



ROBERT-WICHARD-POHL-PREIS

Überzeugend Physik lehren

Für guten Physikunterricht gilt es, Unterrichtskonzeptionen zu entwickeln und zu erforschen.

Thomas Wilhelm

Zur Weiterentwicklung des Physikunterrichts braucht es geeignete Unterrichtskonzeptionen und -materialien. Hierzu sollte die theoriebasierte Entwicklung verknüpft sein mit der empirischen Erforschung der Lernwirkungen sowie mit Bemühungen zur Implementation in der Schule.

Man könnte meinen, die physikalische Lehre in Schule und Universität habe aufgrund langjähriger Erfahrung einen guten Stand erreicht. Doch die physikdidaktische Forschung zeigt, dass die Lernenden zum Teil wenig Konzeptverständnis erreichen und sich Fehlvorstellungen, die sie bereits mitbringen, kaum verändern. Zudem ist in der Schule das Interesse an Physik gering und fällt während der Schulzeit weiter ab, sodass sich zu wenige junge Erwachsene für entsprechende Ausbildungen oder Studiengänge entscheiden. Deshalb ist es nötig, neue Unterrichtskonzeptionen zu entwickeln und zu erforschen, um die gesteckten Ziele besser zu erreichen. Unter „Unterrichtskonzeption“ sei hier ein an zentralen, leitenden Ideen

entwickelter Entwurf für die Gestaltung der Inhalte verstanden, wobei die zugrundeliegenden Ideen bis ins Detail ausgearbeitet sind. Dafür braucht es die Physikdidaktik, weil weder Fachwissen noch pädagogisch-psychologisches Wissen allein ausreichen.

Didaktische Rekonstruktion

Die komplexe Sachstruktur der Physik gilt es, für die Lehre aufzuarbeiten. Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion beinhaltet drei wichtige Aspekte: fachliche Klärung, Erfassung der Lernendenperspektive und didaktische Strukturierung (**Abb. 1**) [1]. Gute Lehre setzt zunächst ein hohes fachliches Verständnis der Lehrkraft voraus. Traditionelle Erklärungen sowie bekannte Versuche und Vorgehensweisen sind mitunter missverständlich, verwirrend oder lernhinderlich und sollten teils anders oder nicht mehr unterrichtet werden. Beispiele sind in [2] vorgestellt. So vermittelt der „Tischendeckenversuch“ (**Abb. 2**) fälschlicherweise, dass das Trägheitsprinzip mit dem Tempo zusam-

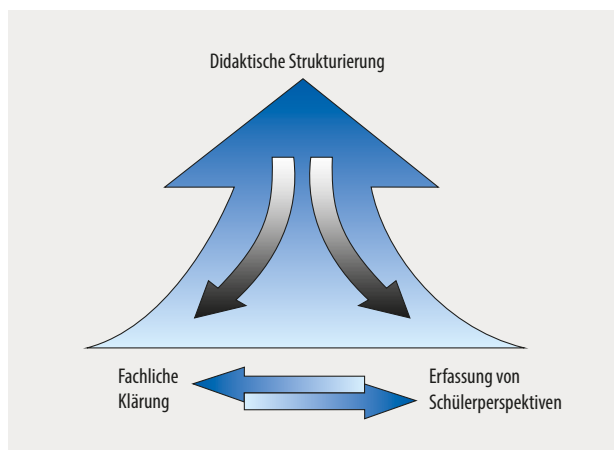


Abb. 1 Die Didaktische Rekonstruktion beinhaltet drei Aspekte.

menhängt, während bei dem Versuch je nach Tempo beim Ziehen entweder Haft- oder Gleitreibungskräfte wirken.

Zweitens muss die Lehrkraft wissen, wie Lernende über physikalische Inhalte denken. Die Erforschung von Schülervorstellungen, d. h. intuitive oder aus dem Alltag bzw. aus vorausgehendem Unterricht mitgebrachte Vorstellungen, ist seit den 1970er-Jahren ein wichtiges Thema der Physikdidaktik, zu der auch meine Arbeitsgruppe beitragen konnte. Einen Überblick zum aktuellen Wissensstand gibt [3].

Drittens ist ein Themenbereich didaktisch zu strukturieren, da er sich sehr unterschiedlich mit verschiedenen Zielen und Sachstrukturen unterrichten lässt. Die Sachstruktur gibt Auskunft über folgende Aspekte: Welche physikalischen Konzepte und Phänomene stehen im Zentrum? In welcher Reihenfolge sind die Unterthemen zu behandeln? Wo lassen sich Schwerpunkte setzen? Was wird weggelassen? Welche Vereinfachungen sind möglich? Wie geschieht die Visualisierung? Um eine gute Sachstruktur zu erarbeiten, braucht es Schulerfahrung, fachdidaktische Kenntnis, Kreativität und Ideen. Unser Lehrbuch „Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht“ legt möglichst alle Unterrichtskonzeptionen aus dem deutschsprachigen Raum dar, die in der Schulpraxis erprobt sind, sich vom traditionellen Unterricht unterscheiden und zu denen Unterrichtsmaterialien vorliegen [4]. Insgesamt sind es 65 Konzeptionen, meist etwa drei pro Thema; Unterrichtskonzeptionen zum gleichen physikalischen Thema können sich stark unterscheiden und völlig andere Erklärungsansätze und Visualisierungen verwenden.

Schließlich sind bei der Entwicklung digitale Medien zu berücksichtigen, die beim Lernen hilfreich sind. Meine Arbeitsgruppe hat z. B. die Messwerterfassung mit Sensoren (über PC, Smartphone [5], Arduino), die Videoanalyse von Bewegungen (**Abb. 3**) sowie die Möglichkeiten von Computational Physics [6] untersucht. Aktuell ist das erste Lehrbuch zum Einsatz digitaler Medien erschienen [7].

Eine gute Unterrichtskonzeption orientiert sich an den vorher gesetzten Zielen (zielgerecht), sie berücksichtigt entwicklungspsychologische Aspekte, Schülervorstellungen und die Interessen der Lernenden (schülergerecht) und sie ist „fachlich relevant“ bzw. „fachlich erweiterbar (fachgerecht), damit Lernende später nicht umlernen müssen, sondern grundlegende Bedeutungen von Begriffen weiterver-



Abb. 2 Ob die Münze beim Ziehen in die Tasse fällt, hängt davon ab, ob auf sie eine Haftkraft oder Gleitreibungskraft wirkt.

wenden können. „Fachlich richtig bzw. falsch“ ist dagegen kein Argument, denn im Unterricht kommen auch Vereinfachungen sowie Modelle zum Einsatz, die außerhalb ihres Modellbereichs fachlich falsch sind.

Design-Based Research

Allerdings genügt es nicht, Unterrichtskonzeptionen zu entwickeln, sondern es braucht auch die empirische Forschung und die Weiterentwicklung theoretischer Erkenntnisse. Design-Based Research geht von einem Problem der Praxis aus (**Abb. 4**) [8]. Aufgrund einer Hypothese wird eine neue Unterrichtskonzeption designet und so lange verbessert, bis als Produkt ein fertiger Lehrgang mit Unterrichtsmaterialien vorliegt. Beim Einsatz in der Praxis lassen sich Daten erheben wie das qualitative Verständnis der Lernenden, welche die theoretischen Erkenntnisse erweitern. Das Produkt und die Erkenntnisse führen zu neuen Problemen, sodass die beiden verbundenen Kreisläufe der Produktentwicklung sowie der Erforschung eventuell mehrfach durchlaufen werden.

Wenn neue Rahmenbedingungen, Ziele, Medien oder Fragestellungen vorliegen, kann es sich anbieten, diesen Zyklus Jahre später erneut zu durchlaufen. Nur empirisch ist die entscheidende Frage nach der Lernwirksamkeit zu beantworten: Bei welchem Lernangebot verstehen wie viele Lernende welchen Aspekt? Welche falschen Vorstellungen können sie überwinden oder erlangen sie womöglich neu? Wie wirkt sich das auf ihr Interesse aus? Was erweist sich als anschlussfähig für künftiges Lernen?

Vorbild Ingenieurwissenschaft

Viele fachdidaktische Erkenntnisse und Produkte kommen kaum in der Unterrichtspraxis an. Um diese Lücke zwischen Forschung und Praxis zu überwinden, muss die Physikdidaktik ähnlich dem Vorbild der Ingenieurwissenschaft die Nutzerperspektive erheben. Forschungsfragen sind hier: Welche Unterrichtsmaterialien brauchen Lehrkräfte, damit sie neue Ideen einsetzen? Wie müssen Unterrichtsmaterialien zur Verfügung stehen, damit Lehrkräfte sie nutzen? Wie schätzen Lehrkräfte diese Materialien ein?



Abb. 3 Das Stroboskopbild eines rotierenden, wassergefüllten Eimers erlaubt es, Geschwindigkeit und Beschleunigung zu visualisieren (erstellt mit „measure dynamics“).

Neue Experimente sowie neue Software können als Produkte gelten, deren „Usability“ es zu erforschen gilt. Damit ist das Ausmaß gemeint, in dem Nutzende ein Produkt verwenden können, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen. Beispielsweise gab es Usability-Tests zur Evaluation eines 3D-gedruckten Interferometers (**Abb. 5**) [9]. Dabei haben Physiklehrkräfte dieses mit einem anderen Produkt verglichen und es wurden quantitative Maße wie der Erfolg beim Aufbau, die benötigte Zeit oder die Nutzerzufriedenheit ermittelt.

Um Unterrichtskonzeptionen zu verbreiten, sind Lehrkräftefortbildungen, Zeitschriftenartikel, Bücher oder Webseiten für Lehrkräfte nötig. Wenn es etwa darum geht, physikalische Inhalte bereits in der Grundschule zu behandeln, ist die Webseite www.supra-lernplattform.de hilfreich.

Beispiele

Meine Arbeitsgruppe hat an der Entwicklung und Erforschung verschiedener Unterrichtskonzeptionen mitgearbeitet, die sich deutlich vom traditionellen Vorgehen unterscheiden. In der Kinematik geht es in der Sekundarstufe I und II immer darum, alle Größen zunächst an zweidimensionalen Bewegungen einzuführen, um zwischen skalaren und vektoriellen Größen klar zu unterscheiden. Vektorielle Größen werden hier durch Pfeile visualisiert. Um Messwerte zu erfassen, gibt es verschiedene Möglichkeiten, etwa die Videoanalyse von Bewegungen. Beginnt man dagegen mit geradlinigen Bewegungen, fassen die Schülerinnen und Schüler alle Größen als skalare Größen auf (Ort = Weglänge, Geschwindigkeit = Tempo, Beschleunigung = schneller/ langsamer werden). Die spätere Erweiterung auf zwei Dimensionen gelingt kaum. Die Schülerinnen und Schüler begreifen dann eine gleichmäßige Kreisbewegung als Bewegung ohne Beschleunigung, zu der keine Kraft nötig ist.

Bei der Dynamik wurde in der Sekundarstufe I eine Konzeption untersucht, die auf die Beschleunigung verzichtet

und das zweite Newton'sche Gesetz in der elementarisierten Form $\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta \vec{v}$ behandelt. Die Beschleunigung ist zum einen ein Quotientenbegriff, in den zwei Größen eingehen, und zum anderen eine vektorielle Größe – beides erschwert das Verständnis. In der Sekundarstufe II lassen sich dagegen mehrere Kräfte berücksichtigen und das zweite Newton'sche Gesetz in der Form $\vec{a} = \Sigma \vec{F} / m_{\text{ges}}$ thematisieren und visualisieren. Unterstützen kann dies der Einsatz von Software mit numerischen Verfahren – etwa solche zur Computational Physics mit Animationen oder auch Software, bei der wenige zentrale Gleichungen genügen [6].

Eine Unterrichtskonzeption zum elektrischen Stromkreis in der Sekundarstufe I beginnt mit dem elektrischen Potential, das über den Druck im Elektronengas motiviert und mit Farben visualisiert ist. Empirische Erhebungen zeigten, dass Schülerinnen und Schüler so auch ein Verständnis der elektrischen Spannung erlangen, während im traditionellen Schulunterricht die Stromstärke die zentrale Größe ist und die Spannung unverstanden bleibt.

Für den Sachunterricht erklärt eine Unterrichtskonzeption zum Thema „Sinken – Schweben – Steigen – Schwimmen“ die Auftriebskraft über den Wasserdruck und das Verhalten des Körpers über Auftriebs- und Gewichtskraft – anstatt wie üblich über das Verdrängungsprinzip oder die Dichten. Auf diese Weise vermittelt die Lehrkraft eine physikalische Erklärung, nicht nur ein Prinzip.

Alle diese Unterrichtskonzeptionen beginnen nicht wie üblich mit sehr starken Vereinfachungen, um dann schrittweise komplexer zu werden. Stattdessen behandeln Lehrkräfte von Anfang an komplexe Zusammenhänge (zwei Dimensionen, Potential) und betrachten erst im weiteren Verlauf auch einfachere Situationen. Dies vermeidet Fehlvorstellungen und verbessert das Verständnis.

Mindsets

Aktuelle Forschungsarbeiten meiner Arbeitsgruppe betreffen das physikspezifische Mindset, d. h. Überzeugungen der Lernenden in Schule und Universität gegenüber dem Physiklernen. Dies ist angelehnt an Carol Dweck [10], die bezüglich Laien-Theorien zur allgemeinen Intelligenz zwei Pole gefunden hat: Lernende mit einem physikspezifischen „Fixed Mindset“ sind demnach überzeugt, dass

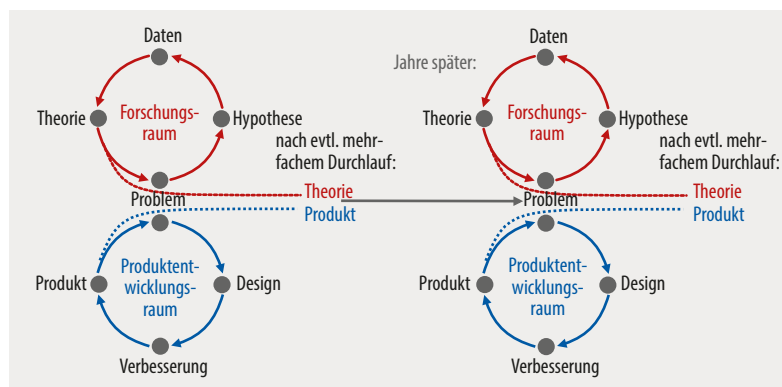


Abb. 4 Beim Design-Based Research laufen Entwicklung (blau) und Forschung (rot) parallel und verzahnt ab.

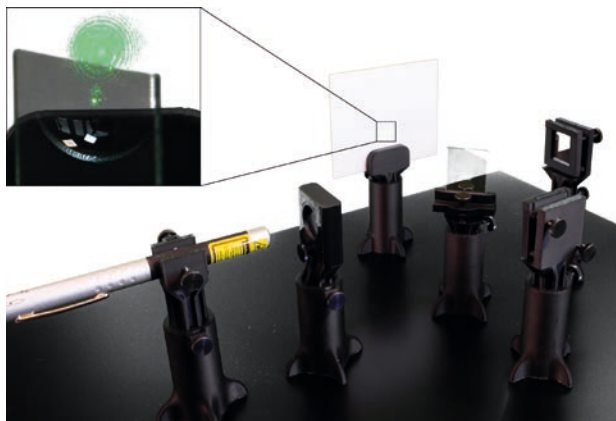


Abb. 5 In einem Usability-Test galt es, ein Interferometer aus dem 3D-Drucker mit einem herkömmlichen Interferometer zu vergleichen und etwa die Nutzerzufriedenheit zu ermitteln.

eine angeborene und unveränderbare Physikbegabung eine Voraussetzung für den Lernerfolg in Physik ist. Sie interpretieren die Notwendigkeit, sich anzustrengen, als fehlende Begabung und geben bei Rückschlägen eher auf. Dagegen besitzen Lernende mit einem physikspezifischen „Growth Mindset“ die Überzeugung, dass sich physikalisches Wissen und Können durch Anstrengung und Übung immer weiter ausbauen lassen. Anstrengung trägt somit zum erfolgreichen Lernen bei, und die Lernenden nehmen Rückschläge als Teil des Lernprozesses wahr. Diese zweite Lernhaltung ist offensichtlich lernförderlicher – insbesondere bei Herausforderungen.

Leider wird häufig unbewusst vermittelt, dass es für Physik eine besondere angeborene Begabung braucht. Während zu Beginn des Physikunterrichts noch die meisten Schülerinnen und Schüler glauben, dass sie durch Anstrengung in dem Fach gut sein können (Growth Mindset), haben nach einem Schuljahr schon viele die gegenteilige Auffassung (Fixed Mindset) (**Abb. 6**) [11]. Deshalb hat meine Arbeitsgruppe kurze Interventionen für den Beginn des Schulphysikunterrichts und für den Beginn des Physikstudiums entwickelt, die zeigen sollen, dass die erreichbaren Fähigkeiten nicht festgelegt sind. Dazu gilt es, unter anderem aufzuzeigen, dass sich das Gehirn durch die Beschäftigung mit herausfordernden Themen verändert. Die Lernenden sollen daraus die Analogie „Mein Gehirn ist trainierbar wie ein Muskel“ ableiten [12]. Studien dazu finden derzeit statt. Erste empirische Ergebnisse lassen hoffen, dass sich die Überzeugungen Lernender so ändern lassen, dass sie bereit sind, sich beim Physiklernen mehr anzustrengen, sodass sie mehr Erfolg haben.

Literatur

- [1] U. Kattmann, R. Duit, H. Gropengießer und M. Komorek, Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 3, 3 (1997)
- [2] T. Wilhelm (Hrsg.), Stolpersteine überwinden im Physikunterricht. Anregungen für fachgerechte Elementarisierungen, Aulis Verlag in Friedrich Verlag, Seelze (2018)
- [3] H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf und R. Duit (Hrsg.), Schülervertretungen und Physikunterricht, Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg (2018)
- [4] T. Wilhelm, H. Schecker und M. Hopf (Hrsg.), Unterrichtskonzepte-

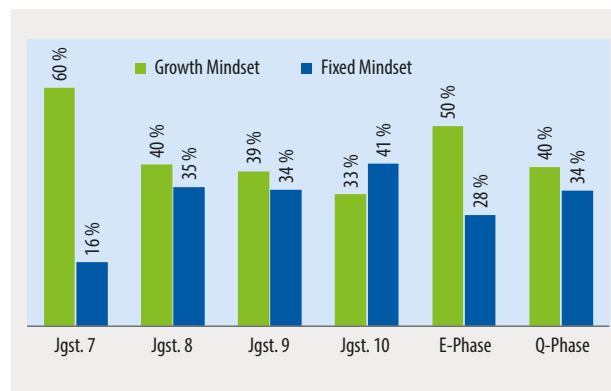


Abb. 6 Zu Beginn des Physikunterrichts in Klassenstufe 7 besitzen Schülerinnen und Schüler am Gymnasium noch überwiegend ein Growth Mindset ($N = 900$). Schon ein Jahr später hat der Anteil mit einem Fixed Mindset signifikant zugenommen.

onen für den Physikunterricht, Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg (2021)

- [5] T. Wilhelm und J. Kuhn (Hrsg.), Für alles eine App. Ideen für Physik mit dem Smartphone, Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg (2022)
- [6] J. Weber und T. Wilhelm, PhyDid-A 1/19, 43 (2020)
- [7] T. Wilhelm (Hrsg.), Digital Physik unterrichten. Grundlagen, Impulse, Perspektiven, Klett Kallmeyer, Hannover (2023)
- [8] T. Wilhelm und M. Hopf, Design-Forschung, in: D. Krüger, I. Parchmann und H. Schecker (Hrsg.), Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg (2014)
- [9] F. Bernstein, S. Schmeling und T. Wilhelm, Usability Tests zur Evaluation von Experimentiermaterial, in: H. v. Vorst (Hrsg.), Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Band 43 (2023)
- [10] C. S. Dweck, Self-theories: Their role in motivation, personality, and development, Psychology Press, New York (1999)
- [11] L. Goldhorn, T. Wilhelm und V. Spatz, Domain-specific theories of intelligence, in: G. S. Carvalho, A. S. Afonso und Z. Anastácio (Hrsg.), ESERA 2021. Fostering Scientific Citizenship in an Uncertain World (2022), S. 161
- [12] L. S. Blackwell, K. H. Trzesniewski und C. S. Dweck, Child Development 78, 246 (2007)

Der Autor



DPG / Jürgen Loesel 2023

Thomas Wilhelm (FV Didaktik) studierte Lehramt an Gymnasien für Physik und Mathematik an der U Würzburg. Nach dem Referendariat war er als Gymnasiallehrer tätig, bevor er an der U Würzburg promovierte und habilitierte. Nach einer Professur an der U Augsburg ist er seit 2012 Professor für Didaktik der Physik an der U Frankfurt. Neben dem „Preis für gute Lehre 2010“ des bayerischen Staatsministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kunst erhielt er 2011 einen „Polytechnik-Preis“ der Stiftung Polytechnische Gesellschaft sowie 2021 den „Wissenschaftspreis der Frankfurter Physik“. In seiner Freizeit widmet er sich zusammen mit seiner Frau dem Gesellschaftstanz.

Prof. Dr. Thomas Wilhelm, Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt, Max-von-Laue-Str. 1, 60438 Frankfurt am Main