



Die Elektrizitätslehre gilt als schwierig und abstrakt. Daher verwundert es nicht, dass es im deutschsprachigen Raum vielfältige und konzeptionell unterschiedliche Unterrichtskonzepte dafür gibt.

# So wie immer oder ganz anders?

**Für jedes Thema im Physikunterricht gibt es teils sehr unterschiedliche Unterrichtskonzeptionen.**

Martin Hopf, Horst Schecker und Thomas Wilhelm

**Unterrichtskonzeptionen sind ausgearbeitete Entwürfe für die inhaltliche Gestaltung des Physikunterrichts in der Schule. Verblüffend ist es, wie unterschiedlich Physikunterricht zu einem Thema konzipiert, die Teilthemen angeordnet und welche Erklärungsansätze und Visualisierungen verwendet werden können.**

**W**arum beginnt der Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe eigentlich fast immer mit Kinematik und Dynamik? Und wieso erfolgt der Einstieg in die Elektrizitätslehre meistens über die Stromstärke statt über das Potential und die Spannung? Wenn man ein wenig über diese Fragen nachdenkt, stellt sich schnell heraus, dass es nicht wirklich zwingende Argumente für dieses Vorgehen gibt. Ebenso wäre es möglich, nicht mit der Mechanik, sondern mit einer Vertiefung der Energielehre in den Physikunterricht der Oberstufe einzusteigen, dabei

auf grundlegendem Wissen aus der Mittelstufe aufzubauen und zunächst mit vergleichsweise sparsamen mathematischen Mitteln zu arbeiten. Genauso wichtig wie die Reihenfolge der einzelnen Themen ist es, über ihre inhaltliche Gestaltung nachzudenken. Überlegungen dazu, wie sich die jeweils zentralen physikalischen Größen konzeptualisieren lassen, welche Teilthemen besonders wichtig sind und in welcher Reihenfolge welche Aspekte vorkommen sollten, gehören unabdingbar zur Unterrichtsplanung. Dass solche Überlegungen zu unterschiedlichen Ergebnissen führen, zeigt sich schnell beim Vergleich verschiedener Lehrbücher. Die Annahme, dass die Reihenfolge physikalischer Themen sich zwangsläufig sachlogisch ergibt und die physikalischen Grundkonzepte in einer ganz bestimmten Art und Weise einzuführen sind – beispielsweise so, wie man es selbst als Schülerin oder Schüler einmal erfahren hat –, stellt sich als irrig heraus. Es geht auch anders.



Abb. 1 Szene aus dem Lehrfilm „Frames of References“ [3]

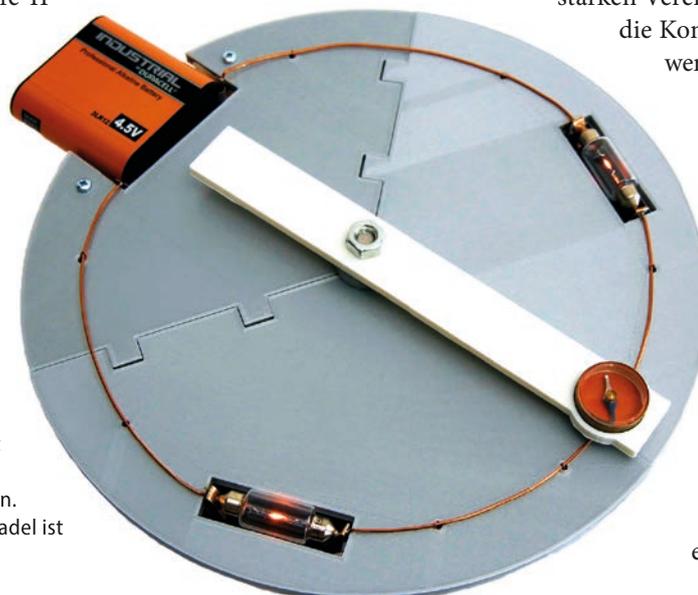
Je nachdem, um welche Altersstufe es geht und welche Lernvoraussetzungen die Schülerinnen und Schüler mitbringen, muss die Lehrkraft sehr genau überlegen, welche Aspekte sie behandelt und wie sie diese verständlich erklärt und aufeinander aufbaut.

Im Laufe der Zeit entstand auf diese Weise eine große Anzahl verschiedenartiger Unterrichtskonzeptionen, die in der Regel auf einer oder mehreren Leitideen basieren. Die Konzeptionen sind oft in Lehrwerken, aber auch in frei verfügbaren Unterrichtsmaterialien, passenden Experimentieranschlägen und Hintergrundinformationen für Lehrkräfte ausgearbeitet. Überraschenderweise können sich Unterrichtskonzeptionen zum gleichen physikalischen Thema stark voneinander unterscheiden, obwohl sie dieselbe Physik behandeln.

## Woher stammen Unterrichtskonzeptionen?

Eine wichtige Quelle von Unterrichtskonzeptionen sind Schulbuchwerke. Die Entwickler verfeinern ihre Unterrichtskonzeptionen im Lauf der Jahre immer weiter, bis sie schließlich den Weg in Lehrbücher finden. So setzte sich in den 1980er-Jahren erstmalig die Leitidee durch, die Feynman'schen Zeiger für die Optik, später auch für die Wellenlehre und die Quantenphysik für den Physikunterricht der Sekundarstufe II aufzubereiten [1].

Abb. 2 Diese Variation des Ørsted-Versuchs dient dazu, die Beziehung  $I = \text{const}$  zu demonstrieren. Der Stromkreis mit Sofittlampen ist drehbar gelagert und lässt sich unter der Magnetnadel hindurchbewegen. Der Ausschlag der Magnetnadel ist überall gleich.



Für die Entstehung von Unterrichtskonzeptionen waren die großen Curriculumprojekte aus der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts bedeutsam. Nach dem Sputnik-Schock gab es in der westlichen Welt enorme Anstrengungen, um in der schulischen Bildung den Anschluss an den scheinbar vorausgeeilten Ostblock zu finden. Große Entwicklungsteams mit Mitgliedern aus der Physik, aus den Bildungsbehörden und den Schulen entwarfen neuartige Lehrgänge. So entwickelte z. B. das Physical Science Study Committee (PSSC), initiiert von Physikprofessoren am MIT, einen umfassenden Kurs für die Sekundarstufe II. Dieser orientierte sich an Basiskonzepten der Physik wie Welle oder Erhaltung. Begleitend zum Lehrbuch produzierte das PSSC umfangreiches Begleitmaterial für Lehrende und Lernende und sogar Lehrfilme [2]. Einige dieser Materialien sind auch heute noch in Verwendung, etwa der Lehrfilm „Frames of References“ (Abb. 1).

In Deutschland bestand die erste Aufgabe des 1965 gegründeten zentralen Instituts für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN) in Kiel darin, Curricula für Physik, Biologie und Chemie zu entwickeln. Als Leitlinie hierfür wurde nach ausführlicher Analyse internationaler Erfahrungen und einer Diskussion über die Bildungsziele des Physikunterrichts der Lebenswelt- und Anwendungsbezug gewählt. Daneben betont diese Konzeption die Wichtigkeit von Schülerexperimenten.

In neuerer Zeit kommen die wesentlichen Beiträge bei der Entwicklung von Unterrichtskonzeptionen aus der universitären Fachdidaktik. An vielen Standorten arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler daran, neue Wege für den Physikunterricht zu identifizieren. Eine zentrale Rolle spielt die empirische Frage nach der Lernwirksamkeit: Welche Lernangebote nehmen die Schülerinnen und Schüler gut an und erweisen sich als anschlussfähig für künftiges Lernen? Dabei werden unterschiedliche Forschungslinien verfolgt. Im Rahmen fachdidaktischer Entwicklungsforschung geht es darum, wirksame Konzeptionen für die Praxis zu entwerfen und zu evaluieren sowie gleichzeitig das Grundlagenwissen über das Lernen der Physik zu erweitern. Dies liefert interessante Ergebnisse: Beispielsweise gibt es Hinweise, dass es nicht immer sinnvoll ist, mit

starken Vereinfachungen zu beginnen und

die Konzepte schrittweise komplexer werden zu lassen. Unterrichtskonzeptionen, die von vornherein

komplexe Zusammenhänge beschreiben und die

Vereinfachungen erst im weiteren Verlauf einführen, haben sich immer wieder als lernwirksamer erwiesen.

Ein etabliertes Beispiel ist es, von Beginn an

zweidimensionale Beschreibungen von Kräften und Geschwindigkeiten zu

unterrichten, anstatt mit dem eindimensionalen Fall anzufan-

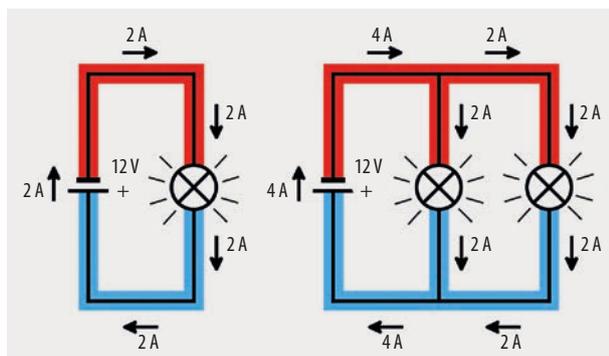
gen [4]. Dies stellt den Vektorcharakter ins Zentrum und vermeidet, dass Schülerinnen und Schüler diesen konstitutiven Aspekt der Geschwindigkeit aufgrund einer gut gemeinten anfänglichen Vereinfachung auf lineare Fälle später lediglich als Ergänzung eines von ihnen im Kern weiterhin betragsmäßig verstandenen Konzepts missverstehen. In der Elektrizitätslehre der Sekundarstufe I erweist es sich als lernwirksam, mit dem Potential zu beginnen [5], obwohl der Spannungsbegriff gegenüber der Stromstärke traditionell als deutlich schwieriger gilt.

Bei fachdidaktischer Grundlagenforschung geht es primär z. B. darum, die Entwicklung der physikalischen Kompetenz von Schülerinnen und Schülern zu beschreiben. Einige der hierbei für die Analyse von Lernprozessen entwickelten Lehreinheiten haben sich gleichzeitig als sehr relevant für die Weiterentwicklung der Schulpraxis erwiesen oder sind dort sogar direkt verwendbar. So stammt aus einem Forschungsprojekt an der Universität Bremen ein Aufgabensatz zur Elektrostatik, der ursprünglich dazu diente, Lernprozesse im Detail zu untersuchen [6].

Eine weitere Quelle für neue Unterrichtskonzeptionen sind Projekte, die untersuchen, wie neue Themenfelder aus der physikalischen Forschung für den schulischen Physikunterricht aufzubereiten sind. Momentan steht hier die Entwicklung von Materialien zu Quantentechnologien im Fokus (z. B. [7]).

## Unterrichtskonzeptionen zur Elektrizitätslehre

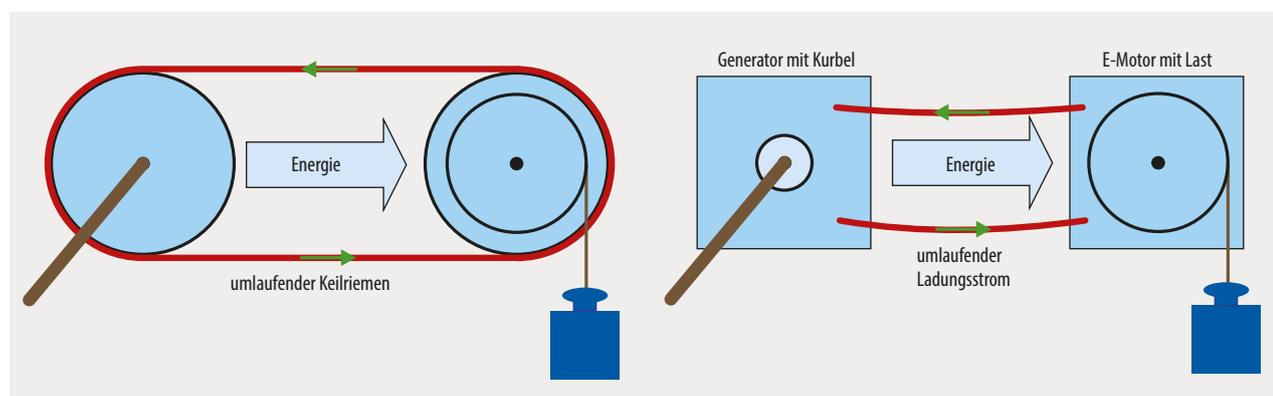
Die bekanntermaßen schwierige und abstrakte Elektrizitätslehre mit ihren für Schülerinnen und Schüler anspruchsvollen Konzepten fordert Lehrkräfte besonders heraus. So verwundert es nicht, dass es für diesen Themenbereich eine große Zahl unterschiedlicher Unterrichtskonzeptionen gibt. Allein für die einführenden Teile über einfache Stromkreise sind uns aus dem deutschen Sprachraum sechs recht unterschiedliche Ansätze bekannt [8], an weiteren wird aktuell gearbeitet. Die Konzeptionen unterscheiden sich darin, welche Größe im Fokus steht (Stromstärke, Spannung oder Energie) und/oder welche Analogien zum Einsatz kommen, beispielsweise ein Wasserkreis als Analogie für den Strom oder die Höhe als Analogie für die Spannung.



**Abb. 3** Im Elektronengasmodell wird das elektrische Potential eingeführt und mit Farben visualisiert. Rot steht hier für hohen Druck, blau für geringen Druck.

Für den Unterricht der Sekundarstufe I muss die Lehrperson – natürlich unter Berücksichtigung der (sehr unterschiedlichen) Vorgaben der Länder – entscheiden, welche Aspekte der Elektrizitätslehre besonders wichtig sind, und den Schwerpunkt des Unterrichts entsprechend wählen. Darüber hinaus ist die zur Verfügung stehende Unterrichtszeit beschränkt, sodass es nicht möglich ist, alle Themen in der gewünschten Tiefe zu behandeln. Entscheidungen über die Wichtigkeit physikalischer Teilthemen können jedoch unterschiedlich ausfallen.

Traditionell steht die elektrische Stromstärke im Zentrum. Der Unterricht beginnt meist mit der Vermittlung der Stromkreisvorstellung und der Diskussion von  $I = \text{const.}$  Die fachdidaktische Forschung belegt allerdings, dass das für Schülerinnen und Schüler schwer zu erlernen ist und sie ihre Vorstellung eines Stromverbrauchs weiterverfolgen. Lernende finden es unglaublich, dass zwar das Lämpchen leuchtet, aber der Strom unverändert weiter fließt. Schließlich wissen sie aus dem Alltag „von nichts kommt nichts“. Wie soll also Licht entstehen, wenn sich beim Strom nichts ändert? Daher sind Unterrichtskonzeptionen entstanden, die das Verstehen der elektrischen Stromstärke unterstützen. So kann beispielsweise die Vorstellung eines starren Elektronenrings helfen, anschlussfähige Vorstellungen zum Stromkreis anzubahnen. Man stellt sich dabei den Elektronenfluss wie den Fluss der Glieder einer Fahrradkette vor. Dies ist die Idee des IPN-Curriculums.



**Abb. 4** Fokussiert sich der Physikunterricht auf elektrische Energie, ist zwischen dem Ladungs- und dem Energiestrom zu unterscheiden. Als Analogie dient ein mechanischer Transmissionsantrieb mit Keilriemen.

Im Rahmen der Arbeiten an Unterrichtskonzeptionen zur Elektrizitätslehre entstand zudem ein eindrucksvoller Demonstrationsversuch zu  $I = \text{const}$  (**Abb. 2**).

Alternativ kann die Lehrkraft die Spannung an den Beginn des Unterrichts stellen. Bewährt hat sich hier die Verwendung der „Elektronengas“-Unterrichtskonzeption. Dabei geht es darum, einfache Stromkreise von den elektrischen Potentialunterschieden her zu analysieren. Zur Lernunterstützung wird der „elektrische Druck“ mit einer Gasanalogie für das Potential eingeführt und mit Farben visualisiert (**Abb. 3**). In empirischen Untersuchungen hat sich dieses Vorgehen als äußerst wirksam erwiesen [5].

Eine dritte Möglichkeit besteht darin, die elektrische Energie in den Mittelpunkt zu stellen. Dafür spricht, dass der Transport elektrischer Energie die wichtigste Eigenschaft des Stromkreises im Alltag ist. Solche Unterrichtskonzeptionen unterscheiden zwischen dem Ladungs- und dem Energiestrom. Der Ladungsstrom wird als umlaufender Keilriemen konzeptualisiert, der für den Energietransport vom Generator zum Gerät sorgt (**Abb. 4**).

## Resümee

Wie das Beispiel Stromkreis verdeutlicht, kann Physikunterricht zum gleichen Themenbereich sehr unterschiedlich aussehen. Für viele Themenkomplexe stehen variantenreiche Unterrichtskonzeptionen zur Verfügung. Alle haben Vor- und Nachteile, bei manchen wurde die Wirksamkeit empirisch belegt. Bisher gibt es jedoch nur wenige vergleichende Lernerfolgstudien zu verschiedenen Unterrichtskonzeptionen unter streng kontrollierten Rahmenbedingungen. Wenn die Konzeptionen unterschiedliche Leitideen und Ziele verfolgen (in der Elektrizitätslehre beispielsweise vertieftes konzeptuelles Verständnis der Vorgänge bei verzweigten Stromkreisen versus Verständnis des Energietransports mittels Stromkreisen in Anwendungsbezügen), ist es zudem kaum möglich, für alle gleiche und faire Erfolgskriterien zu definieren. Es gibt nicht *die* optimale Unterrichtskonzeption. Vielmehr gilt es, Unterrichtsziele und Lerngruppe jeweils optimal aufeinander abzustimmen.

In der Regel gibt es detailliert ausgearbeitetes Unterrichtsmaterial, das Lehrkräfte dabei unterstützt, die jeweilige Konzeption im eigenen Unterricht einzusetzen. Wir raten ausdrücklich davon ab, Elemente aus verschiedenen Konzeptionen miteinander zu vermischen, sondern zunächst nahe an den erprobten und bewährten Vorschlägen der Autorinnen und Autoren zu bleiben. Sonst fehlt eine durchgehende Leitidee und die Konzepte zerfasern.<sup>1)</sup>

1) Einen Überblick über wesentliche Unterrichtskonzeptionen in Themengebieten von der geometrischen Optik bis zur Quantenphysik sowie Hinweise auf vertiefende Literatur bietet das neu erschienene Lehrbuch „Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht“ [9].

## Literatur

- [1] F. Bader und F. Dorn (Hrsg.), Dorn/Bader, Physik-Oberstufe, Gesamtband 12/13, Schroedel, Hannover (1986)
- [2] U. Haber-Schaim, PSSC Physics: A personal perspective: American association of physics teachers (2006), [www.aapt.org/Publications/upload/Haber-Schaim4068.pdf](http://www.aapt.org/Publications/upload/Haber-Schaim4068.pdf)
- [3] R. Leacock, Lehrfilm Frames of References, [https://archive.org/details/frames\\_of\\_reference](https://archive.org/details/frames_of_reference) (1960)
- [4] M. Hopf et al., Mit der Zweiten lernt man mehr, Physik Journal, Januar 2013, S. 35
- [5] J. P. Burde und T. Wilhelm, Einfache Stromkreise mit Potenzial, Physik Journal, Mai 2018, S. 27
- [6] A. Schoster und St. von Aufschnaiter, Schüler lernen Elektrostatik und der Lehrer schaut zu, MNU 53, 175 (2000)
- [7] R. Müller, F. Greinert, M. Ubben und S. Heusler, Quantentechnologien im Lehrplan, Physik Journal, August/September 2021, S. 86
- [8] J.-P. Burde und T. Wilhelm, Unterrichtskonzeptionen zu elektrischen Stromkreisen, in: T. Wilhelm, H. Schecker und M. Hopf (Hrsg.), Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht, Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg (2021)
- [9] T. Wilhelm, H. Schecker und M. Hopf (Hrsg.), Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht, Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg (2021)

## Die Autoren



**Martin Hopf** (FV Didaktik der Physik) ist seit 2008 Leiter des Österreichischen Kompetenzzentrums für Didaktik der Physik an der Universität Wien. Sein Forschungsschwerpunkt ist die fachdidaktische Entwicklungsforschung.

**Thomas Wilhelm** (FV Didaktik der Physik) war Gymnasiallehrer für Physik und Mathematik, promovierte und habilitierte in Würzburg und war Professor an der Universität Augsburg. Seit 2012 ist er Professor für Didaktik der Physik an der Universität Frankfurt am Main.



**Horst Schecker** (FV Didaktik der Physik) war bis 2021 Professor für Didaktik der Physik an der Universität Bremen. Zu seinen Forschungsgebieten zählen Schülervorstellungen, Struktur physikalischer Kompetenz und digitale Medien.

**Prof. Dr. Martin Hopf**, Universität Wien, Plattform für Didaktik der Naturwissenschaften (AECs), Porzellangasse 4, 1090 Wien, Österreich; **Prof. Dr. Thomas Wilhelm**, Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt am Main, Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt am Main und **Prof. Dr. Horst Schecker**, Universität Bremen, Institut für Didaktik der Naturwissenschaften, Abt. Physikdidaktik, Otto-Hahn-Allee 1, 28334 Bremen