruntergeladen werden. Dort steht für Lehrkräfte zusätzlich ein digitales Unterrichtspaket u. a. mit Musterlösungen und einer PowerPoint-

Präsentation zur Verfügung. Auf der genannten Internetseite ist ferner auch die in diesem Artikel beschriebene 2D-Simulation elektrischer Stromkreise verlinkt [14]. Darüber hinaus können Lehrkräfte von der Seite eine kontextbasierte Version des hier vorgestellten Unterrichtskonzeptes beziehen, das mit dem Ziel entwickelt wurde, das Interesse der Schüler*innen an diesem wichtigen Unterrichtsthema zu fördern. Hierzu werden die physikalischen Inhalte entlang diverser Kontexte u. a. aus der Biologie, Medizin, Geophysik und Technik erarbeitet (vgl. [16-17]).

Jan-Philipp Burde *Eberhard Karls Universität Tübingen, AG Didaktik der Physik*
Thomas Wilhelm *Goethe-Universität Frankfurt, Institut für Didaktik der Physik*
Thomas Sean Weatherby *Goethe-Universität Frankfurt, Institut für Didaktik der Physik*
Thomas Schubatzky *Karl-Franzens-Universität Graz, Institut für Physik, Physikdidaktik*
Claudia Haagen-Schützenhöfer *Karl-Franzens-Universität Graz, Institut für Physik, Physikdidaktik*
Martin Hopf *Universität Wien, Didaktik der Physik*
Lana Ivanjek *TU Dresden, Didaktik der Physik*
Liza Dopatka *Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Physik, Physikdidaktik*
Verena Spatz *Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Physik, Physikdidaktik*

Literatur

- [1] McDermott LC, Shaffer PS (1992) Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part I: Investigation of student understanding. *Am. J. Phys.* 60(11):994-1013
- [2] Burde J-P (2018) Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzeptes zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells, Bd 259. Logos-Verlag, Berlin
- [1] McDermott LC, Shaffer PS (1992) Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part I: Investigation of student understanding. *Am. J. Phys.* 60(11):994-1013
- [2] Burde J-P (2018) Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzeptes zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells, Bd 259. Logos-Verlag, Berlin
- [3] Ivanjek L, Morris L, Schubatzky T, Hopf M, Burde J-P, Haagen-Schützenhöfer C, Dopatka L, Spatz V, Wilhelm T (2021) Development of a two-tier instrument on simple electric circuits. *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.* 17. doi:10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.020123
- [4] Rhöneck Cv (1986) Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis und zu den Begriffen Strom, Spannung und Widerstand. *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik* 34(13):10-14
- [5] Gleixner C (1998) Einleuchtende Elektrizitätslehre mit Potenzial. Dissertation, LMU München
- [6] Cohen R (1983) Potential difference and current in simple electric circuits. A study of students' concepts. *Am. J. Phys.* 51(5):407. doi:10.1119/1.13226
- [7] Muckenfuß H, Walz A (1997) Neue Wege im Elektrizitätsunterricht. Aulis Deubner, Köln
- [8] Schwedes H, Dudeck W-G, Seibel C (1995) Elektrizitätslehre mit Wassermodellen. *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule* 44(2):28-36
- [9] Burde J-P, Wilhelm T (2016) Moment mal... (22) Hilft die Wasserkreislaufanalogie? *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule* 65(1):46-49
- [10] Burde J-P, Wilhelm T (2015) Mit elektrischem Druck die Spannung verstehen lernen. *PLUS LUCIS* (1-2):28-33
- [11] Burde J-P, Wilhelm T, Schubatzky T, Haagen-Schützenhöfer C, Ivanjek L, Hopf M, Dopatka L, Spatz V (2019) Re-Design des Frankfurter Unterrichtskonzeptes im Rahmen von EPo-EKo. *Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2019. PhyDid-B:253-260*
- [12] Burde J-P (2018) Eine Einführung in die Elektrizitätslehre mit Potenzial. <https://einfache-elehre.de/>
- [13] Weatherby ST (2022) Stromkreis-Simulation. https://thomas-weatherby.com/simulation_de.html
- [14] Wilhelm T, Weatherby ST, Burde J-P (2021) Eine Simulation zum elektrischen Potenzial bei einfachen Stromkreisen. *MNU Journal* 74(6):483-487
- [15] Kahnt M (2022) Die Fahrradkette als durchgängige Vorstellungshilfe im Elektrizitätslehreunterricht der Sekundarstufe I. *Plus Lucis*, 2022(2) (dieses Heft)
- [16] Dopatka L, Spatz V, Burde J-P, Wilhelm T, Schubatzky T, Haagen-Schützenhöfer C, Hopf M, Ivanjek L (2022) Interessante Fragestellungen aus vielfältigen Kontexten zur Elektrizitätslehre – Ergebnisse der IDa-Studie. *Plus Lucis*, 2022(2) (dieses Heft)
- [17] Gottschlich B, Burde J-P, Wilhelm T, Dopatka L, Spatz V, Hopf M, Ivanjek L, Schubatzky T, Haagen-Schützenhöfer C (2022) Eine forschungsgeleitete Einführung in die Elektrizitätslehre mit Kontexten. *Plus Lucis*, 2022(2) (dieses Heft)

Flipped Classroom in der E-Lehre – mehr Zeit für meinen Unterricht

Wolfgang Lutz, Sebastian Haase, Jan-Philipp Burde, Thomas Wilhelm und Thomas Trefzger

1. Flipped Classroom als Unterrichtsmethode

Flipped Classroom bezeichnet eine aus den USA stammende Unterrichtsmethode, die es ermöglicht, mehr Unterrichtszeit für kooperative und kollaborative Lernphasen zu nutzen, z. B. zur Bearbeitung von Aufgaben oder dem eigenständigen Experimentieren. Das vermehrt auf Binnendifferenzierung und Kooperation ausgerichtete Lernangebot im Unterricht kann die Kompetenzwahrnehmung und die soziale Eingebundenheit der Schüler*innen positiv beeinflussen und ein Gefühl der Mitbestimmung der Lernenden fördern [1]. Um eine Erhöhung der aktiven Lernzeit im Unterricht zu erreichen, wird die sonst übliche Wissensvermittlung aus dem Unterricht in eine häusliche Vorbereitung ausgelagert. Hierbei werden typischerweise Lernvideos zur Informationsvermittlung eingesetzt, mit denen sich die Schüler*innen selbstständig in ihrem individuellen Tempo Lerninhalte erarbeiten und sich so auf die folgende Unterrichtsstunde vorbereiten. Dadurch ändert sich auch die Rolle der Lehrkraft von der wissensvermittelnden hin zu einer lernbegleitenden Person im Unterricht [2, 3].

Die aktive Auseinandersetzung mit den Lerninhalten in der häuslichen Vorbereitung spielt im Flipped Classroom eine wichtige Rolle. Schließlich baut der Unterricht der nächsten Stunde auf den zu Hause erarbeiteten Inhalten auf. Aus diesem Grund werden in der häuslichen Vorbereitung neben den Lernvideos häufig auch interaktive Aufgaben bzw. Quizfragen mit Selbstkontrollmöglichkeiten eingesetzt [4, 5]. Durch dieses multimediale Lernangebot sollen unterschiedliche Lerntypen auf möglichst vielen Kanälen adressiert werden [6]. Außerdem können die Schüler*innen durch die asynchrone Nutzung der Materialien ein hohes Maß an Autonomie, Selbstbestimmung und Eigenverantwortung erfahren, da sie selbst entscheiden können, wann, wo und wie sie lernen. Gleichzeitig sind mit diesen Freiheiten aber auch hohe Anforderungen an die Selbstdisziplin der Schüler*innen verbunden. Damit die Vorbereitungsphase und die anschließende Präsenzzeit ineinandergreifen, muss die Lehrkraft für sich grundlegende Fragen klären. Ist die Methode für meinen Unterricht geeignet? Habe ich entsprechende Lernmaterialien? Wie bereite ich meine Schüler*innen auf den Flipped Classroom vor? Wie kann ich die Schüler*innen motivieren, sich zuverlässig zu Hause vorzubereiten?

Der Flipped Classroom stellt keine Supermethode dar, die immer funktioniert und besser ist als andere. Vor dem Einsatz ist deshalb zu prüfen, ob die Unterrichtsmethode überhaupt zum Erreichen der gesetzten Unterrichtsziele geeignet ist. Beispielsweise muss sie zur Klassenstufe, den Inhalten, den

zu erlernenden Kompetenzen, den Leistungsfähigkeiten und -bereitschaften der Schüler*innen sowie auch zu der Methodenpräferenz und Persönlichkeit der Lehrkraft passen [7].

Erscheint die „Flipped Classroom“-Methode geeignet, bedarf es als nächstes guter Lernmaterialien, insbesondere qualitativer Lernvideos für die häusliche Vorbereitung. Die Kriterien guter Erklärvideos nach Kulgemeyer [8] helfen bei der Selektion bzw. bei der Produktion eigener inhaltlich hochwertiger Videos. Vorhandene Videos im Netz bieten den Vorteil der unmittelbaren Nutzung. Allerdings passen die Videos nie hundertprozentig zu den Plänen des eigenen Unterrichts. Bei der Eigenproduktion können Lerninhalte individuell gestaltet werden. Die Entwicklung ist jedoch mit einem enormen Zeitaufwand verbunden.

Stehen geeignete Lernvideos zur Verfügung, bedeutet das noch lange nicht, dass das Lernen mit Videos ein Selbstläufer ist. Viele Schüler*innen sind nämlich mit dem eigenständigen Erarbeiten neuer Inhalte und dem Lernen mit Videos im Flipped Classroom nicht vertraut. Die Videos werden dann häufig nur beiläufig angesehen und die Inhalte nur oberflächlich wahrgenommen. Aus diesem Grund ist es wichtig, zu Beginn ein Methodentraining durchzuführen und den Schüler*innen das aktive Arbeiten mit Videos zu vermitteln. Beispielsweise kann das Video pausiert werden, um Notizen bzw. Fragen aufzuschreiben, oder es können Teilabschnitte, die nicht verstanden wurden, noch einmal wiederholt betrachtet werden. Hilfreich ist es auch, die Videos mit einem Arbeitsauftrag zu koppeln. Die Aufgabe besteht dann nicht mehr im (passiven) Ansehen des Videos, sondern im Finden einer Lösung mit Hilfe des Videos als Informationsquelle [9].

Der auf der häuslichen Vorbereitung aufbauende Präsenzunterricht kann nur funktionieren, wenn die Lernvideos angesehen und die zugehörigen Arbeitsaufträge erledigt werden. Wünschenswert wäre hier eine von den Schüler*innen ausgehende intrinsische Motivation. Ist diese nicht vorhanden, ist es entscheidend, wie die Lehrkraft mit unvorbereiteten Schüler*innen umgeht. Kontraproduktiv wäre, wenn die Lehrkraft noch einmal alle Inhalte des Videos bespricht. In der Folge würde keine Notwendigkeit der Vorbereitung mehr gesehen werden, da die Lehrkraft im Unterricht ohnehin noch einmal alles wiederholt. Eine bessere Lösung besteht darin, unvorbereitete Schüler*innen in Einzelarbeit die Inhalte während des Unterrichts nacharbeiten zu lassen, beispielsweise durch Lesetexte. Anschließend müssen sie die

Inhalte zusammenfassen, der Lehrkraft präsentieren und gegebenenfalls auch die Nachfragen der Lehrkraft beantworten. Dieses persönliche Gespräch mit der Lehrkraft empfinden die meisten Schüler*innen als unangenehm. In der Folge sind sie eher bereit, sich auf die nächste Stunde vorzubereiten.

Das Unterrichten nach der Flipped Classroom-Methode bietet viele Möglichkeiten, den Unterricht neu zu strukturieren. Doch leider finden sich bislang nur wenige Unterrichtsmaterialien, die für den Physikunterricht geeignet sind. Im Folgenden wird eine Unterrichtskonzeption zur Elektrizitätslehre vorgestellt, die im Rahmen eines Forschungsprojekts entwickelt wurde.

2. Unterrichtsmaterialien für den Flipped Classroom in der Elektrizitätslehre

Im Rahmen eines Kooperationsprojekts zwischen den Universitäten Würzburg, Berlin, Frankfurt und Tübingen wurde im Bereich der Elektrizitätslehre in der Sekundarstufe I ein Lehrgang für den Flipped Classroom-Einsatz konzeptioniert, in Interventionen erprobt und weiterentwickelt. Ziel war einerseits die Entwicklung einer guten Lernumgebung und andererseits auch, eine Theorie des Lernens im Flipped Classroom für den Physikunterricht der Sekundarstufe I abzuleiten. Die Einheiten

basieren auf dem Elektronengasmodell nach Burde [10]. Eine detaillierte Beschreibung dieses Unterrichtskonzeptes, das das Potenzial ins Zentrum stellt, findet sich in diesem Heft [11]. Der Lehrgang umfasst insgesamt zwölf aufeinander aufbauende Lerneinheiten (siehe Abb. 1).

Zur häuslichen Vorbereitung auf die zugehörige Unterrichtsstunde finden sich in jeder Unterrichtseinheit ein dreiteiliges Paket bestehend aus einem Lernvideo, interaktiven Quizfragen und Aufgaben sowie einem Hefteintrag zum Nachlesen aller wichtigen Informationen aus der Einheit. Außerdem stehen den Schüler*innen weitere Angebote zur Vorbereitung auf den Unterricht zur Verfügung. In der ersten Einheit ist das beispielsweise ein eingebundenes Video, in dem auf die Gefahren des elektrischen Stroms eingegangen wird. Interessierte Schüler*innen können in der Einheit darüber hinaus noch eine Simulation als Heimexperiment durchführen.

Jede Unterrichtseinheit folgt dem in Abbildung 2 skizzierten Schemata. In der häuslichen Vorbereitung betrachten die Schüler*innen das Lernvideo und bearbeiten anschließend die interaktiven Quizfragen und Aufgaben. Hierfür wird eine Bearbeitungszeit von etwa 15 Minuten benötigt [12]. Um eine Brücke zwischen der häuslichen Vorbereitung und

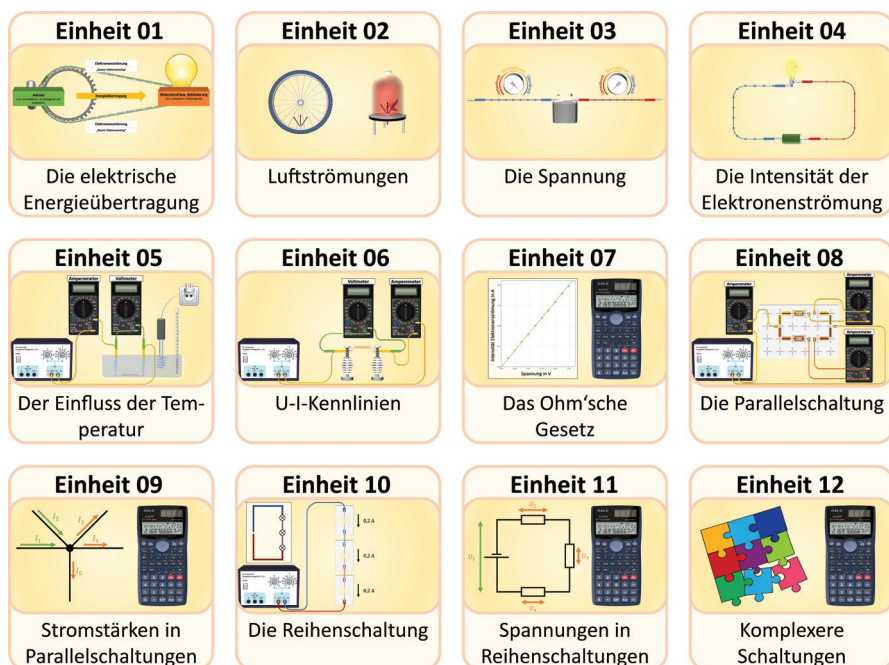


Abbildung 1: Überblick über die Lerneinheiten

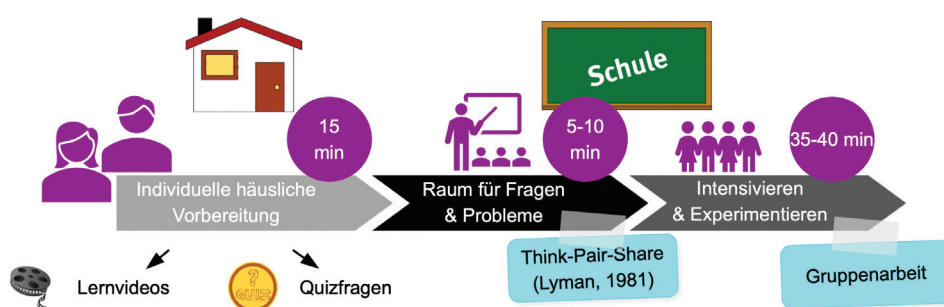


Abbildung 2: Ablaufschema für eine Unterrichtseinheit im Flipped Classroom [12]

dem Präsenzunterricht zu schlagen, sollen zu Beginn des Unterrichts die während der Vorbereitung aufgetretenen Fragen und Probleme der Schüler*innen gesammelt und durch weitere der Lehrkraft zur Verfügung gestellte Fragen ergänzt werden. Anschließend findet eine think-pair-share-Phase statt, in der die Schüler*innen zunächst ihre eigenen Gedanken sortieren, diese mit ihren Nachbarn besprechen und schließlich in der Klasse gemeinsam diskutieren [13]. Für diese Phase sind fünf bis maximal zehn Minuten des Unterrichts vorgesehen. Danach starten die Gruppenarbeitsphasen, für die es einen Pool an Aufgaben bzw. Schüler*innenexperimenten gibt. Das zur Verfügung gestellte Material ist so umfangreich, dass damit auch gut eine Doppelstunde gefüllt werden kann. Neben den Arbeitsblättern stehen der Lehrkraft noch ein Skript für den Stundenablauf und zahlreiche PowerPoint-Präsentationen zu den bereits im Video eingebetteten Animationen zur Verfügung.

2.1 Aufbereitung der Lernvideos

Kooperative und kollaborative Arbeitsphasen bilden den Kern des Unterrichts im Flipped Classroom und wurden deshalb bei der Planung des Lehrgangs in den Mittelpunkt gestellt. Ausgehend von den Arbeitsaufträgen im Präsenzunterricht wurden unter Beachtung entsprechender Designkriterien [8] verschiedene Lernvideos erstellt, um die grundlegenden physikalischen Konzepte und Ideen zu vermitteln. Am Beispiel der ersten Lerneinheit zur elektrischen Energieübertragung werden die Überlegungen zum zugehörigen Lernvideo nachfolgend vorgestellt. Ein Link zu dem Lernvideo sowie den restlichen Unterrichtsmaterialien kann auf www.einfache-elehre.de bzw. direkt über den QR-Code im Literaturverzeichnis am Ende dieses Artikels abgerufen werden [19].

Zu Beginn wird die Thematik ausgehend von der Erfahrungswelt der Schüler*innen am Beispiel der elektrischen Energieübertragung von einem Windpark über Hochspannungsleitungen bis hin zur Steckdose motiviert und versucht, an das Vorwissen der Schüler*innen anzuknüpfen. Die Schüler*innen werden direkt angesprochen und gleichzeitig darauf geachtet, die physikalische Fachsprache mit der Sprachebene der Lernenden zu verbinden. Die Notwendigkeit eines geschlossenen Stromkreises für die Energieübertragung wird mit Hilfe eines einfachen Experiments mit einer Batterie und einer Glühlampe demonstriert (siehe Abb. 3 links). Zur Veranschaulichung wird das Experiment in eine entsprechende Animation übertragen (siehe Abb. 3 Mitte), um dort die Elektronenbewegung im

Kabel mit Hilfe eines Teilchenmodells zu visualisieren. In diesem Kontext wird auch auf das geringe Elektronentempo von weniger als $1 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \approx 0,004 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ eingegangen. Ausgehend von dem geringen Tempo der Elektronen wird zur Frage übergeleitet, warum die Glühlampe unmittelbar nach dem Anschluss an die Batterie zu leuchten beginnt. Diese Frage dient als Prompt, um einerseits die Relevanz zu verdeutlichen und andererseits die Schüler*innen im Lernprozess kognitiv zu aktivieren. In der anschließenden Erklärung wird die Analogie zu einer Fahrradkette genutzt, die ausführlich in diesem Heft beschrieben ist [14]. Bei einer Fahrradkette sind alle Kettenglieder miteinander verbunden und werden beim Kurbeln gleichzeitig in Bewegung versetzt. In einer ähnlichen Weise ist es möglich, sich die Elektronen im Stromkreis als starren Elektronenring vorzustellen [15] (siehe Abb. 3 rechts). In Analogie zur Fahrradkette setzen sich auch im Stromkreis alle Elektronen gleichzeitig in Bewegung, weshalb die Glühlampe nach Anschluss der Kabel an die Batterie unmittelbar zu leuchten beginnt.

Die Analogie des Fahrradkettenmodells hilft darüber hinaus, der bei einigen Schüler*innen existierenden Fehlvorstellung des Verbrauchs von Elektronen in der Glühlampe entgegenzuwirken. Ähnlich wie die Kettenglieder beim Fahrrad bilden die Elektronen im Stromkreis eine Kette, die nicht verbraucht wird, aber deren Bewegung den Energietransport bewirkt. Dadurch ergibt sich ein fundamentaler Unterschied zu anderen Formen der Energieübertragung, beispielsweise zur Verbrennung von Benzin oder Diesel im Motor eines Autos. Dieser Unterschied wird am Ende des Lernvideos noch einmal besonders hervorgehoben.

In den Lernvideos wurde auf einen Einsatz möglichst anschaulicher Bilder und wenig zu lesendem Text geachtet, da das gleichzeitige Zuhören und Lesen zu einer kognitiven Überforderung führen kann [6]. Um den Schüler*innen aber dennoch die Möglichkeit des Nachlesens zu geben, erhalten sie am Ende der Einheit einen ausführlichen Text mit allen relevanten Informationen. Aus diesem Grund und um die Videolänge kurz zu halten, wird im Lernvideo auf eine zusätzliche Zusammenfassung verzichtet.

2.2 Interaktive Aufgaben

Nach den Lernvideos stehen den Schüler*innen in der häuslichen Vorbereitung interaktive Quizfragen bzw. Aufgaben

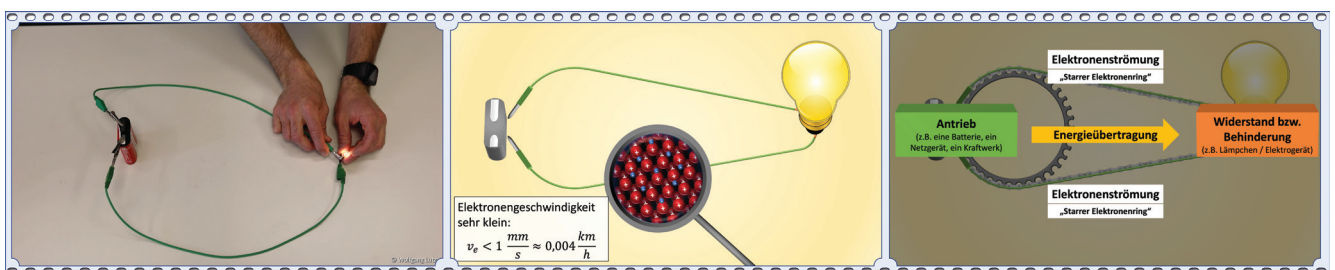


Abbildung 3: Screenshots aus dem Lernvideo zur Energieübertragung

mit Selbstkontrollmöglichkeiten zur Verfügung. Diese dienen zum Erwerb weiteren Wissens bzw. zur Überprüfung bereits aufgebauten Verständnisses. In der ersten Einheit geht es beispielsweise darum, die Schüler*innen durch ein Memory spielerisch mit unterschiedlichen Schaltsymbolen und Begriffen aus der Elektrizitätslehre vertraut zu machen (siehe Abb. 4), damit sie später in einer weiteren Aufgabe verschiedene Schaltsymbole ihren Bezeichnungen zuordnen können.

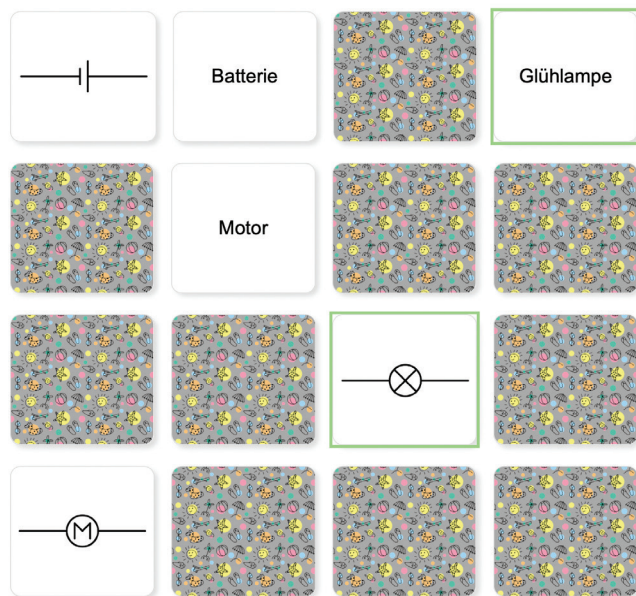


Abbildung 4: Memory zu Schaltsymbolen

Ein weiteres Ziel der Vorbereitungsphase ist es, offene und geschlossene Stromkreise zu unterscheiden und auch zu erkennen, wann in einer Schaltung ein Kurzschluss vorliegt. Hierzu erhalten die Schüler*innen Abbildungen von einer an einer Batterie angeschlossenen Glühlampe bzw. von Schaltskizzen, die sie dann den drei Kategorien geschlossener Stromkreis, offener Stromkreis oder Kurzschluss zuordnen müssen (siehe Abb. 5).

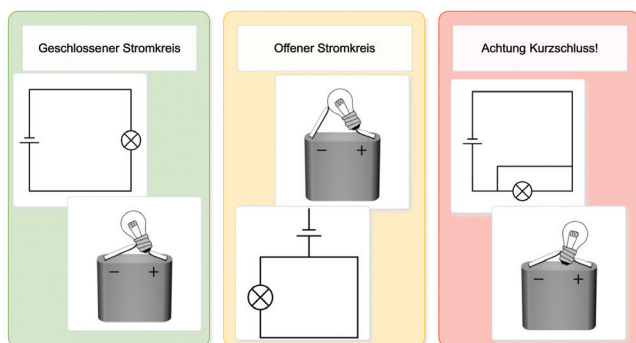


Abbildung 5: Unterscheidung von Stromkreisen

Mit einer Simulation sollen die Schüler*innen erste einfache Stromkreise selbst bauen und in verschiedenen Szenarien ausprobieren, wie sich eine Veränderung des Widerstandswertes der Glühlampe oder auch unterschiedliche Schalterstellungen auf die Elektronenbewegung im Teilchenmodell auswirken (siehe Abb. 6).

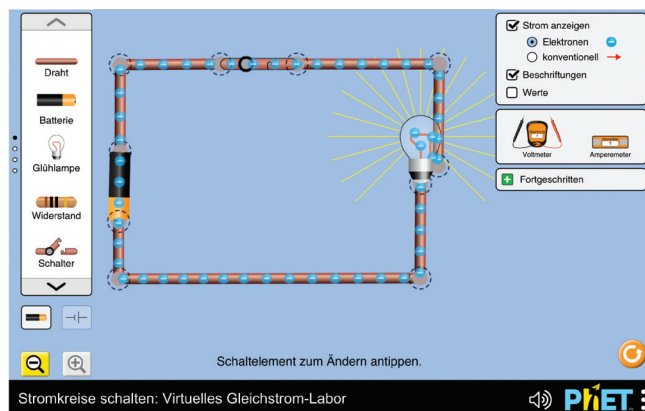


Abbildung 6: Virtuelles Gleichstrom-Labor [16]

2.3 Vorbereitung der Schüler*innen auf das Experimentieren im Unterricht

In sieben der insgesamt zwölf Unterrichtseinheiten des Lehrgangs existieren Materialien zur Vernetzung eigener experimenteller Erfahrungen mit Modellvorstellungen und physikalischen Theorien. Damit die Schüler*innen die zugehörigen experimentellen Aufgaben im Unterricht absolvieren können, werden wichtige physikalische Grundlagen bereits in den Lernvideos und interaktiven Aufgaben im Rahmen der Vorbereitungsphase thematisiert. Dabei wird bewusst auf einen theorielastigen Zugang verzichtet, da die Schüler*innen im Unterricht ausgehend von einem forschend-entdeckenden Lernen eigenständig naturwissenschaftliche Untersuchungen durchführen, dabei experimentelle Kompetenzen erwerben und gleichzeitig ein Grundverständnis für physikalische Konzepte erarbeiten sollen. Beispielsweise müssen die Schüler*innen in der vierten Einheit zur experimentellen Untersuchung der Abhängigkeit der Stromstärke vom Widerstandswert mit den Begriffen Spannung und Stromstärke vertraut sein und wissen, wie Spannungs- bzw. Strommessgeräte anzuschließen und einzustellen sind. Dies wird den Schüler*innen in den Lernvideos zu den Einheiten drei bzw. vier gezeigt und erklärt. Außerdem wird im Lernvideo der vierten Einheit in einem qualitativen Demonstrationsexperiment bereits ein phänomenologischer Zugang zur Thematik aufgebaut. So wird in einem Stromkreis mit einer Glühlampe und einem Potentiometer demonstriert, wie sich die Helligkeit der leuchtenden Glühlampe in

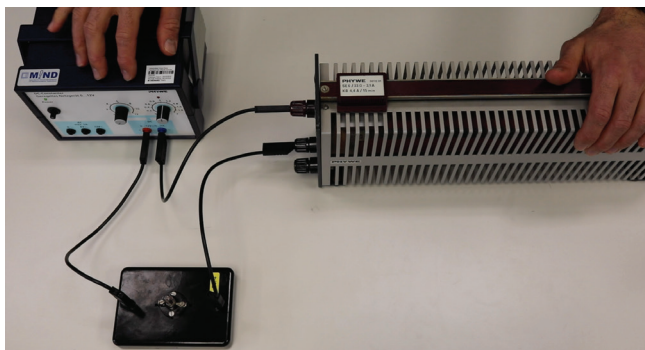


Abbildung 7: Auswirkungen der Größe des elektrischen Widerstands auf die Helligkeit einer Glühlampe

Abhängigkeit des eingestellten Widerstandswertes verändert (siehe Abb. 7). Dieses Experiment wurde auch als interaktives Bildschirmexperiment aufbereitet, so dass die Schüler*innen es selbst vor dem Unterricht durchführen können.

Aufbauend auf den gesammelten Erfahrungen können die Schüler*innen Vermutungen oder sogar Hypothesen für die genauere Untersuchung der Abhängigkeit der Stromstärke vom Widerstandswert ableiten. Darauf aufbauend beginnt die Planung des Experiments. In einem ersten Schritt sollen sich die Schüler*innen Gedanken machen, welche der Größen Spannung, Stromstärke und Widerstand sie im Experiment variieren, messen bzw. konstant halten müssen (Variablenkontrolle). Anschließend erhalten sie eine Schaltskizze des Versuchsaufbaus und eine Illustration, wie sie sich mit zwei Isolierstützen, einem Draht und einer Krokodilklemme selbst einen veränderbaren Widerstand bauen können (siehe Abb. 8). Ausgehend von dem in Abbildung 8 dargestellten Schaltplan und der Skizze zum Selbstbau eines veränderbaren Widerstandes müssen die Schüler*innen aus einer Kiste mit einigen Materialien, die im Experiment benötigten auswählen und in eine separate Box legen (siehe Abb. 9).

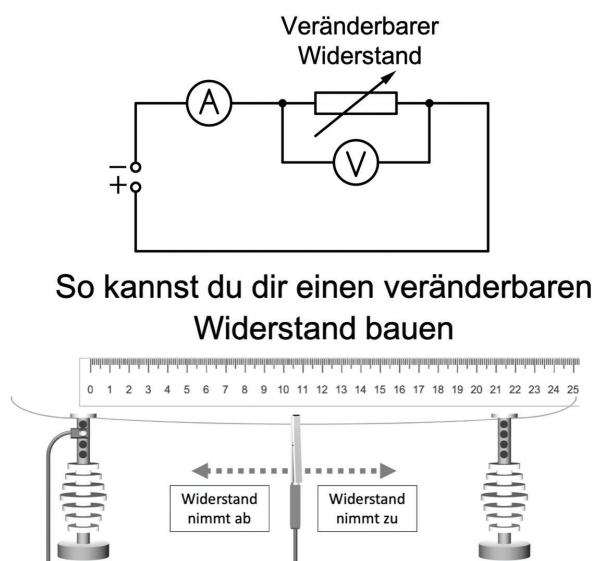


Abbildung 8: Schaltplan des Experiments und Skizze eines selbstgebauten veränderbaren Widerstandes

Haben die Schüler*innen die Planungsphase beendet, können sie sich in einem separaten Video ansehen, wie sie ausgehend vom Schaltplan (Abb. 10 links) das Experiment schrittweise aufbauen, die Bauteile verkabeln und die Messgeräte einbauen

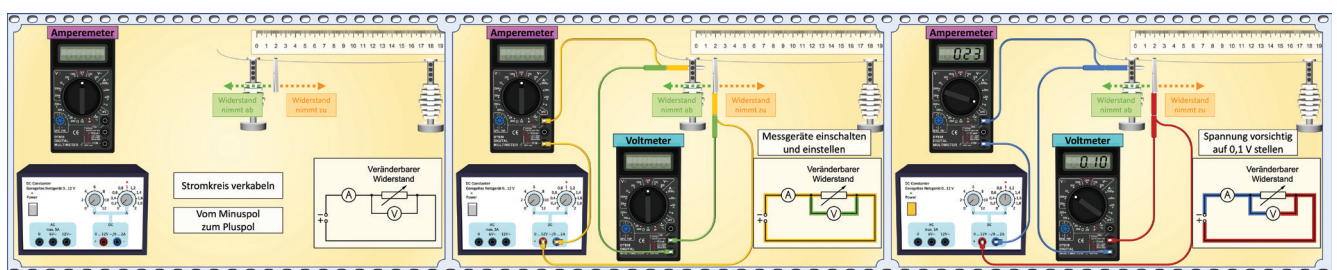


Abbildung 10: Screenshots aus dem Video zum Versuchsaufbau



Abbildung 9: Materialauswahl für das Experiment

(Abb. 10 Mitte) sowie einstellen (Abb. 10 rechts). Hierfür wurden, ähnlich wie bereits im Abschnitt 2.1 beschrieben, realitätsnahe Animationen entwickelt, die der Lehrkraft auch als animierte PowerPoint-Präsentation im Unterricht zur Verfügung stehen.

Die auf mehreren Ebenen stattfindende Vorbereitung der Schüler*innen auf das Experiment kann als Schlüsselement für ein effektives und nachhaltiges eigenständiges Experimentieren im Unterricht angesehen werden. In den ersten Einheiten werden die Lernenden noch eng geführt, da ihnen experimentelle Kompetenzen fehlen, sie die Materialien nicht kennen und sie noch nicht vertraut sind im Umgang mit den Messgeräten. Im Laufe der Einheiten nehmen die Hilfestellungen mit zunehmender Routine beim Planen und Experimentieren immer mehr ab. So entfällt in späteren Einheiten beispielsweise die Beschriftung der Materialien oder die Schaltpläne müssen komplett selbst gezeichnet werden.

3 Ausblick

Weitere Informationen zur Entwicklung der Unterrichtsmaterialien finden sich bei [17]. Die Materialien wurden in den Schuljahren 2019/20, 2020/21 und 2021/22 insgesamt bei ca. 4000 Schüler*innen an bayerischen Gymnasien in der 8. Jahrgangsstufe in Interventionen erprobt und aufbauend auf den Rückmeldungen der Lehrkräfte weiterentwickelt. Alle so entstandenen Unterrichtsmaterialien (Lernvideos, Quizze, Arbeitsblätter, etc.) stehen unter www.einfache-elehere.de zur kostenfreien Nutzung zur Verfügung.

Neben der E-Lehre wurde auch ein Lehrgang zur geometrischen Optik für die Sekundarstufe I mit insgesamt 12 aufeinander aufbauenden Lerneinheiten für den Flipped Classroom in ähnlicher Weise entwickelt und empirisch evaluiert. Nähere Informationen zu den Optikmaterialien finden sich bei [18]. Auch diese Materialien werden nach Abschluss der aktuell noch laufenden Studie kostenfrei zur Verfügung stehen.

Wolfgang Lutz *Universität Würzburg, Physik und ihre Didaktik*

Sebastian Haase *Freie Universität Berlin,*

Fachbereich Erziehungswissenschaft und Psychologie,

AB Schulpädagogik/Schulentwicklungsforschung

Jan-Philipp Burde *Eberhard Karls Universität*

Tübingen, AG Didaktik der Physik

Thomas Wilhelm *Goethe-Universität Frankfurt,*

Institut für Didaktik der Physik

Thomas Trefzger *Universität Würzburg, Physik und ihre Didaktik*

Literatur

- [1] Deci, E., & Ryan, R. (2002). An overview of self-determination theory: An organismic-dialectical perspective. In E. Deci & R. Ryan (Hrsg.), *Handbook of Self-Determination Research* (S. 3-33). Rochester: University of Rochester Press.
- [2] Roehl, A., Reddy, S.L., & Shannon, G. J. (2013). The flipped classroom: an opportunity to engage millennial students through active learning. *Journal of Family and Consumer Sciences*, 105(2), 44.
- [3] Yildirim, F. S., & Kiray, S. A. (2016). Flipped classroom model in education. In W. Wu, S. Alan & M.T. Hebecci (Hrsg.), *Research Highlights in Education and Science 2016* (S. 2-8).
- [4] Al-Samarraie, H.; Shamsuddin, A. & Alzahrani, A. I. (2019). A flipped classroom model in higher education: a review of the evidence across disciplines. *Educational Technology Research and Development*, 1-35.
- [5] Handke, J. (2014). The inverted classroom mastery model – A diary study. In E.-M. Großkurth & J. Handke (Hrsg.), *The inverted classroom model: The 3rd German ICM-conference proceedings*. Oldenburg: De Gruyter.
- [6] Mayer, R. E. (2014). Cognitive theory of multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The cambridge handbook of multimedia learning* (S. 43-71). Cambridge: Cambridge University Press.
- [7] Werner, J., Ebel, C., Spannagel, C. & Bayer, S. (2018): Flipped Classroom – Zeit für deinen Unterricht. In: Werner et al.: *Flipped Classroom – Zeit für deinen Unterricht. Praxisbeispiele, Erfahrungen und Handlungsempfehlungen*. Gütersloh: Bertelsmann Stiftung.
- [8] Kulgemeyer C. (2020) Erklären im Physikunterricht. In: Kircher E., Girwidz R., Fischer H. (eds) *Physikdidaktik | Grundlagen*. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-59490-2_11
- [9] Werner, J. & Spannagel, C. (2018): *Design Patterns: Erfahrungsrezeptbuch*. In: Werner et al.: *Flipped Classroom – Zeit für deinen Unterricht. Praxisbeispiele, Erfahrungen und Handlungsempfehlungen*. Gütersloh: Bertelsmann Stiftung.
- [10] Burde, J.-P. (2018): Eine Einführung in die Elektrizitätslehre mit Potenzial. Frankfurt am Main: Institut für Didaktik der Physik der Goethe-Universität. URL: <https://www.einfache-elehre.de>
- [11] Burde, J.-P.; Wilhelm, T.; Weatherby, T.; Schubatzky, T.; Haagen-Schützenhöfer, C.; Hopf, M.; Ivanjek, L.; Dopatka, L.; Spatz, V. (2022). Mehr Spannung beim Thema Stromkreise! PlusLucis, Heft 2, 2022
- [12] Lutz, W., Haase, S., Burde, J.P., Wilhelm, T. & Trefzger, T. (2022). Erste empirische Ergebnisse zum Einsatz digitaler Materialien im Flipped Classroom zur E-Lehre und Optik. In: GDCP digitale Jahrestagung 2021.
- [13] Lyman, F. (1981). The Responsive Classroom Discussion. In A. S. Anderson (Ed.), *Mainstreaming Digest* (pp. 109-113). College Park, MD: University of Maryland College of Education.
- [14] Kahnt, M. (2022). Die Fahrradkette als durchgängige Vorstellungshilfe im Elektrizitätslehreunterricht der Sekundarstufe I. Plus Lucis, 2022(2) (dieses Heft).
- [15] Härtel, H. (2012): Der alles andere als einfache elektrische Stromkreis. In: *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule* 61 (5), S. 17-24.
- [16] University of Colorado Boulder (2019). PhET Interactive Simulations – Stromkreise schalten: Virtuelles Gleichstrom-Labor. Link: <https://phet.colorado.edu/de/simulations/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab> (Stand 5/2021)
- [17] Lutz, W., Burde, J.P., Wilhelm, T. & Trefzger, T. (2020). Digitale Unterrichtsmaterialien zum Elektronengasmodell. In: *PhyDid B*.
- [18] Lutz, W., Haase, S., Burde, J.P., Wilhelm, T. & Trefzger, T. (2021). Ein interaktiver Lehrgang zur geometrischen Optik auf tet.folio. In: *PhyDid B*.
- [19] <https://einfache-elehre.de/elearning.php>



Interessante Fragestellungen aus vielfältigen Kontexten zur Elektrizitätslehre

Ergebnisse der IDa-Studie

Liza Dopatka, Verena Spatz, Jan-Philipp Burde, Thomas Wilhelm, Thomas Schubatzky,
Claudia Haagen-Schützenhöfer, Martin Hopf und Lana Ivanjek

1. Einleitung

Beim schulischen Lernen geht es um Wissen, Verständnis, Einstellungen, Interessen und Kompetenzen, die Lernende erwerben sollen. Hiervon dominieren in der Planung und Evaluation von Unterricht jedoch zumeist die fachlichen Aspekte, während affektive Faktoren wie die Interessen der Lernenden seltener miteinbezogen werden. Diese Schwerpunktsetzung wird auch an Unterrichtskonzepten deutlich, die entwickelt wurden, um auf den oftmals geringen Lernerfolg von Schüler*innen zu reagieren und ein besseres Verständnis der Lernenden anstreben. Unterrichtsansätze in der Elektrizitätslehre nutzen daher z. B. folgende Modelle: den geschlossenen Wasserkreislauf mit Doppelwassersäule, das Stäbchenmodell oder das Frankfurter Unterrichtskonzept basierend auf dem Elektronengasmodell [1]. Dass affektive Aspekte jedoch gleichsam Berücksichtigung benötigen, belegen Interessenstudien, die im Verlauf der Schulzeit eine kontinuierliche Abnahme des Interesses am naturwissenschaftlichen Unterricht belegen [2, 3]. Wie aus der PISA Studie 2015 hervorgeht, erleben etwa 40 Prozent der Lernenden im Allgemeinen wenig bis keine Freude bei der Beschäftigung mit naturwissenschaftlichen Themen [4]. Und obwohl Elektrizität die Freizeitgestaltung und Arbeitswelt durchdringt, empfinden Schüler*innen dieses Themengebiet im Unterricht oftmals als wenig relevant für ihr Leben. Zur Förderung des Interesses wird daher empfohlen, die Fachinhalte in Kontexte einzubetten, damit die Lernenden den Unterricht bzw. die Fachinhalte als persönlich oder gesellschaftlich bedeutsam erleben. Der positive Einfluss von Kontexten auf affektive Faktoren ist empirisch weitgehend bestätigt [5] und der Einbezug von Kontexten in den Physikunterricht seit 2005 in Deutschland verbindlich vorgeschrieben [6]. Allerdings liegen bislang kaum empirische Erkenntnisse zu den Interessen von Jugendlichen an konkreten Kontexten in der Elektrizitätslehre vor. Zudem ist in diesem Teilgebiet der Physik die Suche nach vielfältigen Kontexten besonders schwierig, da meist Kontexte mit technischen Bezügen naheliegen.

2. Erkenntnisse aus Interessenstudien

Mehrere empirische Studien belegen, dass der Zusammenhang von Fachinhalt und Kontext als ein Schlüsselfaktor für das Interesse der Lernenden gilt [2, 7, 8]. Interesse ist dabei sowohl alters- als auch geschlechtsabhängig, wobei besonders Mädchen sehr sensibel auf die Wahl des Kontextes reagieren.

Die Auswertung der IPN-Interessenstudie Physik aus dem Jahr 1999 erlaubt eine gewisse Generalisierung der individuellen Interessen durch das Zusammenfassen in mehrere Typen [9]. So geht aus den Ergebnissen hervor, dass ca. 36 % der Lernenden (überwiegend Jungen) Interesse an Physik als formalisierter Wissenschaft und in ähnlicher Weise auch an gesellschaftsbezogenen Anwendungen haben. Lernende dieses Typs sind generell hochinteressiert. Einem zweiten Typ gehören ca. 33 % der Lernenden (überwiegend Mädchen) an, die im Allgemeinen weniger interessiert sind, dabei jedoch an Anwendungen, gesellschaftlichen Bezügen und Naturphänomenen ein relativ hohes Interesse zeigen. Die gesellschaftliche Relevanz von Physik und die Diskussion entsprechender Themen stehen deutlich im Vordergrund des Interesses, während gegen mathematische und rein quantitative Betrachtungen eher eine Abneigung besteht. Ein dritter Typus ließ sich nicht genau zuordnen, da die Lernenden entweder extreme Antworttendenzen oder Tendenzen zur Mitte zeigten. Ihr Interessenniveau ist insgesamt als mittel einzustufen.

Die Ergebnisse der ROSE-Studie der deutschen und österreichischen Teilstichprobe bestätigen die meisten Befunde der IPN-Studie: So sind für Schüler*innen weiterhin humanbiologische und medizinische, ebenso wie gesellschaftsrelevante Kontexte vor allem mit Bezug zu Gefahren für Mensch und Natur interesseweckend [10-12]. Humanbiologische und medizinische Themen können jedoch in drei Kontexte spezifiziert werden: Körper/Entwicklung Jugendlicher („young body“), Gesundheit und Fitness. Neben diesen drei Kontexten konnten weitere neue Kontextfelder aufgedeckt werden, welche die Interessen der Lernenden ansprechen: Probleme Jugendlicher, Spektakuläres sowie Mystik und Wunder [12]. Im Vergleich der Geschlechter sind beide sehr interessiert an den Kontexten „young body“ und Gesundheit. Mädchen favorisieren zusätzlich stärker Fitness, Mystik und Wunder, während Jungen das Spektakuläre mehr interessiert. So konnte auch hier durch ähnliche Generalisierungen wie bei der IPN-Studie ein Profil „der Interessierten“, ein „Jungen-“ und ein „Mädchenprofil“ identifiziert werden [13].

Der Begriff *Interesse* ist dabei stets ein mehrdimensionales Konstrukt. In der IPN-Studie wird das Interesse am Unterrichtsfach (Fachinteresse) vom Interesse an den Inhalten (Sachinteresse) abgegrenzt und der Einfluss von Gebiet, Kontext und Tätigkeit auf das Sachinteresse systematisch

untersucht [2]. Elektrizität ist dabei ein Gebiet, an dem Jungen stärker interessiert sind als Mädchen [2, 14]. Entsprechend wurde schon 1991 festgestellt, dass dieser besondere Bereich der Naturwissenschaft sorgfältig gelehrt werden muss, um für Mädchen attraktiv zu sein [15]. Die dokumentierten Interessendifferenzen zwischen Jungen und Mädchen werden vor allem dem Kontext zugeschrieben [2, 16]. Vor dem Hintergrund, dass der Interessenunterschied zwischen den verschiedenen Fachgebieten der Physik (wie etwa Optik, Wärme- oder Elektrizitätslehre) gar nicht so groß ist, wie gemeinhin angenommen, ist entscheidend, in welchem Kontext ein bestimmtes Gebiet erscheint und mit welchen Tätigkeiten es einhergeht [17].

3. Gängige Kontexte im E-Lehre-Unterricht

Ein Ergebnis der IPN-Studie von 1989 zeigt, dass in der neunten Jahrgangsstufe das damalige Unterrichtsangebot am besten zu technisch interessierten Lernenden und am wenigsten zu gesellschaftlich interessierten Lernenden passte [2]. Der Physikunterricht Ende der 1980er Jahre vernachlässigte damit weitgehend die Interessen von ca. zwei Drittel der Lernenden. Aktuelle Studien, die erheben, in welcher Häufigkeit heute gewisse Kontexte im Physikunterricht behandelt werden, fehlen leider. Auch aktuelle Kerncurricula in Deutschland fordern zwar eine Kontextorientierung, lassen allerdings Hinweise auf konkrete Kontexte vermissen [18].

Bei Betrachtung der Schulpraxis werden jedoch Kontexte ersichtlich, die im Elektrizitätslehreunterricht üblicherweise Anwendung finden. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit zählen hierzu aus langjähriger Lehrerfahrung, Durchsicht von Schulbüchern und in Übereinstimmung mit Kolleg*innen beispielsweise: Die Verkabelung der Fahrradbeleuchtung, die Oberleitungen der Bahn, Hochspannungsleitungen, Batterien in Geräten, Sicherungen, Elektrounfälle (z. B. der Föhn in der Badewanne), die Verschaltung von Geräten im Haushalt, die Flurbeleuchtung, der Gebrauch der Mehrfachsteckdose, die Lichterketten an Weihnachten, Glühlampen bzw. Lampen im Allgemeinen, verschiedene Küchengeräte sowie Leiter und Nicht-Leiter im Haushalt. Diese als klassisch bezeichneten Kontexte zeigen einen starken Bezug zur Technik, zu Anwendungen im Haushalt und zu Gefahren für den Menschen durch Unfälle. Diese Ausrichtung der Kontexte ist im Gebiet der Elektrizitätslehre durch die generell enge Verflechtung von Physik mit Technik und durch unseren von Elektrizität geprägten Alltag leicht nachvollziehbar. Jedoch sind viele der empirisch erforschten Kontextdomänen wie Natur, Spektakuläres, Ästhetik und Schönheit, Fitness, Diagnostik, Therapien etc. kaum oder gar nicht enthalten. Es besteht die Vermutung, dass sich die Orientierung des Unterrichts an den Interessen der Lernenden seit der IPN-Studie vor 33 Jahren nur marginal verbessert hat und auch heute in der Elektrizitätslehre eher einseitig ist. Die auf Evidenzen basierenden Vorschläge fachdidaktischer Forschung haben diesbezüglich kaum Eingang in die Unterrichtspraxis gefunden. In Hinblick auf die Implemen-

tierung von Kontexten in den Physikunterricht zur Förderung des Sachinteresses sollte der Unterricht jedoch auf die vielfältigen Interessenstrukturen der Lernenden abgestimmt sein.

4. Die IDa-Studie

Ziel der IDa-Studie (Interessenstudie im Raum Darmstadt) ist es, Kontexte und darin enthaltene konkrete Fragestellungen in der Elektrizitätslehre zu ermitteln, die Lernende als interessant bewerten. Diese Kontexte und Fragestellungen zeigen einen möglichen Ansatz auf, die Relevanz und Attraktivität des Elektrizitätslehreunterrichts zu erhöhen.

Trotz der Erkenntnisse aus Studien wie der IPN- oder ROSE-Erhebung gibt es in der Elektrizitätslehre und insbesondere zum Sachinteresse an konkreten Fragestellungen in diesem Bereich bislang wenige empirische Erkenntnisse. Unter den zehn interessantesten Fragestellungen für Lernende aus der deutschen und österreichischen ROSE-Stichprobe befindet sich kein Beispiel, das der Elektrizitätslehre zugeordnet werden kann [10]. Somit bleibt weitgehend offen, welche konkreten Fragen Schüler*innen gerade im Bereich der Elektrizitätslehre auf Grund ihres Interesses favorisieren und welche konkreten Kontexte als Grundlage für einen auf ihren Interessen basierenden Unterricht dienen können.

4.1 Studiendesign und Stichprobe

Der IDa-Fragebogen basiert auf einer vorangegangenen offenen, informellen Befragung Jugendlicher zu ihren Interessen im Bereich der Elektrizitätslehre sowie auf einer umfangreichen Recherche in Schulbüchern und auf Internetseiten zu möglichen Kontexten. So konnten 18 Kontexte identifiziert und anhand von 125 Fragestellungen innerhalb dieser Kontexte konkretisiert werden (s. Tabelle 1).

Zur Beantwortung des Fragebogens, der aufgrund des Umfangs in zwei Testhefte aufgeteilt war, standen den Lernenden 15 Minuten im Regelunterricht zur Verfügung. Anhand einer fünfstufigen Likert-Skala von „1 = sehr gering“ bis „5 = sehr groß“ wurde einerseits das Sachinteresse der Lernenden an verschiedenen, zu einem Kontext gehörenden Fragestellungen („Mein Interesse im Physikunterricht mehr darüber zu erfahren [Fragestellung einsetzen], ist ...“) erhoben. Mit gleicher Likert-Skala wurde nach den Fragen jeweils der zugehörige Gesamtkontext („Mein Interesse am Thema [Kontext einsetzen] ist insgesamt ...“) bewertet.

Die Datenerhebung fand von März bis Mai 2018 in den Jahrgängen 7 bis 9 an zehn Gymnasien vorwiegend im Raum Darmstadt in Hessen statt. Schüler*innen der Jahrgangsstufe 7 waren mit insgesamt 46 % am stärksten und Lernende aus der Jahrgangsstufe 9 mit 15 % am geringsten in der Stichprobe vertreten. Insgesamt wurden 980 Lernende befragt, von denen 55 % weiblich waren. Die Lehrkräfte, die mit ihren Klassen an der IDa-Studie teilnahmen, meldeten sich hierfür freiwillig.

Tabelle 1: Die 18 Kontexte des IDa-Fragebogens mit jeweils einer beispielhaften Fragestellung

Kontext	Beispiel einer konkreten Fragestellung
Autoscooter	Wieso benötigt ein Auto beim Autoscooter eine lange Stange am Heck, um zu fahren?
Elektrizität im Straßenverkehr	Wie stellt die Elektronik im Auto fest, dass Personen nicht angeschnallt sind und ein Piep-Signal zur Warnung geben muss?
Elektrische Fische	Warum töten Zitteraale sich durch ihre Stromschläge nicht selbst?
Elektrofischerei	Welche Schutzkleidung muss beim „Fischen mit Strom“ getragen werden?
Verbrechensaufklärung	Wie schließt man beim Lügendetektor darauf zurück, dass es sich bei einer Aussage um eine Lüge handelt?
Geschichte der Elektrizität	Wie hat der Blitzableiter bei seiner Einführung im 18. Jahrhundert für gesellschaftliche Diskussionen gesorgt?
Kopierer	Wie kommt die Farbe beim Kopierer genau an die richtigen Stellen?
Luft- und Wasserqualität	Wie misst ein elektrisches Hygrometer die Feuchtigkeit in der Luft zu Hause, um Schimmel vorzubeugen?
Batterie	Wie müssen die Batterien eingelegt werden, damit die kabellose Maus am PC funktioniert?
Hochspannungsleitungen	Warum können Vögel auf blanken Hochspannungsleitungen sitzen?
Elektrounfälle	Wovon hängt es ab, ob/wie Strom für den Menschen gefährlich ist?
Körperfettwaage	Wie funktioniert eine Körperfettwaage?
Frisur und Elektrizität	Warum kann ein Föhn aus Japan oder den USA nicht in Deutschland genutzt werden?
Medizinische Anwendungen	Wie funktioniert ein Defibrillator (Schockgeber), um Menschenleben zu retten?
Elektrozaun	Warum ist es unrealistisch, dass Personen im Film beim Einschalten großer Elektrozaune wegfliegen (z. B. Jurassic Park)?
Blitze und Gewitter	Wovon hängt es ab, ob ein Blitzschlag in der Umgebung eines Fußballfeldes überlebt werden kann?
Taschen- und Glühlampe	Wie kann eine Lampe gedimmt werden?
Elektrizität im Haushalt	Welche Sicherheitsvorkehrung vermeidet bei einer Waschmaschine, dass sie bei offener Tür funktioniert?

4.2 Ergebnisse

1. An welchen Kontexten der Elektrizitätslehre sind Jugendliche interessiert?

Die interessantesten und am wenigsten interessanten Kontexte für die befragten Schüler*innen der IDa-Studie werden in Tabelle 2 in Form eines Mittelwertrankings dargestellt. Dabei orientiert sich das Ranking nach dem Mittelwert aller Lernender.

Für Lernende sind physikalische Inhalte der Elektrizitätslehre am interessantesten in den Kontexten *Verbrechensaufklärung* und *elektrische Fische* sowie *Blitze* und *medizinische Anwendungen*. Am wenigsten interessiert sind die Jugendlichen an den Kontexten *Geschichte der Elektrizität*, *Taschenlampe* und *Körperfettwaage* sowie *Luft- und Wasserqualität*. Hohe Streuungen in der Bewertung eines Kontextes weisen jedoch darauf hin, dass die Sachinteressen der Lernenden auch innerhalb eines Kontextes stark variieren.

Tabelle 2: Mittelwertranking der Kontexte sortiert nach der Beurteilung durch alle Lernenden. Die Skala reichte von „1 = sehr geringes Interesse“ bis „5 = sehr großes Interesse“.

Nr.	Kontext	Mittelwert		
		alle	Mädchen	Jungen
1	Verbrechensaufklärung	3,76	4,01	3,49
2	Elektrische Fische	3,65	3,69	3,62
3	Blitze	3,49	3,50	3,51
4	Medizinische Anwendungen	3,37	3,50	3,24
5	Sicherheit vor Elektrounfällen	3,15	3,28	3,02
6	Frisur	3,13	3,48	2,80
7	Elektrizität im Haushalt	3,07	2,96	3,19
8	Elektrizität im Straßenverkehr	3,00	2,95	3,11
9	Kopierer	2,99	3,16	2,79
10	Hochspannungsleitungen	2,98	3,06	2,94
11	Elektrozaun	2,92	2,79	3,07
12	Batterien	2,85	2,76	3,02
13	Autoscooter	2,79	2,70	2,89
14	Elektrofischen	2,78	2,71	2,94
15	Luft- und Wasserqualität	2,74	2,69	2,82
16	Körperfettwaage	2,51	2,68	2,35
17	Taschenlampe	2,47	2,41	2,54
18	Geschichte der Elektrizität	2,45	2,36	2,58

2. Wie unterscheiden sich Mädchen und Jungen in ihrem Sachinteresse an den Kontexten?

Im Vergleich der Geschlechter (s. Tabelle 2) fällt das größere Interesse der Mädchen an den Kontexten *Verbrechensaufklärung*, *Sicherheit vor Elektrounfällen*, dem *Kopierer* und den Kontexten *medizinische Anwendungen*, *Frisur* sowie der *Körperfettwaage* auf. Eine genauere Auswertung zeigt, dass sich das Interesse von Mädchen und Jungen bei diesen Kontexten zwar nachweislich unterscheidet, der Unterschied jedoch relativ klein ausfällt und für die Praxis daher eher von geringer Bedeutung ist. Eine Ausnahme liegt beim Kontext *Frisur* vor, an dem die Mädchen wesentlich stärker als die Jungen interessiert sind, weshalb dieser Interessenunterschied bei der Gestaltung von Unterricht berücksichtigt werden sollte. Jungen sind dagegen tendenziell stärker an den Kontexten *Batterien*, *Geschichte der Elektrizität*, *Elektrizität im Haushalt* und *Elektrozaun* interessiert, wobei der Unterschied zu den Mädchen ebenfalls eher gering ist. Diese Kontexte haben sich jedoch im Gesamtranking als eher wenig interessant erwiesen. Hervorzuheben ist, dass unter den interessantesten Kontexten die Kontexte *elektrische Fische* und *Blitze* beide Geschlechter gleichermaßen begeistern.

3. Welche konkreten Fragestellungen aus den Kontext-Skalen finden Mädchen und Jungen interessant?

Die sechs interessantesten und am wenigsten interessanten Fragestellungen für Mädchen und Jungen werden in Tabelle 3 ebenfalls in Form eines Mittelwertrankings dargestellt. Besonders hervorzuheben ist, dass die drei interessantesten Fragestellungen bei Jungen und Mädchen identisch sind (s. Tabelle 3). Die Analyse der Fragen vier, fünf und sechs im Ranking zeigt für Jungen und Mädchen leicht unterschiedliche

Tabelle 3: Die sechs interessantesten und am wenigsten interessanten Fragen für Mädchen und Jungen aus der IDa-Studie mit 125 Fragestellungen unter Angabe des Mittelwertes *M* (5-stufige-Likert-Skala mit „1 = sehr geringes Interesse“ bis „5 = sehr großes Interesse“).

Nr.	Was Mädchen interessiert	M	Was Jungen interessiert	M
1	Wie wird beim Lügendetektor darauf zurückgeschlossen, dass es sich bei einer Aussage um eine Lüge handelt?	4.30	Wie erzeugen elektrische Fische (z. B. der Zitteraal) Elektrizität?	3.81
2	Warum töten Zitteraale sich nicht selbst durch ihre Stromschläge?	3.97	Warum töten Zitteraale sich nicht selbst durch ihre Stromschläge?	3.77
3	Wie erzeugen elektrische Fische (z. B. der Zitteraal) Elektrizität?	3.89	Wie wird beim Lügendetektor darauf zurückgeschlossen, dass es sich bei einer Aussage um eine Lüge handelt?	3.74
4	Wovon hängt es ab, ob ein Blitzschlag in der Umgebung eines Fußballfeldes überlebt werden kann?	3.63	Wie wird bei einem Joystick der Spielekonsole festgestellt, in welcher Position er sich gerade befindet?	3.72
5	Wie funktioniert ein Herzschrittmacher?	3.62	Wie werden Blitze in einer Plasmakugel erzeugt?	3.64
6	Wie entstehen Blitze?	3.62	Warum gehen Blitze einer Plasmakugel immer zur aufgelegten Hand und warum kann man diese gefahrlos berühren?	3.63
	...		...	
120	Warum leuchten die Zuleitungsdrähte einer Glühlampe nicht?	2.41	Wie ist die Beleuchtung an einem Fahrrad mit Dynamo verkabelt?	2.47
121	Welche Funktion hat der Schalter an einer Taschenlampe?	2.40	Welche Ursache kann es haben, wenn das Licht am Fahrrad mit einem Dynamo nicht mehr funktioniert?	2.46
122	Seit wann sind elektrische Ladungen bekannt?	2.40	Welche Physiker haben wichtige Entdeckungen mit Elektrizität gemacht?	2.45
123	Wie ist die Beleuchtung an einem Fahrrad mit Dynamo verkabelt?	2.38	Wodurch ist der von der Waage angezeigte Wert zur Fettmessung beeinflussbar?	2.39
124	In welche Richtung fließt Strom in einer Taschenlampe?	2.37	Wie wird die Temperatur am Glätteisen für die Haare gesteuert?	2.37
125	Welche Physiker haben wichtige Entdeckungen mit Elektrizität gemacht?	2.29	Warum messen handelsübliche Körperfettwaagen andere Werte als medizinische Körperfettwaagen?	2.29

Schwerpunkte zum Kontext *Blitze*. Für Mädchen sind die Fragen zu natürlichen Blitzen (Entstehung) und den Gefahren für den Menschen (Überleben eines Blitzeinschlages) gewichtiger als Fragen zu Blitzen in der Plasmakugel. Bei Jungen ist dies genau umgekehrt: Die Frage nach der Entstehung von Blitzen wird interessanter bewertet, wenn sie sich auf die Plasmakugel bezieht. Bei den uninteressantesten Fragestellungen zeigt sich bei den Mädchen und Jungen in beiden Testheften ebenfalls eine Überschneidung. Historische Aspekte, Fragen zur Taschenlampe oder zum Dynamo sind weitgehend uninteressant. Bei Jungen kommt zusätzlich hinzu, dass Fragen zur Körperfettwaage oder dem Glätteisen auf wenig Interesse stoßen.

5. Diskussion und Zusammenfassung

Ziel der IDa-Studie war es, die Teildimension Kontext des Sachinteresses von Lernenden speziell im Gebiet der Elektrizitätslehre in der Sekundarstufe I genauer zu erheben. Die Perspektive von Lernenden bei der Wahl von Kontexten für den Physikunterricht, die häufig vernachlässigt wird, soll dadurch stärkere Beachtung finden.

Zusammenfassend zeigt sich, dass sich die bereichsübergreifenden Ergebnisse der IPN- und ROSE-Studie mit den Ergebnissen der IDa-Studie zu einem konkreten Inhaltsgebiet, im vorliegenden Fall zur Elektrizitätslehre, weitgehend decken. Obwohl die Items aller drei Studien nicht direkt miteinander vergleichbar sind, lässt sich ein gemeinsamer Trend ablesen: Verschiedene Kontexte werden von Lernenden unterschiedlich attraktiv wahrgenommen [5, 17, 19]. Gleichwohl hat die IDa-Studie für das Teilgebiet der Elektrizitätslehre gezeigt,

dass es Kontexte gibt, die sowohl viele Jungen als auch viele Mädchen ansprechen und daher ein großes Potenzial zur Interessenförderung haben. So ist das Interesse von Jugendlichen an medizinischen und gesellschaftsrelevanten Kontexten (*Verbrechensaufklärung, medizinische Anwendungen*) ebenso wie an Kontexten, welche die Natur und den Menschen ggf. auch durch Gefahren betreffen (*elektrische Fische, Blitze*), vergleichsweise hoch. Dagegen haben die im Unterricht gängig genutzten Kontexte, die im IDa-Fragebogen integriert waren, kein größeres Sachinteresse bei den Lernenden geweckt (z. B. Fragestellungen zur Fahrradbeleuchtung mit Dynamo, die jedoch fester Bestandteil bestimmter Lehrpläne in Deutschland sind [19]). Dies deutet darauf hin, dass der Alltagsbezug bei der Bewertung der Interessantheit von Kontexten nicht vorrangig scheint, weder bei Mädchen noch bei Jungen. Abweichend von der IPN-Studie hatte die ROSE-Studie bereits festgestellt, dass Kontexte zum Alltagsnutzen von Mädchen wenig interessant eingestuft werden [10]. Die IDa-Studie weist noch einen Schritt weiter: Bei der Bewertung der Interessantheit geht die Tendenz sowohl bei Jungen als auch bei Mädchen weniger in Richtung eines Alltagsbezuges als vielmehr in Richtung besonderer Kontexte. Die IDa-Studie gibt durch die stärkere Favorisierung der Jungen von Items zur Plasmakugel außerdem Hinweise auf das Ergebnis in der ROSE-Studie, dass Jungen stärker durch spektakuläre Phänomene angesprochen werden [10] und sie weit weniger als Mädchen am Fitness-Kontext interessiert sind (s. *Körperfettwaage*). Hieran sowie am Kontext *Frisur* spiegelt sich zudem wider, dass für Jungen grundsätzlich nicht jeder Bezug zum menschlichen Körper interessant ist [11]. Geschichtliche Kontexte haben sich zudem im Vergleich zu allen anderen Kontexten der IDa-Studie als weitgehend uninteressant heraus-

gestellt. Der Mythos, dass historische Aspekte helfen, die Interessen der Lernenden anzusprechen, hat sich nicht bestätigt.

6. Kontextstrukturiertes Unterrichtsmaterial

Als Implikation für die Unterrichtspraxis ergibt sich aus den Resultaten der IDa-Studie, dass es vor allem auf den Einsatz von Kontexten aus den unterschiedlichen Bereichen Technik, Mensch/Natur und Gesellschaft ankommt, um im Verlauf einer Unterrichtsreihe das Interessensspektrum der Lernenden möglichst optimal abzudecken (interessendifferenzierter Unterricht). Als Anregung für Lehrkräfte wurde hierzu auf Grundlage der IDa-Studie und in Hinblick auf die zeitliche Unterrichtsstruktur (45- oder 90-Minuten-Takt) eine Unterrichtsreihe zur Elektrizitätslehre in Form von Arbeitsblättern für Lernende entwickelt, die insbesondere ihre favorisierten Kontexte miteinbezieht. Diese kontextstrukturierten Unterrichtsmaterialien „Elektrizitätslehre in Kontexten“ sind im Brigg-Verlag er-

hältlich [20]. Ebenfalls auf den Kontexten der IDa-Studie aufbauend ist das Unterrichtskonzept „Eine Einführung in die Elektrizitätslehre mit Kontexten“, das von Benedikt Gottschlich und Kolleg*innen in diesem Heft beschrieben wird [21].

Liza Dopatka *Georg-Büchner Schule Darmstadt*

Verena Spatz *Technische Universität Darmstadt,*

Fachbereich Physik, Physikdidaktik

Jan-Philipp Burde *Eberhard Karls Universität Tübingen,*

AG Didaktik der Physik

Thomas Wilhelm *Goethe-Universität Frankfurt,*

Institut für Didaktik der Physik

Thomas Schubatzky *Karl-Franzens-Universität Graz,*

Institut für Physik, Physikdidaktik

Claudia Haagen-Schützenhöfer *Karl-Franzens-*

Universität Graz, Institut für Physik, Physikdidaktik

Martin Hopf *Universität Wien, Didaktik der Physik*

Lana Ivanjek *TU Dresden, Didaktik der Physik*

Literatur

- [1] Wilhelm T, Schecker H, Hopf M (Hrsg) (2021) Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. Springer, Berlin
- [2] Hoffmann L, Häußler P, Lehrke M (1998) Die IPN-Interessenstudie Physik. IPN, Kiel
- [3] Elster D (2005) Was macht naturwissenschaftlichen Unterricht für Mädchen und für Buben interessant? In: Österreichisches Zentrum für Begabtenförderung und Begabtenforschung (Hrsg) Die Forscher/innen von morgen. Studien-Verlag, Innsbruck, Wien, Bozen
- [4] Schiepe-Tiska A, Simm I, Schmidtner S (2016) Motivationale Orientierungen, Selbstbilder und Berufserwartungen in den Naturwissenschaften in PISA 2015. In: Reiss K, Sälzer C, Schiepe-Tiska A, Klieme E, Köller O (Hrsg) PISA 2015. Eine Studie zwischen Kontinuität und Innovation. Waxmann, Münster, New York, S 99-132
- [5] Bennett J, Lubben F, Hogarth S (2007) Bringing science to life: A synthesis of the research evidence on the effects of context-based and STS approaches to science teaching. Sci. Ed. 91(3):347-370. doi:10.1002/sce.20186
- [6] KMK (2005) Beschlüsse der Kultusministerkonferenz. Bildungsstandards im Fach Physik für den mittleren Bildungsabschluss (Beschluss vom 16. Dezember 2004). Wolters Kluwer, München
- [7] Sjøberg S (2000) Science and Scientists: The SAS Study. Cross cultural evidence and perspectives on pupils interests, experiences and perceptions Background, Development and Selected Results. University of Oslo, Faculty of Education, Department of Teacher Education and School Development, Oslo
- [8] van Vorst H, Fechner S, Sumfleth E (2018) Unterscheidung von Kontexten für den Chemieunterricht. Untersuchung des Einflusses möglicher Kontextmerkmale auf das situationale Interesse im Fach Chemie. ZfDN 24(1):167-181. doi:10.1007/s40573-018-0081-z
- [9] Rost J, Sievers K, Häußler P, Hoffmann L, Langeheine R (1999) Struktur und Veränderung des Interesses an Physik bei Schülern der 6. bis 10. Klassenstufe. Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie 31:18-31
- [10] Elster D (2007) In welchen Kontexten sind naturwissenschaftliche Inhalte für Jugendliche interessant? Ergebnisse der ROSE-Erhebung in Österreich und Deutschland. Didaktik (3):2-8
- [11] Holtermann N, Bögeholz S (2007) Interesse von Jungen und Mädchen an naturwissenschaftlichen Themen am Ende der Sekundarstufe I. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 13:71-86
- [12] Sjøberg S, Schreiner C (2010) The ROSE project. An overview and key findings. University of Oslo
- [13] Elster D (2008) Was interessiert Jugendliche an den Naturwissenschaften? Ergebnisse der ROSE-Erhebung, Österreichisches Kompetenzzentrum, Didaktik der Biologie, Universität Wien
- [14] Elster D (2007) Student interests – the German and Austrian ROSE survey. Journal of Biological Education 42(1):5-11
- [15] Taber KS (1991) Gender Differences in Science Preferences on Starting Secondary School. Research in Science & Technological Education 9(2):245-251
- [16] Potvin P, Hasni A (2014) Analysis of the decline in interest towards school science and technology from grades 5 through 11. Journal of Science Education and Technology 23(6):784-802
- [17] Elster D (2010) Zum Interesse Jugendlicher an den Naturwissenschaften. Ergebnisse der ROSE Erhebung aus Deutschland und Österreich. Geisteswissenschaften, Sprachwissenschaften (Philosophie, Religion,...). Shaker Verlag
- [18] Hessisches Kultusministerium (2011) Bildungsstandards und Inhaltsfelder. Das neue Kerncurriculum für Hessen. Sekundarstufe I – Gymnasium. Physik. https://kultusministerium.hessen.de/sites/default/files/media/kerncurriculum_physik_gymnasium.pdf. Zugegriffen: 16. März 2018
- [19] Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2008) Kernlehrplan für das Gymnasium – Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen – Physik. Schriftenreihe "Schule in NRW", Bd 3411. Ritterbach, Frechen
- [20] Dopatka L, Keursten F, Spatz V (2020) Elektrizitätslehre in Kontexten. Brigg Verlag, Friedberg
- [21] Gottschlich B, Burde J-P, Wilhelm T, Dopatka L, Spatz V, Hopf M, Ivanjek L, Schubatzky T, Haagen-Schützenhöfer C (2022) Eine forschungsgeleitete Einführung in die Elektrizitätslehre mit Kontexten. Plus Lucis, 2022(2) (dieses Heft)

Eine forschungsgeleitete Einführung in die Elektrizitätslehre mit Kontexten

Benedikt Gottschlich, Jan-Philipp Burde, Thomas Wilhelm, Liza Dopatka, Verena Spatz, Martin Hopf, Lana Ivanjek, Thomas Schubatzky und Claudia Haagen-Schützenhöfer

1. Hintergrund und Motivation

Neben der Vermittlung inhaltlicher und prozessbezogener Kompetenzen ist ein Kernziel schulischer Bildung, bei Lernenden Interesse für fachliche Inhalte zu wecken und damit die Voraussetzung für eine intrinsisch motivierte Beschäftigung mit den behandelten Themen zu schaffen [1]. Für die Physik ist dies von besonderer Relevanz, weil Erhebungen eine Abnahme des Sachinteresses von Schüler*innen im Laufe der Sekundarstufe I zeigen [1, 2]. Darüber hinaus gilt Physik insbesondere bei Mädchen als eines der unbeliebtesten Fächer überhaupt [3]. Eine ausführlichere Darstellung der Erkenntnisse aus der Interessensforschung bietet der Beitrag [4] in diesem Heft.

Um das Interesse der Lernenden an einem Thema zu wecken, bietet sich kontextbasierter Unterricht an, also eine Unterrichtsgestaltung, bei der zur Vermittlung physikalischer Inhalte auf Kontexte zurückgegriffen wird. Viele Lehrkräfte praktizieren ein solches Vorgehen bereits in verschiedenen Formen; vor dem Hintergrund der Interessensforschung ist dies auch prinzipiell ein empfehlenswerter Ansatz: Obwohl Schüler*innen allgemein ein vergleichsweise gering ausgeprägtes Interesse am Physikunterricht haben, kann das Interesse an den gleichen physikalischen Inhalten nämlich durch eine Einbettung in spannende Kontexte gesteigert werden [2, 5, 6]. Vereinzelt tragen aktuelle Schulbücher diesem Umstand insofern bereits Rechnung, als dass Kontextbezüge zur Motivation eines Themas im Rahmen von Übungsaufgaben oder auf Exkurs-Seiten aufgegriffen werden. Das in diesem Beitrag vorgestellte Unterrichtskonzept „Eine Einführung in die Elektrizitätslehre mit Kontexten“ verfolgt allerdings den weiterführenden „kontextstrukturierten“ Ansatz: Kontexte werden hierbei nicht nur als Beispiele oder zur Illustration von zuvor fachsystematisch erworbenem Fachwissen verwendet, sondern bilden vielmehr den roten Faden für das Erlernen fachlicher Inhalte [7]. Schüler*innen sollen physikalische Zusammenhänge demnach entlang von Kontexten sowohl kennenlernen als auch verstehen und einüben. Das Unterrichtskonzept stellt erstmalig einen forschungsgeleiteten kontextstrukturierten Ansatz zu einfachen Stromkreisen im Schulbuchformat dar, da bislang keine entsprechenden Unterrichtskonzepte zur Verfügung stehen, welche die Ergebnisse der Interessensforschung systematisch berücksichtigen [8].

Die Auswahl der Kontexte für das Unterrichtskonzept basiert auf Erkenntnissen aus der Forschung zu Interessen von Schüler*innen im naturwissenschaftlichen Unterricht,

insbesondere den Ergebnissen der IPN-Studie [2], der ROSE-Studie [9] und der IDa-Studie [4]. Dementsprechend zielt das entwickelte Unterrichtskonzept darauf ab, durch die Verwendung von Kontexten auch jenseits des Bereichs Technik die unterschiedlichen Interessensdomänen der Schüler*innen adäquat zu berücksichtigen. Das Konzept kann in Form eines 72 Seiten umfassenden Hefts, das aufgrund des inhaltlichen Aufbaus aus erklärenden Texten, Abbildungen und Übungsaufgaben den Charakter eines Schulbuchs hat, auf www.einfache-elehre.de kostenlos heruntergeladen werden [10]. Darüber hinaus finden sich dort auch digitale Zusatzmaterialien zu den einzelnen Kapiteln mit weiterführenden Hintergrundinformationen und Illustrationen, um die Umsetzung des Konzepts im Unterricht zu erleichtern.

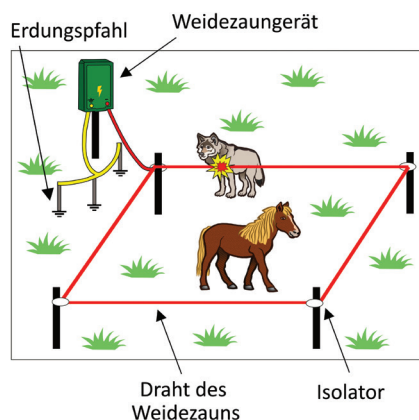
2. Didaktische Grundüberlegungen

Das kontextstrukturierte Unterrichtskonzept wurde so ausgearbeitet, dass es sich – sowohl als Ganzes wie auch abschnittsweise – unkompliziert in den typischen Physikunterricht integrieren lässt. Dies findet Ausdruck durch folgende zwei Eigenschaften:

- (i) Dem Unterrichtskonzept liegt eine für den Elektrizitätslehreunterricht typische Sachstruktur zugrunde. Im Hinblick auf die Frage, welche Struktur hierfür als repräsentativ betrachtet werden kann, wurden die Ergebnisse aus einer Analyse des Elektrizitätslehreunterrichts von 32 Physiklehrkräften in Deutschland und Österreich berücksichtigt [11] (siehe auch [12] in diesem Heft). Dabei zeigte sich, dass es aufgrund der Heterogenität der beobachteten Ansätze nicht möglich ist, von der konventionellen Sachstruktur zu sprechen. Vielmehr bildet das Konzept, dessen Themenabfolge in Tabelle 1 dargestellt ist, die in der Praxis benutzten Ansätze bestmöglich ab. Es orientiert sich insbesondere auch an den in aktuell eingesetzten Schulbüchern benutzten Sachstrukturen.
- (ii) Das Unterrichtskonzept verwendet Mikrokontexte, welche in einzelnen Unterrichtsstunden eingesetzt werden können und keine wesentlichen zusätzlichen methodischen oder organisatorischen Anforderungen an den Unterricht stellen [13]. Hierbei ist jeweils ein Kontext einem Kapitel zugeordnet. Falls Lehrkräfte nur einzelne Elemente des Konzepts in ihrem Unterricht einsetzen möchten, so ist dies aufgrund der in sich abgeschlossenen Sinneinheiten in den Unterrichtsmaterialien also problemlos möglich. Durch diesen Ansatz können Lehrkräfte außerdem der

Vielfalt der Interessen innerhalb einer Klasse Rechnung tragen. Zwar hat das entwickelte Unterrichtskonzept den Anspruch, als alleinige Grundlage für die Einheit zur elementaren Elektrizitätslehre genutzt werden zu können, allerdings bietet es durch die genannten Eigenschaften den Vorteil, dass Lehrkräfte es auch in Kombination mit anderen Lehrmaterialien verwenden können.

Zu Beginn jedes Kapitels wird in Anlehnung an den Modified-Anchored-Instruction-Ansatz [14] zunächst eine Leitfrage mit Bezug zum Kontext des entsprechenden Kapitels aufgeworfen (siehe Abb. 1). Im Anschluss daran erfolgt anhand von Texten und Abbildungen die Erarbeitung der fachlichen Inhalte, wobei auch hier wo immer möglich der Bezug zum Kontext beibehalten wird. Mithilfe des fachlichen Verständnisses, welches die Schüler*innen entlang des jeweiligen Kontexts erarbeiten, wird daraufhin die Leitfrage des Kapitels beantwortet. Damit die Lernenden befähigt werden, die fachlichen Inhalte auch außerhalb der Kontextumgebung anzuwenden („Dekontextualisierung“), sind die wichtigsten fachlichen Aussagen am Ende jedes Kapitels in generalisierter Form grafisch hervorgehoben dargestellt. Auch bei den Übungsaufgaben wurde auf ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Aufgaben mit und ohne Kontextbezug geachtet.



Was passiert, wenn mehrere Tiere gleichzeitig den Zaun berühren?



Abbildung 1: Leitfrage im Kapitel zu Parallelschaltungen (eigene Erstellung mit Bildern aus openclipart.org und pixabay.com)

3. Beschreibung der verwendeten Kontexte

Wie bereits ausgeführt, soll die Arbeit mit den Kontexten das Interesse der Schüler*innen fördern sowie das Erlernen des jeweiligen Fachinhalts unterstützen. Da es sich um ein Unterrichtskonzept für den Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht handelt, sind die Kontexte in Bezug auf ihre Fachlichkeit teilweise stark elementarisiert. Die Zuordnung der Kontexte zu den einzelnen Kapiteln ist in Tabelle 1 dargestellt. Das hier vorgestellte Unterrichtskonzept schließt mit einer Aufgabensammlung ab, in welcher kapitelübergreifend anhand

von qualitativen und quantitativen Aufgaben das Verständnis elektrischer Stromkreise vertieft werden kann.

Tabelle 1: Zuordnung der verwendeten Kontexte zu den einzelnen Kapiteln

	Kapitel	Kontext
1	Elektrischer Stromkreis	Autoscooter / Autodrom
2	Elektrische Leitfähigkeit	Geoelektrik I
3	Elektrische Stromstärke	Nebelschlussleuchte
4	Elektrische Spannung	Zitteraal
5	Elektrischer Widerstand	Geoelektrik II
6	Parallelschaltungen	Elektrischer Weidezaun
7	Reihenschaltungen	Reizstrombehandlung
8	Ohmsches Gesetz	Reiseföhn
9	Übungen zur Wiederholung und Vertiefung	

3.1 Der Autoscooter zur Einführung in elektrische Stromkreise

Um die Bestandteile einfacher Stromkreise zu thematisieren und zu diskutieren, welche Voraussetzungen zur Energieübertragung in einem Stromkreis gegeben sein müssen, bietet sich der Kontext Autoscooter bzw. Autodrom an, den die meisten Schüler*innen von Volksfesten kennen. Hierbei kann insbesondere vermittelt werden, dass ein elektrischer Stromkreis zur Energieübertragung sowohl eine Spannungsquelle benötigt als auch geschlossen sein muss. Beim Autoscooter haben Elektroautos Kontakt zum Stahlboden und auch zu einem oberhalb befestigten Gitternetz (siehe Abb. 2), sodass ein geschlossener Stromkreis vorliegt. Der Kontext vermittelt somit anknüpfend an Alltagserfahrungen, dass nur ein geschlossener Stromkreis Energie übertragen kann – in diesem Fall zu den Elektroautos. Der Autoscooter eignet sich darüber hinaus besonders für dieses einführende Kapitel, da die Funktionalitäten verschiedener Einrichtungen am Autoscooter sich verhältnismäßig leicht den Funktionalitäten der Bauteile im einfachen elektrischen Stromkreis zuordnen lassen.



Abbildung 2: Der Autoscooter bzw. das Autodrom im einführenden Kapitel zum elektrischen Stromkreis (Quelle: pixabay.com)

3.2 Mit der Geoelektrik zur Leitfähigkeit

Die Klassifizierung von Materialien nach ihrer Leitfähigkeit sowie die Erklärung der unterschiedlichen Leitfähigkeiten auf einer atomaren Ebene kann anhand des Kontexts

Geoelektrik im Unterricht erfolgen. Hier kann besprochen werden, wie in der Geophysik z. B. mithilfe in den Erdboden gesteckter Elektroden Objekte unterhalb der Erdoberfläche identifiziert werden können. Wie in [15] dargestellt, kann die Herangehensweise der Geoelektrik auch im Rahmen eines Schüler*innenpraktikums nachempfunden werden. Anhand des Kontexts wird erarbeitet, dass es zwischen den Elektroden aufgrund der durch die Spannungsquelle erzeugten elektrischen Spannung zu einem elektrischen Strom im Untergrund kommt und dass die Stärke dieses Stroms u. a. von der Leitfähigkeit der sich unter der Erdoberfläche befindlichen Objekte abhängt. Wenn die Stromstärke als physikalische Größe noch nicht eingeführt ist, können Lehrkräfte provisorisch mit der Helligkeit einer Glühlampe als Indikator für die Leitfähigkeit argumentieren (siehe Abb. 3).

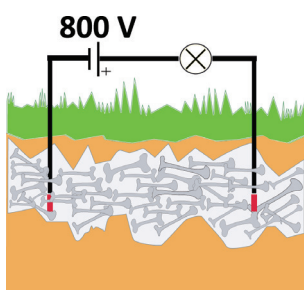


Abbildung 3: Die Geoelektrik im Kapitel zur elektrischen Leitfähigkeit (eigene Erstellung)

3.3 Über die Nebelschlussleuchte zur Stromstärke

Bei einer kontextbasierten Betrachtung der elektrischen Stromstärke ist es naheliegend, eine der Wirkungen des elektrischen Stroms in den Fokus zu nehmen. Der Kontext der Nebelschlussleuchte (siehe Abb. 4) ermöglicht dies insofern, als dass die Lichtwirkung des Stroms für die Helligkeit dieser Leuchte verantwortlich ist. Schüler*innen könnten im Alltag bereits aufgefallen sein, dass die Leuchten am Auto unterschiedlich hell sind. Dass die Nebelschlussleuchte eine größere Helligkeit aufweist als z. B. das Rücklicht, kann somit auf eine größere Stromstärke im Stromkreis der Nebelschlussleuchte zurückgeführt werden. Der Kontext eignet sich auch für eine Diskussion des Zusammenhangs zwischen Stromstärke und Widerstand: Die im Vergleich z. B. zum Rücklicht größere Stromstärke im Stromkreis der



Abbildung 4: Die Nebelschlussleuchte im Kapitel zur elektrischen Stromstärke (Quelle: HyperbolicSheet auf Wikipedia unter CC BY-SA 3.0)

Nebelschlussleuchte kommt dadurch zustande, dass die Nebelschlussleuchte in diesem Vergleich den geringeren Widerstand aufweist.

3.4 Über den Zitteraal zur Spannung

Zur Einführung der Spannung eignet sich der Kontext Zitteraal (siehe Abb. 5), für den seine elektrischen Organe von Bedeutung sind, weil er sich mithilfe der erzeugten elektrischen Felder orientiert und auf der Jagd Beutetiere durch Stromschläge betäuben kann. Der Körper eines Zitteraals enthält stromerzeugende Elemente (sogenannte Elektrocyten), die bei gemeinsamer Aktivierung Stromschläge erzeugen können. Durch den Vergleich der von einem Zitteraal erzeugbaren Spannung (ca. 600 V) mit Steckdosen und Batterien können Lehrkräfte anschaulich ein Gefühl für die Größe der elektrischen Spannung und die Gefahr einer Spannungsquelle vermitteln. Zusätzlich kann anhand des Kontexts deutlich gemacht werden, dass das Anliegen einer Spannung die notwendige Voraussetzung für den elektrischen Strom ist. Im Rahmen von Unterrichtsversuchen während der Entwicklung der kontextstrukturierten Unterrichtsmaterialien zeigte sich, dass der Zitteraal als biologisches Thema nicht nur das Interesse vieler Schüler*innen weckt, sondern gleichzeitig auch Anlass für weiterführende Diskussionen bietet.



Abbildung 5: Der Zitteraal im Kapitel zur elektrischen Spannung (Quelle: Electric Eel by Scott auf flickr.com, Lizenz: CC BY-SA 2.0)

3.5 Über die Geoelektrik zum elektrischen Widerstand

Auch für die Thematisierung des elektrischen Widerstands eignet sich die Geoelektrik, da die Themen Leitfähigkeit und Widerstand auf fachlicher Ebene eine inhaltliche Nähe aufweisen. Wenn die Spannung und die Stromstärke als Größen

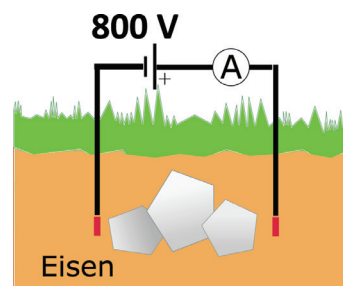


Abbildung 6: Die Geoelektrik im Kapitel zum elektrischen Widerstand (eigene Erstellung)

eingeführt sind, kann im Unterricht nun thematisiert werden, wie mithilfe der Geoelektrik Objekte tatsächlich identifiziert werden können. Über die Messung von Stromstärke und Spannung (siehe Abb. 6) kann nämlich ein Widerstandswert angegeben werden, der z. B. bei steigendem Wassergehalt im Erdreich sinkt. Auf diese Weise sind präzisere Aussagen über Objekte unter der Erde möglich. Insbesondere erlernen Schüler*innen auf diese Weise auch den quantitativen Umgang mit der Größe des elektrischen Widerstands.

3.6 Über den elektrischen Weidezaun zu Parallelschaltungen

Inhaltliches Lernziel dieses Kapitels ist es, dass Schüler*innen den Zusammenhang zwischen Spannung, Stromstärke und Widerstand bei Parallelschaltungen verstehen und anwenden können. Eine Möglichkeit zur Vermittlung dieser Inhalte bietet der Kontext des elektrischen Weidezauns. Dieser greift vor dem Hintergrund der medialen Diskussion über steigende Zahlen von Wolfsrudeln und gerissenem Nutzvieh in den vergangenen Jahren eine gesellschaftlich relevante Entwicklung auf. Anhand des Kontexts kann diskutiert werden, wie z. B. Pferde auf einer Koppel mithilfe eines Weidezauns vor Wölfen geschützt werden können. Die Parallelschaltung ist im Kontext dadurch gegeben, dass mehrere Wölfe den Stromkreis zwischen Weidezaun und Boden gleichzeitig schließen (siehe Abb. 7). Eine zentrale Frage des Kapitels ist entsprechend, inwiefern sich die Stromstärke durch einen einzelnen Wolf verändert, wenn zwei oder mehr Wölfe gleichzeitig Kontakt zum Weidezaun haben. Anhand dieses stark elementarisierten Kontexts lernen die Schüler*innen, dass die Gesamtstromstärke, welche sich durch die am Weidezaungerät bereitgestellte Spannung ergibt, mit zunehmender Anzahl an Wölfen ansteigt, um einen gleichbleibenden Schutz der Nutztiere zu gewährleisten.

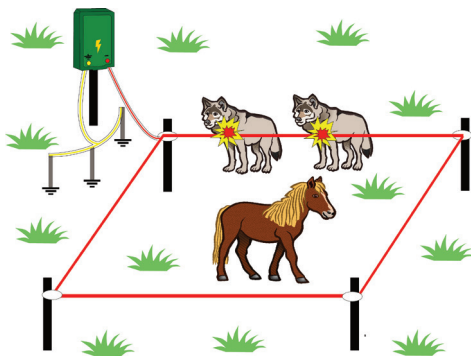


Abbildung 7: Der elektrische Weidezaun im Kapitel zu Parallelschaltungen (eigene Erstellung mit Bildern aus openclipart.org)

3.7 Über die Reizstrombehandlung zu Reihenschaltungen

Für die Behandlung der Gesetzmäßigkeiten von elektrischer Stromstärke, Spannung und Widerstand bei Reihenschaltungen können Lehrkräfte die Reizstrombehandlung als einen Kontext mit humanbiologischem Bezug verwenden. Hierbei wird elektrischer Strom zur Stimulation von Muskeln eingesetzt. Im

Unterricht kann diesbezüglich eingangs die Frage aufgeworfen werden, inwiefern es bei einer Reizstrombehandlung einen Unterschied für die Stromstärke macht, wenn der Strom statt nur durch ein Knie nun (nicht fachgerecht) durch zwei „in Reihe“ geschaltete Knie geleitet wird (siehe Abb. 8), was einer Reihenschaltung mit zwei gleich großen Widerständen entspricht. Durch das Anlegen des Reizstromgeräts an Handgelenk und Finger kann man auch Reihenschaltungen mit unterschiedlich großen Widerständen betrachten.

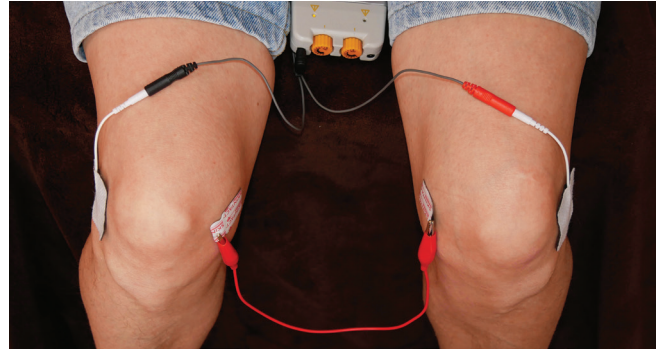


Abbildung 8: Die Reizstrombehandlung im Kapitel zu Reihenschaltungen (Bild erstellt von Thomas Wilhelm)

3.8 Mit dem Reiseföhn zum ohmschen Gesetz

In Bezug auf das ohmsche Gesetz sollen Schüler*innen lernen, dass dieses Gesetz nur für ohmsche Widerstände gilt. Allerdings handelt es sich bei den wenigsten im Alltag gebräuchlichen Widerständen, so auch nicht beim Reiseföhn, um ohmsche Widerstände. Der Kontext Reiseföhn eignet sich trotzdem sinnvoll für die Diskussion, woran es liegt, dass ein aus Europa in die USA mitgebrachter Föhn dort nur „ein laues Lüftchen“ erzeugt. Auch wenn der Reiseföhn kein ohmscher Widerstand ist, kann dies qualitativ mit der geringeren Netzspannung in den USA begründet werden, die zu einer geringeren Stromstärke führt. Die Fragestellung, inwiefern verschiedene Elektrogeräte bei unterschiedlichen Netzspannungen nutzbar sind, eignet sich somit insgesamt sinnvoll für eine Diskussion der Zusammenhänge der Grundgrößen Spannung, Stromstärke und Widerstand im einfachen Stromkreis.

4. Fazit und Ausblick

Kontextbezüge sind aus dem modernen, lernendenorientierten Physikunterricht nicht wegzudenken und ein Lernen ohne Bezug zu Anwendungsbeispielen erscheint nicht denkbar [16]. Mit dem Konzept „Eine Einführung in die Elektrizitätslehre mit Kontexten“ wurde in diesem Beitrag ein Ansatz vorgestellt, der den weit verbreiteten Einsatz von Kontexten in der Schulpraxis auf zwei Ebenen weiterführt: Zum einen werden Kontextbezüge nicht bloß vereinzelt z. B. zur Motivation oder in Übungsaufgaben eingesetzt, sondern bilden den „roten Faden“, an dem die fachlichen Inhalte des jeweiligen Kapitels systematisch erarbeitet werden. Zum anderen greift das Konzept nicht nur auf die üblicherweise in bisherigen

Lehrmaterialien dominierenden technischen Kontexte zurück, sondern orientiert sich durch die Integration von biologischen, medizinischen und gesellschaftlichen Kontexten gezielt an den Erkenntnissen der Interessensforschung. Aufgrund der traditionellen Sachstruktur und der Verwendung von Mikrokontexten ist das hier vorgestellte Unterrichtskonzept zudem leicht im Regelunterricht umsetzbar.

Ob die Erwartungen an das vorgestellte kontextstrukturierte Unterrichtskonzept gerechtfertigt sind, wird aktuell in einer deutsch-österreichischen Studie untersucht [17]. Im Rahmen dieses gemeinsamen Projektes der Universitäten Darmstadt, Dresden, Frankfurt, Graz, Tübingen und Wien werden neben dem in diesem Beitrag beschriebenen Ansatz noch zwei weitere Unterrichtskonzepte zur Elektrizitätslehre der Sekundarstufe I entwickelt und evaluiert [18]. Während ein positiver Einfluss des kontextstrukturierten Ansatzes auf das Interesse auf Basis bisheriger Ergebnisse der Interessensforschung zu erwarten ist, ist der Einfluss auf das konzeptionelle Verständnis bisher nicht abschließend geklärt [19]. Über die begleitende Studie soll deshalb untersucht werden, inwiefern Lehrkräfte mit dem

hier vorgestellten Unterrichtskonzept neben einem höheren Sachinteresse auch ein besseres konzeptionelles Verständnis bei ihren Schüler*innen erreichen können.

Benedikt Gottschlich *Eberhard Karls Universität Tübingen, AG Didaktik der Physik*

Jan-Philipp Burde *Eberhard Karls Universität Tübingen, AG Didaktik der Physik*

Thomas Wilhelm *Goethe-Universität Frankfurt, Institut für Didaktik der Physik*

Liza Dopatka *Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Physik, Physikdidaktik*

Verena Spatz *Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Physik, Physikdidaktik*

Martin Hopf *Universität Wien, Didaktik der Physik*

Lana Ivanjek *TU Dresden, Didaktik der Physik*

Thomas Schubatzky *Karl-Franzens-Universität Graz, Institut für Physik, Physikdidaktik*

Claudia Haagen-Schützenhöfer *Karl-Franzens-Universität Graz, Institut für Physik, Physikdidaktik*

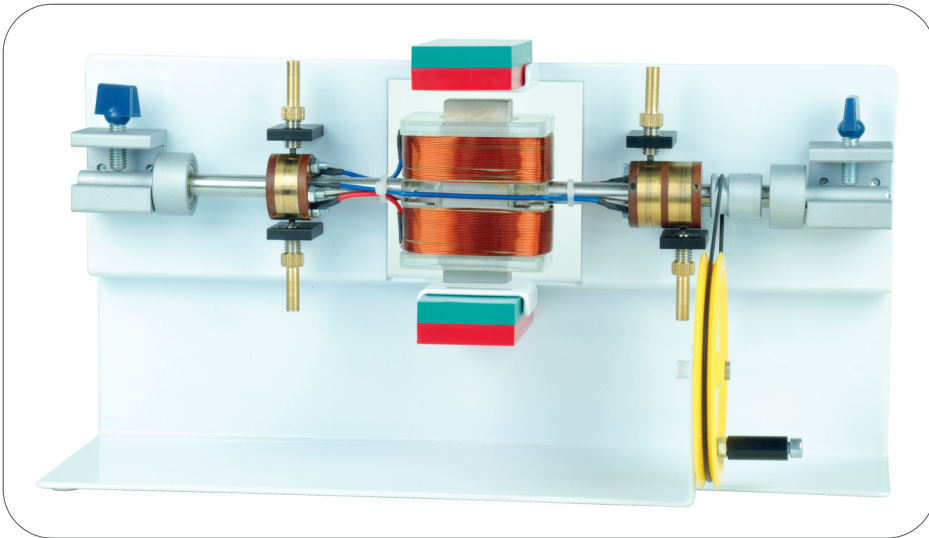
Literatur

- [1] Daniels, Z. (2008). Entwicklung schulischer Interessen im Jugendalter. Waxmann, Münster.
- [2] Hoffmann, L., Häußler, P., Lehrke, M. (1998). Die IPN-Interessenstudie Physik. IPN Kiel.
- [3] Muckenfuß, H. (2006). Lernen im sinnstiftenden Kontext. Entwurf einer zeitgemäßen Didaktik des Physikunterrichts. Cornelsen.
- [4] Dopatka, L., Spatz, V., Burde, J.-P., Wilhelm, T., Schubatzky, T., Haagen-Schützenhöfer, C., Hopf, M., Ivanjek, L. (2022). Interessante Fragestellungen aus vielfältigen Kontexten zur Elektrizitätslehre. Plus Lucis (dieses Heft).
- [5] Langeheine, R., Häußler, P., Hoffmann, L., Rost, J., Sievers, K. (2001). Strukturelle Veränderungen des Physikinteresses von der 7. zur 9. Jahrgangsstufe. Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie 33/1, 20-29.
- [6] Rost, J., Sievers, K., Häußler, P., Hoffmann, L., Langeheine, R. (1999). Struktur und Veränderung des Interesses an Physik bei Schülern der 6. bis 10. Klassenstufe. Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie 31/1, 18-31.
- [7] Nawrath, D. (2010). Kontextorientierung – Rekonstruktion einer fachdidaktischen Konzeption für den Physikunterricht. Didaktisches Zentrum, Oldenburg.
- [8] Dopatka, L., Spatz, V., Burde, J.-P., Wilhelm, T., Ivanjek, L., Hopf, M., Schubatzky, T., Haagen-Schützenhöfer, C. (2019). Erste Lehrkräfte rückmeldungen zum Unterrichtsmaterial von EKO: Elektrizitätslehre in Kontexten. In: PhyDid-B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 2019, 161-166.
- [9] Elster, D. (2007). Student interests — the German and Austrian ROSE survey. Journal of Biological Education 42/1, 5-10.
- [10] Gottschlich, B., Burde, J.P., Dopatka, L., Spatz, V., Hopf, M., Wilhelm, T., Schubatzky, T., Haagen-Schützenhöfer, C., Ivanjek, L. (2022). Eine Einführung in die Elektrizitätslehre mit Kontexten. Universität Tübingen.
- [11] Schubatzky, T. (2020). Das Amalgam Anfangs-Elektrizitätslehreunterricht. Logos-Verlag, Berlin.
- [12] Schubatzky, T., Haagen-Schützenhöfer, C., Burde, J.-P., Dopatka, L., Hopf, M., Ivanjek, L., Spatz, V., Wilhelm, T. Die Unterschiedlichkeit des Elektrizitätslehreunterrichts in der Sekundarstufe I. Plus Lucis (dieses Heft).
- [13] Kuhn, J., Müller, A., Müller, W., Vogt, P. (2010). Kontextorientierter Physikunterricht: Konzeptionen, Theorien und Forschung zu Motivation und Lernen. Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 59/5.
- [14] Müller, A., Kuhn, J., Müller, W., Vogt, P. (2010). "Modified Anchored Instruction" im naturwissenschaftlichen Unterricht: Ein Interventions- und Forschungsprogramm. In: Entwicklung naturwissenschaftlichen Denkens zwischen Phänomen und Systematik. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung 2009. Höttercke, D. (Hrsg.). LIT-Verlag, Münster, 149-151.
- [15] Kunert, P., Wilhelm, T., Junge, A. (2017). Ein Modellversuch zur Geoelektrik. Plus Lucis 2017/3, 41-43.
- [16] Parchmann, I., Kuhn, J. (2018). Lernen im Kontext. In: Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Krüger, D., Parchmann, I., Schecker, H. (Hrsg.). Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 193-207.
- [17] Gottschlich, B., Burde, J.-P., Dopatka, L., Spatz, V., Schubatzky, T., Haagen-Schützenhöfer, C., Ivanjek, L., Wilhelm, T., Hopf, M. (2021). Konzeption eines Forschungsprojekts zu kontextbasiertem traditionellen Unterricht zu einfachen Stromkreisen. In: PhyDid-B – Didaktik der Physik. Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 2021, 327-332.
- [18] Wilhelm, T., Burde, J.-P., Spatz, V., Haagen-Schützenhöfer, C., Hopf, M. (2018). Elektronengasmodell und Kontextorientierung – ein binationales Projekt. In: Qualitätsvoller Chemie- und Physikunterricht – normative und empirische Dimensionen, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Regensburg 2017. Maurer, C. (Hrsg.). Universität Regensburg, Regensburg, 772-775.
- [19] Taasobshirazi, G., Carr, M. (2008). A review and critique of context-based physics instruction and assessment. Educational Research Review 3/2, 155-167.

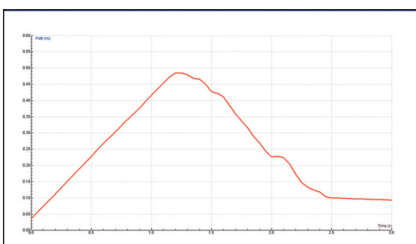
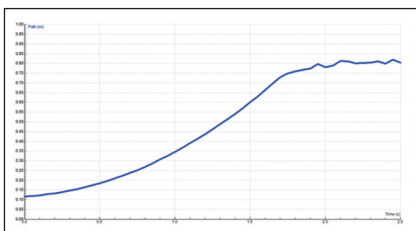
Wir bieten auch kompetente Beratung und Betreuung vor Ort, Experimentierliteratur (auch für fachfremde Lehrer), Sammlungszusammenstellungen für Gesamt- oder Teilausstattungen und vieles mehr an!



...für Schülerversuche

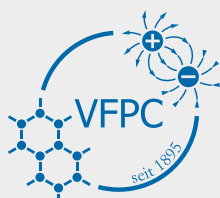


...für Lehrerversuche



...für computerunterstütztes
Messen





Neues aus dem Verein

Neu erschienene Handreichung für Lehrpersonen

Elektromagnetische Strahlung so aufzubereiten, dass dieses durchaus komplexe Thema bereits von Schüler*innen in der Unterstufe (Sek. I) gut verstanden bzw. erstes Verständnis aufgebaut werden kann – dieses Ziel setzte sich Sarah Zloklkovits mit ihrem Dissertationsvorhaben. Für ihr laufendes Projekt bekam sie 2021 den Impact.Award der Universität Wien. Mit der Prämierung verknüpft war die Möglichkeit, eine Maßnahme umzusetzen, die den Impact der Forschung erhöht. Sarah Zloklkovits erarbeitete folglich eine Handreichung für Lehrpersonen, die es ermöglichen soll, dass die Ergebnisse der Forschung der letzten Jahre in der Praxis verwendet werden können. Von einer Einführung, was elektromagnetische Strahlung eigentlich ist, bis hin zur Frage, ob die Strahlung des Handys nun tatsächlich so gefährlich ist, wie es oft heißt, werden die wichtigsten Aspekte zu elektromagnetischer Strahlung abgedeckt. Das Unterrichtskonzept wurde in Evaluationen, sowohl mit einzelnen Schüler*innen als auch im echten Schulunterricht getestet und immer wieder überarbeitet. Die Handreichung kann unter dem nachfolgenden Link als PDF-Datei heruntergeladen werden. Am AECC Physik liegen Exemplare zur freien Entnahme auf – und natürlich erhält man die Exemplare zukünftig bei Fortbildungen zum Thema elektromagnetische Strahlung. Wir wünschen viel Freude bei der Lektüre und Umsetzung!

https://aeccp.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/z_didaktik/AECC_Physik/Lehrer_innen/Handreichung_Elektromagnetische_Strahlung_Webversion.pdf



Österreichische Post AG
SP 17Z041123 S

Verein zur Förderung des physikalischen
und chemischen Unterrichts,
Porzellangasse 4, Stiege 2, 1090 Wien

DVR 0558567
VRN 668472729