

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 erforschten Schülervorstellungen und Erfolgen bzw. Misserfolgen bisheriger Unterrichtsansätze werden neue Unterrichtskonzepte und Unterrichtsmaterialien erarbeitet. Mit Hilfe qualitativer und quantitativer Methoden wird dann im realen Unterricht untersucht, ob das neue Unterrichtskonzept bei den Schülern zu einem höheren Lernerfolg führt. Am Beispiel des Elektronengasmodells wird exemplarisch erklärt, wie es der Entwicklungsforschung gelungen ist, Schülern ein deutlich besseres Verständnis einfacher Stromkreise zu vermitteln.

Die physikdidaktische Forschung ist heute breit aufgestellt und hat insgesamt sowohl inhaltlich als auch methodisch ein sehr hohes Niveau erreicht. Nichtsdestotrotz wird von Lehrkräften immer wieder kritisiert, 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 z.B. von neuen Experimenten und zu rein empirischer Forschung hat Design-Based-Research – ähnlich den Ingenieurwissenschaften – den Anspruch, Forschung zum „Zwecke der Innovation“ zu betreiben [1]. Unter Innovation wird hier nicht die alleinige Existenz neuer Unterrichtsmaterialien verstanden, sondern dass diese auch nachweislich zu einem höheren Lernerfolg führen und von den Lehrkräften in der Praxis als signifikante Verbesserung wahrgenommen werden. Darüber hinaus möchte man auch eine Theorie des Lehrens und Lernens des entsprechenden Themengebietes weiterentwickeln.

Da didaktische Interventionen bei Design-Based-Research typischerweise einen umfassenden Charakter haben, also z.B. 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. Damit ähnelt der Ansatz von DBR 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 physiologischen und pharmazeutischen Wechselwirkungen noch unbekannt sind [2].

Ausgangslage

Ausgangspunkt für diese Art der didaktischen Forschung ist oftmals ein konkretes Problem aus der Unterrichtspraxis, zu dem dann theoriegeleitet auf Basis aktueller fachdidaktischer und lerntheoretischer Erkenntnisse ein umfassender Lösungsansatz erarbeitet und dieser 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. Insbesondere gelingt es im traditionellen Physikunterricht nicht, den Schülern ein adäquates Spannungskonzept zu vermitteln. Stattdessen wird die Spannung oftmals als Eigenschaft des elektrischen Stroms wahrgenommen (Stichwort „Stromspannung“). Am Beispiel eines DBR-Forschungsprojektes soll im Folgenden exemplarisch aufgezeigt werden, 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 bzgl. der elektrischen Spannung auch auf das Vorgehen im traditionellen Physikunterricht zurückzuführen. Die hier oftmals breite Auseinandersetzung mit dem elektrischen Strom zu Lasten der elektrischen Spannung fördert bei den Schülern die Entstehung eines „übermächtigen Strombegriffs“ [3]. In der Folge neigen Schüler 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 elektrische 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 erst den elektrischen Strom verursachen. Von einer solchen Vorgehensweise wird sich insbesondere eine bessere Vermittlung der Ursache-Wirkungs-Beziehung zwischen Spannung und Strom im Unterricht versprochen [4]. Als Potenzialdifferenz ist die elektrische Spannung aber eine vergleichsweise komplexe physikalische Größe, da sie sich immer auf zwei Punkte in einem Stromkreis bezieht. Sie ist somit insbesondere schwieriger zu verstehen als das elektrische Potenzial, das einem Punkt bzw. einem Leiterabschnitt lokal zugeordnet werden kann.

Grundidee des neuen Unterrichtskonzepts

Das Ziel des hier vorgestellten Unterrichtskonzepts besteht nun darin, den Lernenden neben einem qualitativen Verständnis der Wirkungszusammenhänge in Stromkreisen insbesondere eine anschauliche Vorstellung des elektrischen Potenzial- und Spannungsbegriffs zu ermöglichen. Auf der Basis einer ausführlichen Analyse bisheriger Unterrichtskonzepte, bekannter Analogien und den Ergebnissen der bisherigen Schülervorstellungsforschung wurde hierzu zunächst ein Grundkonzept für ein neues Unterrichtskonzept 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 soll den Lernenden so eine anschauliche und intuitive Erklärung des elektrischen Potenzials vermittelt und darauf aufbauend die Spannung als Potenzialdifferenz eingeführt werden. Hierzu wird gezielt an das alltägliche Luftdruckverständnis der Lernenden z.B. mit Luftmatratzen und Fahrradreifen angeknüpft und erarbeitet, 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 wird jedoch weder vorausgesetzt noch an dieser Stelle eingeführt.

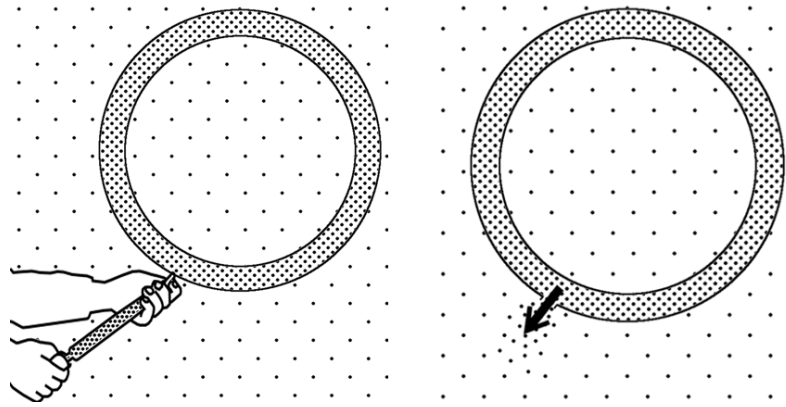


Abb. 1 Anhand eines Fahrradreifens wird erarbeitet, dass Strömungen die Folge von Druckunterschieden sind

Anschließend wird diese Vorstellung auf Stromkreise übertragen und gesagt, 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 eine Batterie im didaktisch vereinfachten Elektronengasmodell nun für eine Ungleichverteilung der Elektronen im Kupferleiter. Hierzu wird die Batterie in Analogie zu Luftpumpen als Elektronenpumpe eingeführt, wobei auf die genaue chemische Funktionsweise der Batterie zunächst nicht näher eingegangen wird. Im Leiter kommt es dann aufgrund der gegenseitigen Coulomb-Abstoßung der Elektronen zu einem von der Elektronendichte abhängigen „elektrischen Druck“. Durch Gleichsetzen des „elektrischen Drucks“ mit dem elektrischen Potenzial kann die elektrische Spannung so als „elektrischer Druckunterschied“ und Antrieb des elektrischen Stroms interpretiert werden. Die dabei genutzte Ankervorstellung des elektrischen Potenzials als elektrischer Druck geht historisch auf Volta zurück, der aufgrund seiner Versuche mit Elektrometern um 1770 davon ausging, dass die freibeweglichen Ladungen in Leitern sich wie ein kompressibles Fluid mit druckähnlichen Eigenschaften verhielten [6].

Entwicklung des Unterrichtskonzepts

Diese Grundideen wurden in einem nächsten Schritt mit einzelnen Schülerinnen und Schülern in einer speziellen Art von Einzelunterricht erprobt. Diese sogenannten „Akzeptanzbefragungen“, d.h. Lehr-Lerninterviews unter möglichst kontrollierten Bedingungen, dienten primär dazu, einen Einblick in die Lernprozesse der Lernenden zu bekommen und herauszufinden, welche Erklärungen sie akzeptieren und verstehen und welche nicht. Es zeigte sich, dass die wichtigsten dem Unterrichtskonzept zugrundeliegenden Ideen von den Lernenden grundsätzlich akzeptiert und verstanden werden. Insbesondere besaßen die Schüler bereits über ein für das Konzept ausreichendes intuitives Luftdruckverständnis und konnten dieses erfolgreich auf den in Stromkreisen herrschenden „elektrischen Druck“ übertragen. Dabei hat sich auch gezeigt, dass die Punktedichtedarstellung und die Farbdarstellung des „elektrischen Drucks“ von den Lernenden als am verständlichsten empfunden werden (**Abb. 2**).

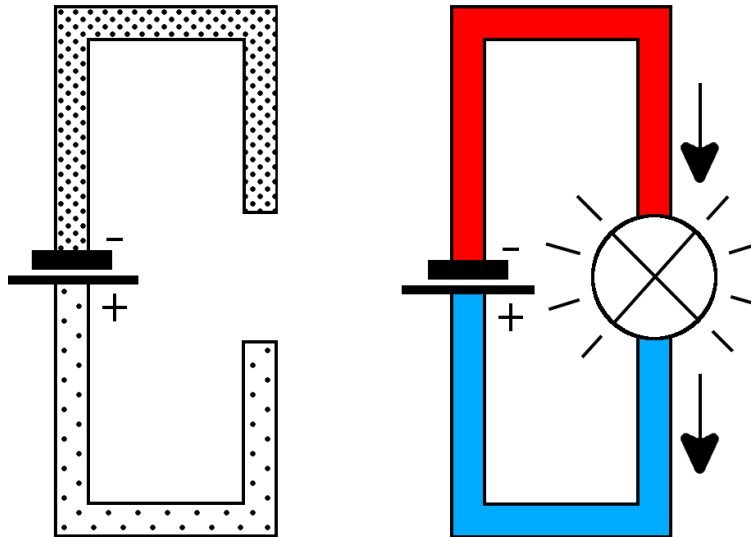


Abb. 2 Punktedarstellung (links) und Farbdarstellung (rechts) des elektrischen Drucks bzw. Potentials

Mit Hilfe dieser Akzeptanzbefragungen konnten aber auch eine ganze Reihe an Stolperstellen in der bisherigen Konzeption identifiziert werden, die in Hinblick auf die Entwicklung eines Unterrichtskonzepts von großem Wert waren. Beispielsweise hat sich gezeigt, dass viele Schülerinnen und Schüler in einer Batterie eine Konstantstrom- und keine Konstantspannungsquelle sehen und deshalb u.a. davon ausgehen, dass die Spannung in einem einfachen Stromkreis mit nur einem Lämpchen umso größer ist, desto 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 und anderen Erkenntnissen wurde dann ein umfassendes Unterrichtskonzept inklusive passender Unterrichtsmaterialien wie Overheadfolien und Übungsaufgaben entwickelt. 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 diversen physikdidaktischen Studien insbesondere zur Vermittlung komplexer Inhalte bewährt [2+7].

Evaluation

An die Entwicklung des Unterrichtskonzepts schloss sich eine im Frankfurter Raum durchgeführte empirische Studie mit insgesamt 790 Schülerinnen und Schülern an. Das Ziel der Studie bestand darin zu untersuchen, ob das neue Unterrichtskonzept zu einem besseren konzeptionellen Verständnis von einfachen Stromkreisen führt als der traditionelle Unterricht. Zu diesem Zweck wurde zunächst der Lernerfolg von 17 traditionell unterrichteten Gymnasialschulklassen (Kontrollgruppe) erhoben und anschließend mit dem Lernerfolg von 19 Gymnasialschulklassen verglichen, die nach dem neuen Unterrichtskonzept unterrichtet wurden (Treatmentgruppe). Die unterrichteten Klassen verteilten sich in etwa gleichmäßig auf Jahrgangsstufe 7 und 8, wobei das Thema „Elektrizitätslehre“ bei allen teilnehmenden Klassen zum ersten Mal im Unterricht behandelt wurde. Auch in Hinblick auf die unterrichtete Stundenzahl waren die beiden Gruppen miteinander vergleichbar. Als Testinstrument wurde ein ausgereifter Multiple-Choice-Test verwendet, der geeignete fachliche Fragen für Lernende der 7. und 8. Jahrgangsstufe zum Thema „Elektrizitätslehre“ umfasste. Um nur den durch den jeweiligen Unterricht erzielten Lernfortschritt zu erheben, wurde der Test von den Schülern

einmal vor und einmal nach der Einheit zur Elektrizitätslehre bearbeitet. Da der Test insgesamt 26 Fragen umfasste, konnten im Test maximal 26 Punkte erzielt werden.

Eine Auswertung der Testdaten zeigt, dass der mittlere absolute Lernfortschritt der Klassen sowohl in der Kontroll- als auch in der Treatmentgruppe äußerst heterogen ausfällt, wobei Klassen der Treatmentgruppe insgesamt deutlich höhere absolute Lernzuwächse aufweisen als die Klassen der Kontrollgruppe. 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 (Lehrkraft A: K4 und K5; Lehrkraft B: K17), die ihre Klassen einmal klassisch und einmal nach dem neuen Unterrichtskonzept unterrichteten. Wie an Hand der grünen Säulen in Abbildung 3 zu sehen ist, konnten diese Lehrkräfte bei all ihren Klassen einen deutlich höheren absoluten Lernzuwachs erzielen, wenn sie diese nach dem neuen Unterrichtskonzept unterrichteten.

Absoluter Zugewinn nach Klassen

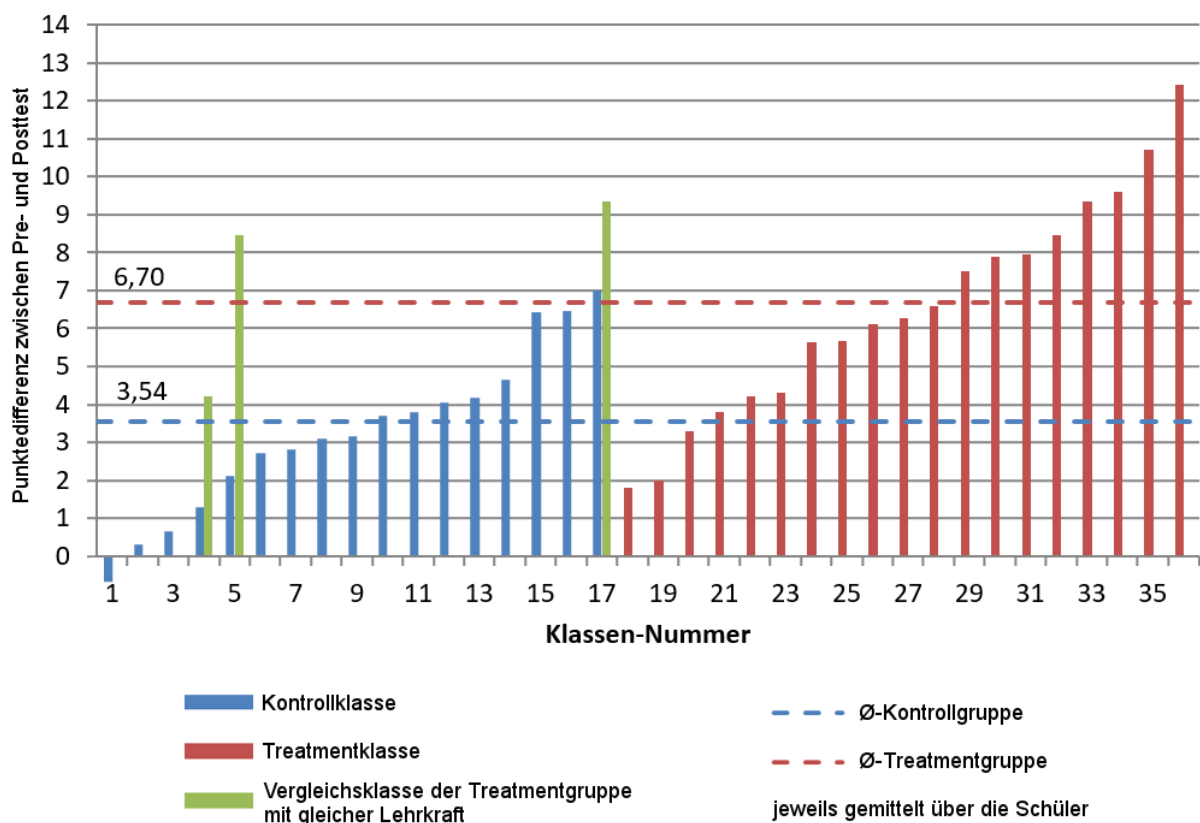


Abb. 3 Absoluter Zugewinn der Kontrollklassen (blau) und Treatmentklassen (rot). Die grünen Säulen zeigen bei drei Kontrollklassen den absoluten Lernfortschritt einer von der gleichen Lehrkraft unterrichteten Treatmentklasse. Die gestrichelten Linien geben das arithmetische Mittel des von den Schülern der Kontroll- bzw. Treatmentgruppe erzielten absoluten Lernzuwachses an.

Zusätzlich zur oben beschriebenen quantitativen Erhebung des Lernerfolgs der Schülerinnen und Schüler wurden die unterrichtenden Lehrkräfte auch qualitativ zu ihren schulpraktischen Erfahrungen mit dem neuen Unterrichtskonzept befragt. Ein solcher multiperspektivischer Ansatz („Triangulation“), bei dem eine Forschungsfrage mit Hilfe von qualitativen und quantitativen Methoden untersucht wird, ist insbesondere in Hinblick auf eine weitere Optimierung des Unterrichtskonzepts von Interesse und ist typisch für Design-Based-Research. Hier zeigte sich u.a., dass das Unterrichtskonzept von den Lehrkräften im Allgemeinen sehr positiv beurteilt wird. 12 von 14 Lehrkräften gaben an, auch in Zukunft danach unterrichten zu wollen. Eine ebenso große Anzahl an Lehrkräften bescheinigt dem Unterrichtskonzept eine eher große oder eindeutig große Lernförderlichkeit in Bezug auf die elektrische Spannung.

Bemerkenswert ist, dass die hohe Lernwirksamkeit des Unterrichtskonzepts alleine durch die Bereitstellung von didaktisch durchdachten Unterrichtsmaterialien ohne weitere Schulung der Lehrkräfte erzielt werden konnte. Damit dürfte eine breite und vergleichsweise einfache Implementation des Unterrichtskonzepts in der Schulpraxis möglich sein. Zu diesem Zweck wurde die Internetseite www.einfache-ehle.de eingerichtet, wo interessierte Lehrkräfte sich die im Rahmen dieses Forschungsprojektes entstandenen Unterrichtsmaterialien herunterladen können.

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, da die Einbettung von physikalischen Themen in Alltagskontexte es den Schülerinnen und Schülern erlaubt, die Physik als sinnvoll und für ihr Leben relevant wahrzunehmen. Im Rahmen einer internationalen Nachfolgestudie eines Konsortiums der vier Universitäten Wien, Graz, Darmstadt und Frankfurt wird das Unterrichtskonzept deshalb um für Mädchen interessante Kontexte erweitert und untersucht, inwiefern damit z.B. das Interesse und das Konzeptverständnis der Schülerinnen und Schüler gefördert werden kann. In diesem Zusammenhang wird auch das Studiendesign verbessert, indem z.B. die Lehrervariable über die verschiedenen Kontroll- und Treatmentgruppen konstant gehalten wird, um ausschließen zu können, dass mögliche Unterschiede zwischen den Gruppen auf die Lehrkräfte zurückzuführen sind.

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

Literatur

- [1] G. Reinmann, *Unterrichtswissenschaft* 33 (1), 2005, S. 52–69
- [2] H. Wiesner, V. Tobias, C. Waltner, M. Hopf, T. Wilhelm A. Sen, *PhyDid-B*. 2010
- [3] C. v. Rhöneck, *Naturwissenschaften im Unterricht - Physik* 34 (13), 1986, S. 10–14
- [4] R. Cohen, B. Eylon, und M. Ganiel, *American Journal of Physics* 51 (5), 1983, S. 407–412
- [5] M. S. Steinberg und C. L. Wainwright, *The Physics Teacher* 31 (6), 1993, S. 353–357
- [6] M. S. Steinberg, *Foundations of Science* 13 (2), 2008, S. 163–175
- [7] T. Wilhelm, V. Tobias, C. Waltner, M. Hopf und H. Wiesner, *Jahrestagung der GDGP 2011*, Münster: Lit-Verlag, 2012, S. 31–47

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 Universität Frankfurt am Main.

Thomas Wilhelm (FV Didaktik der Physik) studierte an der Universität Würzburg. Nach einer Tätigkeit als Gymnasiallehrer hat er an dieser Universität auch promoviert und habilitiert, und dann 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 Unterrichtskonzeptes zur Einführung in die Mechanik erhielt er zusammen mit Kollegen den Polytechnikpreis.