

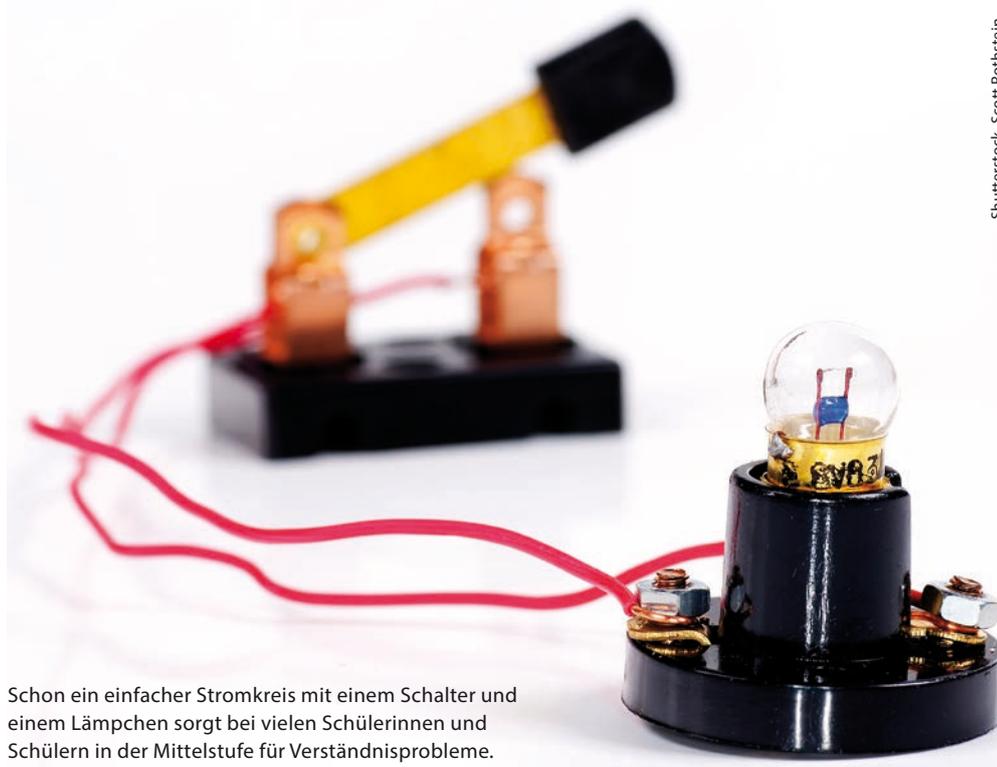
Einfache Stromkreise mit Potenzial

Ein neues Unterrichtskonzept zeigt, wie fachdidaktische Entwicklungsforschung arbeitet.

Jan-Philipp Burde und Thomas Wilhelm

Ein wichtiges Teilgebiet der physikdidaktischen Forschung ist die Entwicklungsforschung. Ausgehend von bekannten Schülervorstellungen und Erfolgen bzw. Misserfolgen bisheriger Unterrichtsansätze geht es darum, neue Konzepte und Materialien für den Unterricht zu erarbeiten. Qualitative und quantitative Methoden dienen dazu, im realen Unterricht zu untersuchen, ob das neue Konzept zu einem höheren Lernerfolg führt. Das Beispiel des Elektronengasmodells soll zeigen, wie es damit gelungen ist, Lernenden ein deutlich besseres Verständnis einfacher Stromkreise zu vermitteln.

Die physikdidaktische Forschung ist heute breit aufgestellt und hat sowohl inhaltlich als auch methodisch ein sehr hohes Niveau erreicht. Nichtsdestotrotz kritisieren Lehrkräfte immer wieder, dass fachdidaktische Forschungsergebnisse einen zu geringen Einfluss auf die Unterrichtspraxis hätten. Ein Teilgebiet der Physikdidaktik, das explizit zum Ziel hat, diesen oft beklagten „Research-Practice-Gap“ zu überwinden, stellt die fachdidaktische Entwicklungsforschung dar – auch Design-Based-Research (DBR) genannt. Im Gegensatz zu reinen Entwicklungen, zum Beispiel von neuen Experimenten, und zu rein empirischer Forschung hat Design-Based-Research – ähnlich den Ingenieurwissenschaften – den Anspruch, Forschung zum „Zweck der Innovation“ zu betreiben [1]. Innovation bedeutet hier nicht die alleinige Existenz neuer Unterrichtsmaterialien, sondern dass diese auch nachweislich zu einem höheren Lernerfolg führen und in der Praxis als signifikante Verbesserung wahrgenommen werden. Zudem geht es darum, eine Theorie des Lehrens und Lernens des



Schon ein einfacher Stromkreis mit einem Schalter und einem Lämpchen sorgt bei vielen Schülerinnen und Schülern in der Mittelstufe für Verständnisprobleme.

entsprechenden Themengebieten weiterzuentwickeln.

Da didaktische Interventionen bei Design-Based-Research meist einen umfassenden Charakter haben, also beispielsweise ein ganzes Unterrichtskonzept inklusive neuer Sachstruktur, Visualisierungen und Experimenten umfassen, hat dieser Forschungsansatz keinen Anspruch auf vollständige Variablenkontrolle. Statt verallgemeinerbare Ursache-Wirkungs-Beziehungen aufklären zu wollen, besteht das Ziel von DBR vielmehr darin, eine hohe externe Validität, d. h. Verallgemeinerbarkeit der Studienergebnisse gewährleisten zu können. Dieser Ansatz ähnelt dem Vorgehen eines Arztes, der auf Basis des aktuellen medizinischen und pharmazeutischen Wissens dem Patienten zur Heilung einer Krankheit ein Medikament verschreibt, dessen Wirksamkeit zwar wissenschaftlich belegt ist,

aber dessen genaue physiologische und pharmazeutische Wechselwirkungen noch unbekannt sind [2].

Ausgangslage

Ausgangspunkt für diese Art der didaktischen Forschung ist oftmals ein konkretes Problem aus der Unterrichtspraxis, zu dem theoretisch auf Basis aktueller fachdidaktischer und lerntheoretischer Erkenntnisse ein umfassender Lösungsansatz erarbeitet und anschließend in der Schulpraxis evaluiert wird. Ein bereits seit Jahrzehnten bekanntes, aber bisher ungelöstes Problem des Physikunterrichts besteht beispielsweise darin, dass viele Schülerinnen und Schüler trotz intensiver Bemühungen der Lehrkräfte kein angemessenes Verständnis von einfachen elektrischen Stromkreisen entwickeln.

Jan-Philipp Burde
und Prof. Dr.
Thomas Wilhelm,
Goethe-Universität
Frankfurt am Main,
60629 Frankfurt am
Main

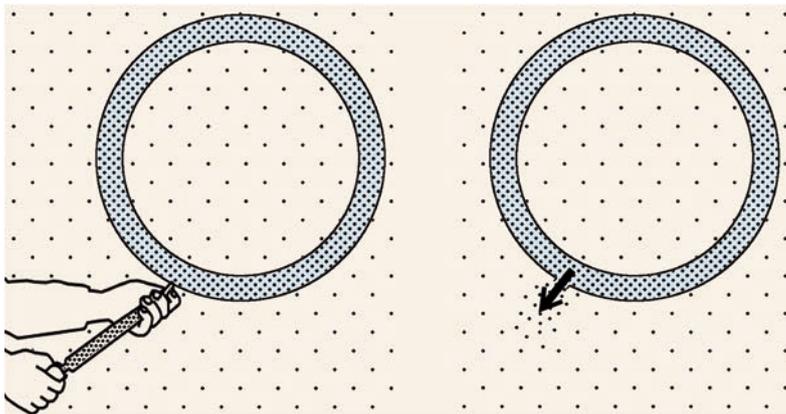


Abb. 1 Anhand eines Fahrradreifens wird erarbeitet, dass Strömungen die Folge von Druckunterschieden sind.

Insbesondere gelingt es nicht, den Schülern ein adäquates Konzept der Spannung zu vermitteln. Stattdessen nehmen sie die Spannung oftmals als Eigenschaft des elektrischen Stroms wahr (Stichwort „Stromspannung“). Das Beispiel eines DBR-Forschungsprojektes soll im Folgenden zeigen, wie es der physikdidaktischen Entwicklungsforschung gelungen ist, die Brücke zwischen Theorie und Praxis zu schlagen und Schülerinnen und Schülern ein deutlich besseres Verständnis einfacher Stromkreise zu vermitteln.

Neben der prinzipiellen Unanschaulichkeit der Elektrizitätslehre, missverständlicher Sprachbilder im Alltag („Stromverbrauch“, „leere Batterien“ etc.) und tief verwurzelten unwissenschaftlichen Vorstellungen der Lernenden zu diesem Thema sind die großen Verständnisschwierigkeiten insbesondere bezüglich der elektrischen Spannung auf das Vorgehen im traditionellen Physikunterricht zurückzuführen. Die hier oftmals breite Auseinandersetzung mit dem elektrischen Strom zu Lasten der elektrischen Spannung fördert bei den Schülerinnen und Schülern die Entstehung eines „übermächtigen Strombegriffs“ [3]. In der Folge neigen sie dazu, Stromkreise ausschließlich aus Sicht des für sie intuitiven elektrischen Stroms zu analysieren und verkennen dabei völlig die entscheidende Rolle der elektrischen Spannung als dessen Ursache.

Bereits in den 1980er-Jahren wurde deshalb gefordert, die elek-

trische Spannung zum Primärkonzept der Lernenden zu machen, d. h. ihnen zu vermitteln, bei der Analyse von Stromkreisen zunächst die an den Widerständen anliegenden Spannungen zu betrachten, die den elektrischen Strom verursachen [4]. Als Potentialdifferenz ist die elektrische Spannung aber eine vergleichsweise komplexe physikalische Größe, da sie sich immer auf zwei Punkte in einem Stromkreis bezieht. Sie ist somit schwieriger zu verstehen als das elektrische Potential, das sich einem Punkt bzw. einem Leiterabschnitt lokal zuordnen lässt.

Die neue Grundidee

Das Ziel des hier vorgestellten Unterrichtskonzepts besteht darin, den Lernenden neben einem qualitativen Verständnis der Wirkungszusammenhänge in Stromkreisen vor allem eine anschauliche Vorstellung des elektrischen Potential- und Spannungsbegriffs zu ermöglichen. Auf Basis einer ausführlichen Analyse bisheriger Unterrichtskonzepte, bekannter Analogien und den Ergebnissen der bisherigen Schülervorstellungsforschung wurde hierzu ein neues Grundkonzept für den Unterricht erarbeitet. Dieses zeichnet sich dadurch aus, dass es auf einer didaktisch elementarisierten Form des Elektronengasmodells in Kombination mit einer auf Steinberg und Wainwright [5] zurückgehenden Luftdruckanalogie aufbaut. Im Gegensatz zum traditionellen Unterricht vermitteln die

Lehrkräfte den Lernenden so eine anschauliche und intuitive Erklärung des elektrischen Potentials und führen darauf aufbauend die Spannung als Potentialdifferenz ein. Hierzu können sie gezielt an das alltägliche Luftdruckverständnis der Lernenden z. B. mit Luftmatratzen und Fahrradreifen anknüpfen und erarbeiten, dass Luftströmungen immer die Folge von Luftdruckunterschieden sind (Abb. 1). Ein fachlich korrektes Druckkonzept mit der in der Sekundarstufe I teils schwierigen Differenzierung zwischen skalarem Druckbegriff und vektoriellem Kraftbegriff ist dafür nicht notwendig.

Anschließend gilt es, diese Vorstellung auf Stromkreise zu übertragen und zu erläutern, dass sich in Metallen, wie z. B. Kupfer, die Elektronen in Teilchenform befinden und sich dort ähnlich einem Gas verhalten. In einem einfachen Stromkreis bestehend aus einer Batterie und einem Lämpchen sorgt die Batterie im didaktisch vereinfachten Elektronengasmodell für eine Ungleichverteilung der Elektronen im Kupferleiter. Analog zur Luftpumpe lässt sich die Batterie als Elektronenpumpe auffassen. Hierbei ist es zunächst nicht erforderlich, auf die genaue chemische Funktionsweise der Batterie einzugehen.

Im Leiter kommt es aufgrund der gegenseitigen Coulomb-Abstoßung der Elektronen zu einem von der Elektronendichte abhängigen „elektrischen Druck“. Durch Gleichsetzen des „elektrischen Drucks“ mit dem elektrischen Potential lässt sich die elektrische Spannung als „elektrischer Druckunterschied“ und Antrieb des elektrischen Stroms interpretieren. Die dabei genutzte Ankervorstellung des elektrischen Potentials als elektrischer Druck geht historisch auf Alessandro Volta zurück, der aufgrund seiner Versuche mit Elektrometern um das Jahr 1770 davon ausging, dass die frei beweglichen Ladungen in Leitern sich wie ein kompressibles Fluid mit druckähnlichen Eigenschaften verhielten [6].

Von der Idee zum Konzept

Diese Grundideen galt es, im nächsten Schritt mit einzelnen Schülerinnen und Schülern in einer speziellen Art von Einzelunterricht zu erproben. Diese so genannten Akzeptanzbefragungen, d. h. Lehr-Lerninterviews unter möglichst kontrollierten Bedingungen, dienten primär dazu, einen Einblick in die Lernprozesse der Schüler zu erhalten. Dabei zeigte sich, dass die Lernenden die wichtigsten dem Unterrichtskonzept zugrundeliegenden Ideen akzeptieren und verstehen. Insbesondere besaßen sie bereits ein ausreichendes intuitives Luftdruckverständnis und konnten dieses erfolgreich auf den in Stromkreisen herrschenden „elektrischen Druck“ übertragen. Zudem empfanden die Lernenden die Punktedichtedarstellung und die Farbdarstellung des „elektrischen Drucks“ am verständlichsten (Abb. 2).

Die Akzeptanzbefragungen halfen auch dabei, Stolperstellen in der bisherigen Konzeption zu identifizieren. Beispielsweise sehen viele Schülerinnen und Schüler in einer Batterie eine Konstantstrom- und keine Konstantspannungsquelle und gehen daher davon aus, dass die Spannung in einem einfachen Stromkreis mit nur einem Lämpchen umso größer ist, je größer dessen Widerstand ist. Auch der Begriff der Stromstärke führte bei manchen Lernenden zu einer Assoziation mit dem Kraftbegriff, was eine konzeptionelle Trennung der Stromstärke vom elektrischen Druckunterschied als Antrieb des Stroms erschwerte.

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen gelang es, ein umfassendes Unterrichtskonzept inklusive passender Unterrichtsmaterialien zu entwickeln. Grundlegende Idee war dabei, gezielt an solche Vorstellungen bei den Lernenden anzuknüpfen, die einer physikalischen Begriffsentwicklung förderlich sind und lernhinderliche Vorstellungen zu vermeiden. Ein solches Vorgehen hat sich bereits in physikdidaktischen Studien zur Vermittlung komplexer Inhalte bewährt [2, 7].

Evaluation in der Praxis

An diese Entwicklung schloss sich eine im Frankfurter Raum durchgeführte empirische Studie mit 790 Schülerinnen und Schülern an. Das Ziel bestand darin zu untersuchen, ob das neue Unterrichtskonzept zu einem besseren konzeptionellen Verständnis einfacher Stromkreise führt als der traditionelle Unterricht. Zu diesem Zweck wurde der Lernerfolg von 17 traditionell unterrichteten Gymnasialschulklassen (Kontrollgruppe) erhoben und mit dem Lernerfolg von 19 Gymnasialschulklassen verglichen, die Unterricht nach dem neuen Konzept erhielten (Treatmentgruppe). Diese Klassen verteilten sich etwa gleichmäßig auf die Jahrgangsstufen 7 und 8, wobei die Elektrizitätslehre bei allen teilnehmenden Klassen erstmals Thema des Unterrichts war. Auch in Hinblick auf die unterrichtete Stundenzahl waren die beiden Gruppen vergleichbar.

Als Testinstrument diente ein ausgereifter Multiple-Choice-Test mit Fragen zum Thema „Elektrizitätslehre“. Um nur den durch den jeweiligen Unterricht erzielten Lernfortschritt zu erheben, mussten die Schülerinnen und Schüler den Test einmal vor und einmal nach der Einheit zur Elektrizitätslehre bearbeiten.

Eine Auswertung der Testdaten zeigt, dass der mittlere absolute

Lernfortschritt der Klassen sowohl in der Kontroll- als auch in der Treatmentgruppe äußerst heterogen ausfällt. Die Klassen der Treatmentgruppe weisen aber insgesamt deutlich höhere absolute Lernzuwächse auf als die Klassen der Kontrollgruppe (Abb. 3). Über alle Lernenden gemittelt fällt der durchschnittliche absolute Lernzuwachs in der Treatmentgruppe mit $\mu = 6,70$ Punkten und einem Standardfehler von $\sigma = 0,26$ nahezu doppelt so hoch aus wie in der Kontrollgruppe, wo er lediglich $\mu = 3,54$ Punkte ($\sigma = 0,24$) beträgt. Dieser Unterschied ist höchst signifikant und entspricht einer großen Effektstärke von $d = 0,94$. Das bedeutet, dass sich die Mittelwerte der beiden Gruppen im Test um etwa eine Standardabweichung voneinander unterscheiden, was für solche Studien sehr hoch ist.

In der Regel wurden Kontroll- und Treatmentklassen von unterschiedlichen Lehrkräften unterrichtet, jedoch gab es zwei Lehrkräfte, die ihre Klassen einmal klassisch und einmal nach dem neuen Konzept unterrichteten. Diese Lehrkräfte konnten bei all ihren Klassen mit dem neuen Ansatz einen deutlich höheren absoluten Lernzuwachs erzielen (grüne Säulen in Abb. 3).

Zusätzlich zur quantitativen Erhebung des Lernerfolgs wurden die unterrichtenden Lehrkräfte qualitativ zu ihren schulpraktischen

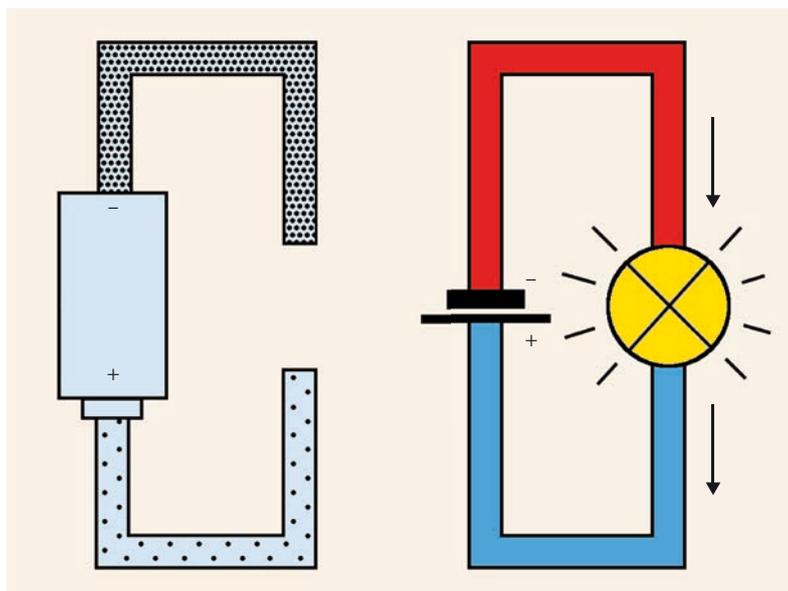


Abb. 2 Die Punktedichtedarstellung (links) und die Farbdarstellung (rechts) des elektrischen Drucks bzw. Potentials sind für Schüler am verständlichsten.

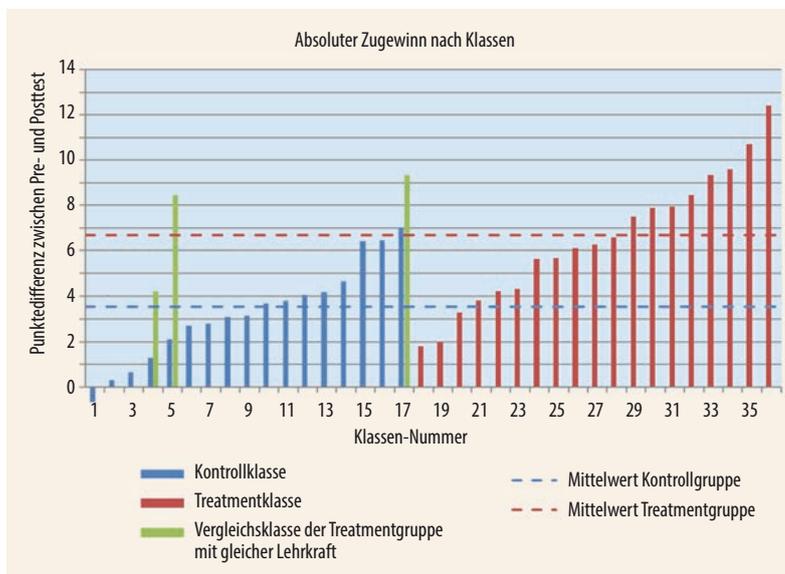


Abb. 3 Der absolute Lernzuwachs ist in den Treatmentklassen (rot) signifikant höher als in den Kontrollklassen (blau). Die grünen Säulen zeigen bei drei Kontrollklassen den absoluten Lernfortschritt einer von der gleichen Lehrkraft

unterrichteten Treatmentklasse (K4, K5 und K17). Die gestrichelten Linien geben das arithmetische Mittel des von den Schülern der Kontroll- bzw. Treatmentgruppe erzielten absoluten Lernzuwachses an.

Erfahrungen mit dem neuen Unterrichtskonzept befragt. Ein solcher multiperspektivischer Ansatz („Triangulation“), bei dem eine Forschungsfrage mithilfe qualitativer und quantitativer Methoden untersucht wird, ist insbesondere in Hinblick auf eine weitere Optimierung des Unterrichtskonzepts von Interesse und typisch für Design-Based-Research. Hier zeigte sich unter anderem, dass die Lehrkräfte das Unterrichtskonzept im Allgemeinen sehr positiv beurteilen. 12 von 14 Lehrkräften gaben an, auch in Zukunft danach unterrichten zu wollen. Eine ebenso große Anzahl bescheinigte dem Konzept eine eher große oder eindeutig große Lernförderlichkeit in Bezug auf die elektrische Spannung.

Bemerkenswert ist, dass sich die hohe Lernwirksamkeit des Unterrichtskonzepts alleine durch die Bereitstellung von didaktisch durchdachten Unterrichtsmaterialien ohne weitere Schulung der Lehrkräfte erzielen ließ. Damit dürfte es möglich sein, das neue Unterrichtskonzept breit und vergleichsweise einfach in der Schulpraxis zu implementieren. Zu diesem Zweck wurde die Internetseite www.einfache-ehle.de eingerichtet, auf der die im Rahmen dieses

Forschungsprojektes entstandenen Unterrichtsmaterialien herunterzuladen sind.

Ausblick

Eine genauere Analyse der Daten hat ergeben, dass Mädchen, die nach dem neuen Unterrichtskonzept unterrichtet wurden, trotz gleichen Vorwissens einen signifikant geringeren absoluten Lernzuwachs erzielen konnten als Jungen. In der Physikdidaktik ist heute unumstritten, dass eine geeignete Kontextorientierung ein wesentliches Merkmal guten Physikunterrichts darstellt, damit Schülerinnen und Schüler die Physik als sinnvoll

und für ihr Leben relevant wahrnehmen.

Eine Nachfolgestudie eines Konsortiums der Universitäten Wien, Graz, Darmstadt und Frankfurt zielt daher darauf ab, das Unterrichtskonzept um Kontexte zu erweitern, die für Mädchen interessant sind, und zu untersuchen, inwiefern sich damit das Interesse bzw. das Konzeptverständnis der Schülerinnen und Schüler fördern lässt. Auch das Studiendesign gilt es zu verbessern, indem z. B. jede Lehrkraft eine Kontroll- und Treatmentklasse unterrichtet. Damit kann man ausschließen, dass mögliche Unterschiede zwischen den Gruppen auf die Lehrkräfte zurückgehen.

Typisch für Design-Based-Research ist, dass die Entwicklung und Forschung in kontinuierlichen Zyklen aus Design, Umsetzung, Analyse und Re-Design stattfinden. Das dargestellte Unterrichtskonzept wurde auf Basis früherer Ansätze entwickelt, und die gesammelten Erfahrungen führen nun zu einem Re-Design und einer erneuten Analyse der Lernwirksamkeit.

Literatur

- [1] G. Reinmann, *Unterrichtswissenschaft* 33, 52 (2005)
- [2] H. Wiesner et al., *PhyDid-B.* (2010)
- [3] C. v. Rhöneck, *Naturwissenschaften im Unterricht – Physik* 34, 10 (1986)
- [4] R. Cohen, B. Eylon und M. Ganiel, *American Journal of Physics* 51, 407 (1983)
- [5] M. S. Steinberg und C. L. Wainwright, *The Physics Teacher* 31, 353 (1993)
- [6] M. S. Steinberg, *Foundations of Science* 13, 163 (2008)
- [7] T. Wilhelm, V. Tobias, C. Waltner, M. Hopf und H. Wiesner, *Jahrestagung der GDCP 2011*, Münster: Lit-Verlag (2012), S. 31

DIE AUTOREN

Jan-Philipp Burde (FV Didaktik der Physik) studierte an der Universität Kassel, machte sein Referendariat in England und promovierte über das hier vorgestellte Unterrichtskonzept an der Goethe-Universität Frankfurt am Main.



Thomas Wilhelm (FV Didaktik der Physik) studierte an der Universität Würzburg. Nach einer Tätigkeit als Gymna-

siallehrer hat er in Würzburg promoviert und habilitiert und später einen Ruf an die Universität Augsburg angenommen. Seit 2012 ist er Professor für Didaktik der Physik an der Universität Frankfurt am Main. Für die Entwicklung und Erprobung eines Unterrichtskonzepts zur Einführung in die Mechanik erhielt er zusammen mit Kollegen den Polytechnikpreis.

