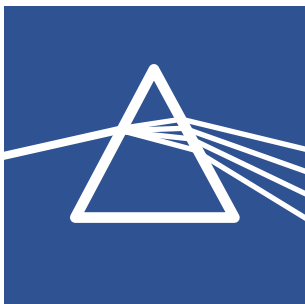
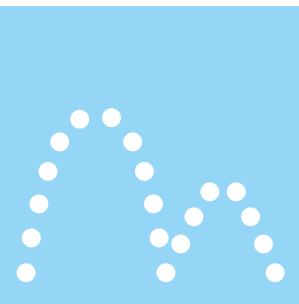
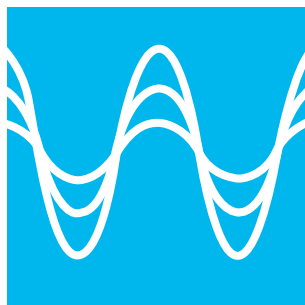
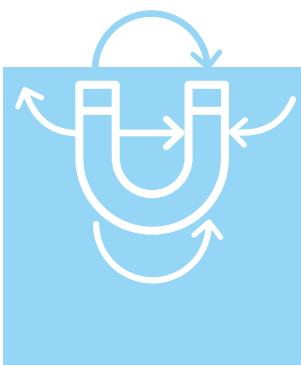


Martin Hopf
Horst Schecker
Dietmar Höttecke
Hartmut Wiesner (Hrsg.)

Physikdidaktik

kompakt



Aulis

Hopf · Schecker · Höttecke · Wiesner

Physikdidaktik kompakt

Martin Hopf, Horst Schecker, Dietmar Höttecke,
Hartmut Wiesner, Roland Berger, Raimund Girwidz,
Hendrik Härtig, Peter Heering und Josef Leisen

Martin Hopf
Horst Schecker
Dietmar Höttecke
Hartmut Wiesner
(Hrsg.)

Physikdidaktik *kompakt*

1. vollständig neu bearbeitete Auflage



Aulis

Klett | Kallmeyer

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Impressum

Martin Hopf, Horst Schecker, Dietmar Höttecke, Hartmut Wiesner
Physikdidaktik kompakt

1. vollständig neu bearbeitete Auflage 2022
Das E-Book folgt der Buchausgabe 1. Auflage 2022

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Nutzung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlages.

© 2017. Aulis Verlag in Friedrich Verlag GmbH
D-30159 Hannover
Alle Rechte vorbehalten.
www.friedrich-verlag.de

Redaktion: Margret Liefner-Thiem
Bildnachweis: Friedrich Verlag GmbH (Cover); Horst Schecker, Hartmut Wiesner (S. 25); Hartmut Wiesner (S. 60)

Realisation: Lea Siebold, Sabine Duffens
E-Book Erstellung: Friedrich Verlag, Hannover

ISBN: 978-3-7614-3014-9

Inhalt

Vorwort zur 1. vollständig neu bearbeiteten Auflage 2022	6
Vorwort zur bisherigen Auflage	7
1. Was ist Physik?	9
2. Bildungsziele	16
3. Bildungsstandards	21
4. Lernen aus konstruktivistischer Sicht	29
5. Schülervorstellungen	34
6. Konzeptentwicklung	42
7. Interessen	50
8. Sprache	58
9. Elementarisierung	67
10. Unterrichtskonzeptionen	73
11. Unterrichtsmodelle	85
12. Aufgaben	91
13. Methodenwerkzeuge	100
14. Experimentieren	106
15. Medien	115
16. Leistungsmessung und Schülerbeurteilung	124
17. Schulleistungsstudien	133
18. Materialquellen für die Unterrichtsplanung	139
Literatur	144
Über die Autoren	154

Vorwort zur 1. vollständig neu bearbeiteten Auflage 2022

Seit dem Erscheinen von *Physikdidaktik kompakt* im Jahr 2011 wurden in den Folgeauflagen jeweils kleinere Aktualisierungen vorgenommen. Es war nach zehn Jahren an der Zeit, das Lehrbuch gründlich zu überarbeiten und auf den neuesten Stand zu bringen. Manche Kapitel – wie → **Kap. 1** „Was ist Physik?“ – blieben dabei im Wesentlichen erhalten. In anderen Themenfeldern der Physikdidaktik – z. B. bei den Schulleistungsstudien (→ **Kap. 17**) – waren die Entwicklungen dagegen sehr dynamisch, was zu deutlichen inhaltlichen Änderungen führte. Alle Kapitel wurden einem gründlichen Feinschliff unterzogen und aktualisiert. Die Internetadressen wurden überprüft (Stand 1.6.2021). Beibehalten wurde die Grundkonzeption einer kompakten Darstellung der zentralen Wissensbasis der Physikdidaktik, jeweils mit Verweisen auf weiterführende Literatur. Der Umfang des Buches wurde trotz der Aufnahme neuer Themen nicht erhöht.

Größere inhaltliche Änderungen der vorliegenden neu bearbeiteten Auflage liegen in folgenden Punkten:

- Wegen der Bedeutung der Sprache im Physikunterricht wurde dafür ein eigenes Kapitel geschrieben.
- Das Kapitel „Bildungsstandards“ greift die 2020 verabschiedeten Physik-Standards für die Allgemeine Hochschulreife auf.
- In das Kapitel „Schulleistungsstudien“ wurden die nationalen Untersuchungen zum Erreichen der Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss aufgenommen.

- Im Kapitel „Schülvorstellungen“ werden die Beispiele jetzt „kompakt“ auf Optik und Quantenphysik konzentriert. Auf eine Darstellung in der Breite weiterer Themengebiete konnte verzichtet werden, weil es zu Schülvorstellungen inzwischen ein eigenes Lehrbuch gibt.
- Die Beschreibung von Unterrichtskonzeptionen, in denen Ergebnisse der Schülvorstellungsforschung berücksichtigt sind, wurde in das Kapitel „Konzeptentwicklung“ integriert.
- Im Kapitel „Medien“ liegt der Fokus jetzt deutlicher auf digitalen Werkzeugen.
- Zudem erscheint das Lehrbuch erstmals auch als eBook.

Physikdidaktik kompakt soll weiterhin eine überblicksartige Orientierung in der Physikdidaktik ermöglichen oder zur Auffrischung physikdidaktischen Grundwissens beitragen. Der Band möchte damit einen vertieften Einstieg in physikdidaktische Literatur vorbereiten. Hauptzielgruppen bleiben Lehramtsstudierende und Lehrkräfte im Vorbereitungsdienst.

Mit der überarbeiteten Auflage 2022 wurde der Herausgeberkreis um Dietmar Höttecke (Universität Hamburg) erweitert.

Wien, Bremen, Hamburg,
Frankfurt a. M. im Juni 2021
Martin Hopf, Horst Schecker, Dietmar
Höttecke und Hartmut Wiesner

Vorwort

Für ein Buch, das die Physikdidaktik kompakt darstellen soll, müssen folgende Fragen bedacht werden:

- Was ist Physikdidaktik?
- Wie wird physikdidaktische Kompetenz erworben?
- Was gehört zur physikdidaktischen Wissensbasis?

Physikdidaktik befasst sich mit der Theorie und der Praxis des Lernens und Lehrens von Physik. So weit besteht Konsens über die Frage „*Was ist Physikdidaktik?*“ – ebenso darüber, dass physikdidaktische Fähigkeiten wesentliche Bestandteile der professionellen Kompetenz von Physiklehrkräften sind. Es ist eine wichtige Aufgabe des Lehramtsstudiums und des Vorbereitungsdienstes, diese Kompetenz zu entwickeln.

Zur Frage „*Wie wird physikdidaktische Kompetenz erworben?*“ gibt es recht unterschiedliche Auffassungen. Man findet die Ansicht, es sei eine Kunst, Physik zu unterrichten, die natürliche Begabung und Fachkompetenz erfordere. Andere hingegen verstehen den Physikunterricht als ein Handwerk. Dies erlerne man am besten, indem man zu einem erfahrenen „Meister“ in die Lehre gehe oder sogar nur aus eigener Erfahrung. Wieder andere sehen den Physikunterricht als Praxisfeld physikdidaktischer Forschung. Es gehe darum, die Erkenntnisse aus empirischen Studien über Lehr- und Lernprozesse direkt in den Unterricht zu übertragen.

Alle drei Positionen sind in ihren Zuspitzungen unhaltbar – und enthalten gleichzeitig zutreffende Elemente. Wie für jede Tätigkeit sind auch für das Unterrichten bestimmte persönliche Merkmale

hilfreich, z. B. Begeisterungsfähigkeit für ein Fach. Aktuelle Studien belegen die Bedeutung des Fachwissens als notwendige, aber nicht hinreichende Bedingung für professionelle Handlungskompetenz von Lehrkräften. Natürlich kann man von erfahrenen Unterrichtspraktikern viel lernen, insbesondere, wenn sie nicht nur zeigen, *wie* sie unterrichten, sondern auch theoriebezogen begründen können, *warum* sie Physik so unterrichten. Zweifelloso hat die empirische fachdidaktische Forschung eine Vielzahl von Ergebnissen zum Lernen und Lehren der Physik erbracht, die für die Praxis unverzichtbar sind.

Kompetenzen, auch die des Unterrichts von Physik, entwickeln sich aus einem Zusammenspiel von Wissen, Erfahrung, Routinen und der Bereitschaft zur kritischen Überprüfung von Handlungsweisen. Als Grundlage für reflektiertes Unterrichtshandeln ist eine solide Kenntnis physikdidaktischer Erkenntnisse und Konzeptionen unabdingbar. Diese Wissensbasis wird überwiegend in den fachdidaktischen Lehrveranstaltungen des Lehramtsstudiums erworben. Sie beruht auf den Ergebnissen langjähriger physikdidaktischer Forschung und Entwicklung sowie der Diskussion über Ziele und Konzeptionen von Physikunterricht. Für ihre Anwendung und Erprobung gibt es bereits im Studium Praxisanteile. Der Vorbereitungsdienst verbreitert die Praxiserfahrungen und erweitert die Wissensbasis insbesondere in curricularer Hinsicht.

Physikdidaktisches Wissen bildet in enger Verbindung mit Fachwissen den Ausgangspunkt für die Planung und Analyse von Unterricht. Kompetent handelnde

Physiklehrkräfte wählen physikdidaktische Konzeptionen und Erkenntnisse für anstehende Lehr-Lern-Situationen gezielt aus, erproben und hinterfragen sie, um daraus – möglichst gemeinsam in einer Gruppe mit Kolleginnen und Kollegen – schülerbezogene und fachgemäße Lernumgebungen weiterzuentwickeln. Für die Herausbildung dessen, was international als „pedagogical content knowledge“ bezeichnet wird, bedarf es also einer physikdidaktischen Wissensbasis.

Was aber gehört zur physikdidaktischen Wissensbasis – insbesondere für angehende Lehrkräfte? Die internationale fachdidaktische Forschung erweitert ständig den Erkenntnisstand über das Lehren und Lernen von Physik. Obwohl die forschungsbasierte Physikdidaktik eine recht junge wissenschaftliche Disziplin ist – es gibt sie in Deutschland etwa seit den 1970er Jahren –, haben die Anzahl der Aufsätze in den Forschungszeitschriften und die Seitenzahl der Lehr- und Handbücher inzwischen einen großen Umfang erreicht. Es erschien uns daher an der Zeit, die für Lehramtsstudierende und Referendare

wichtigsten Ergebnisse physikdidaktischer Forschung und Entwicklung zu sichten und kompakt darzustellen. Im vorliegenden Buch werden drei große Bereiche behandelt:

- physikalische Bildung (Charakter der Physik, Bildungsziele, Bildungsstandards),
- Lernen von Physik (Schülvorstellungen, Begriffsentwicklung, Interesse),
- Gestalten von Physikunterricht (Methoden, Medien, Aufgaben).

Von dieser Wissensbasis ausgehend kann für die Vorbereitung von Praxisphasen und für Vertiefungen in Seminararbeiten gezielt weiteres Material recherchiert werden. In jedem Kapitel finden sich dazu Literaturhinweise. „Physikdidaktik kompakt“ ist auch als Repetitorium für die Prüfungsvorbereitung im Lehramtsstudium oder im Referendariat verwendbar.

München, Bremen und Wien, im Juni 2010
Hartmut Wiesner, Horst Schecker
und Martin Hopf

1. Was ist Physik?

Was ist Physik? Ist es das, was Physikerinnen und Physiker in Wissenschaft und Industrie täglich tun? Oder das, was man im Physikstudium lernt – also ein Wissens- und Methodenbestand? Und entspricht das, was im Physikunterricht gelehrt und gelernt wird, dem Charakter physikalischer Forschung? Unter Forschenden und auch unter Lehrenden gibt es immer wieder Diskussionen, ob ein Thema oder eine Methode noch als physikalisch gelten kann, zu einer anderen wissenschaftlichen Disziplin zählt oder vielleicht auch gar nicht wissenschaftlich ist.

Erkenntnisgegenstände und kulturelle Praxis der Physik

Traditionell wurde Physik von ihrem Erkenntnisgegenstand her als eine Wissenschaft definiert, die das Verhalten der unbelebten Natur beschreibt, sofern es zu keinen stofflichen Veränderungen kommt. Mit einer solchen Bestimmung wurde versucht, Physik von Biologie und Chemie abzugrenzen; eine derartige Definition ist aber nicht mehr zeitgemäß. Sie grenzt interdisziplinäre Bereiche aus, die sich aus der Überlappung von Physik mit anderen Disziplinen ergeben. Mit dem Herausbilden von Disziplinen wie Physikalische Chemie, Biophysik, Neurophysik oder Technische Mechanik wird deutlich, dass es keine zeitlich überdauernde scharfe Abgrenzung zwischen den Wissenschaften geben kann.

Ein vergleichbares Problem stellt sich auch für Physiklehrende: Im Unterricht fügen sich Inhalte – gerade wenn sie unter didaktischen Aspekten ausgewählt sind – nicht ohne Weiteres in den traditionell definierten Kanon des Fachwissens. Zählt

ein Unterricht über Lärm, der neben Begriffen wie Schallpegel oder Schallwelle auch Schädigungen des Gehörs durch laute Musik behandelt, noch im engeren Sinne zur Physik? Wozu zählen physiologische Aspekte der Wahrnehmung von Geräuschen?

Definiert man Physik als historisch gewachsene kulturelle Tätigkeit, dann rückt der Arbeitskontext in den Vordergrund. Physik hat sich seit dem 16./17. Jahrhundert (den Zeiten von Kopernikus, Kepler, Galilei, Newton) systematisch entwickelt und wurde in den entstehenden wissenschaftlichen Gesellschaften und Universitäten verankert. Heute verfügt in Deutschland praktisch jede Universität über ein physikalisches Institut. Physikalisch Forschende sind Mitglieder wissenschaftlicher Gemeinschaften. Sie gehören Fachverbänden an, veröffentlichen ihre Ergebnisse in Fachjournals und arbeiten in größeren Projektgruppen eng zusammen. Ebenso wie die Ausbildung sorgt ein derartiges System dafür, dass wissenschaftliche Fragestellungen entsprechend den etablierten Standards bearbeitet werden, aber auch, dass die Tradition der physikalischen Forschung zur Legitimation ihrer aktuellen Praxis herangezogen werden kann (vgl. Fleck, 1983). Die Wahl von Forschungsfragen basiert keineswegs allein auf innerwissenschaftlichen Kriterien. Ökonomische Interessen (z. B. Forschung zu Nanomaterialien), politische und gesellschaftliche Vorgaben (z. B. Forschung zu organischen Solarzellenmaterialien) sind neben den individuellen Interessen der Forschenden wichtige Einflussfaktoren. Im Gegensatz zur tradierten und auch häufig im Physikunterricht vermittelten

Vorstellung der Forschung werden neue Erkenntnisse in aller Regel nicht durch einzelne geniale Forschende gewonnen. Physik ist das Produkt der Interaktion, Konkurrenz und Zusammenarbeit von Forschergruppen. Neues Wissen wird innerhalb einer Wissenschaftlergemeinschaft in einem komplexen sozialen Aushandlungsprozess etabliert. Hierbei sind Kontroversen keine Seltenheit. Sie resultieren oft aus einem Dissens über die Interpretation von Mess- oder Simulationsdaten, geeignete Instrumente und Messmethoden oder Modellannahmen. Bei deren Beilegung spielt auch die wissenschaftliche Reputation der Forschenden eine wichtige Rolle.

Soziale Prozesse spielen in der Wissenschaftlergemeinschaft eine wesentliche Rolle bei Aushandlungen, andere Argumente sind aber ebenfalls von großer Bedeutung. Als zentrale Argumente fungieren hierbei insbesondere die Stringenz theoretischer Ansätze, die Erklärungsmächtigkeit und Fruchtbarkeit neuer Theorien sowie die Reproduzierbarkeit von experimentellen Ergebnissen. In der Forschungspraxis sind solche Argumente weniger eindeutig und unstrittig, als sie auf den ersten Blick scheinen. Der Anspruch auf Wiederholbarkeit von Experimenten in anderen Laboren ist nämlich in der Praxis nicht immer umsetzbar. Das ist nicht nur so, weil Ressourcen (Finanzen, Apparaturen) immer begrenzt sind. Vielmehr ist zum erfolgreichen Experimentieren auch ein nicht verbalisierbares Handlungswissen erforderlich (ähnlich dem Wissen über gutes Kochen), das in der Praxis erst mühselig erworben werden muss.

Die o. g. zentralen Argumente werden zwar auch explizit in physikalischen Debatten verwendet. Sie erhalten allerdings in der Retrospektive, die beim wissenschaftlichen Publizieren eingenommen wird, ein höheres Gewicht als in der tatsächlichen Forschungspraxis. Die physikalische Theorieentwicklung erscheint dann oft rationaler und stringenter, als sie tatsächlich war. Nach dieser Sichtweise setzt sich eine neue Theorie dann durch, wenn sie einerseits die vorhandenen Befunde „einfacher“ als die bisherige Theorie erklären kann und andererseits das Potenzial für die erfolgreiche Untersuchung vieler neuer Fragen besitzt. Eine Festlegung, was „einfach“ ist und welche potenziell zu untersuchenden Fragen wesentlich sind, ist aber ohne weiteres gar nicht klar und wird erst durch soziale Aushandlungsprozesse in der Gemeinschaft der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler festgelegt. Aus heutiger Sicht erscheint das Standardmodell der Elementarteilchenphysik als elegante Rückführung des „Teilchenzoos“ auf wenige, einfache Prinzipien (Quarkmodell der Hadronen). Historisch betrachtet war es jedoch für viele Jahre sehr umstritten. Seine „Einfachheit“ in heutigen Lehrbüchern wurde zu Zeiten der Entwicklung des Standardmodells sogar als unzulässige Simplifizierung abgelehnt. Vergleichbare Mechanismen lassen sich auch bei der Einführung der Quantentheorie nachweisen.

Exkurs: Mathematisierung, Gesetze und Theorien

Physik lässt sich auch über ihren besonderen Zugang zu ihren Untersuchungsgegenständen charakterisieren. Ein wesentlicher Anspruch ist hierbei die Prognosefähigkeit. Vorgänge werden nicht nur rückblickend erklärt, sondern es wird auch das zukünftige Verhalten eines Systems vorhergesagt. Dafür werden mathematisierte Theorien und Gesetze entwickelt, die neben grundlegenden Phänomenen den wesentlichen Bestandteil des physikalischen Wissenschaftskanons ausmachen. Mathematisierung bzw. Mathematisierbarkeit spielen für die Auswahl physikalischer Untersuchungsgegenstände daher eine zentrale Rolle. Der Physiker und Philosoph John Ziman beschrieb Physik als das Studium von Systemen, die sich auf mathematische Terme reduzieren lassen. Jung (1999, 19) knüpft daran an, wenn er Physik als „das Studium mathematischer Modelle als Modelle von realen Systemen“ kennzeichnet. Hier zeigt sich deutlich, dass ein an allgemeiner Bildung orientierter Physikunterricht nicht einfach die Wissenschaft Physik im Unterricht nachbilden kann und soll.

Ein Gesetz wird als Regelwerk verstanden, das sich empirisch bewährt hat. Es soll unter Voraussetzung klar definierter Ausgangssituationen Prognosen mit hoher Zuverlässigkeit und mit einem hohen Grad an Allgemeingültigkeit ermöglichen.

Theorien leisten darüberhinausgehend eine Erklärung von Phänomenen und

Vorgängen durch Rückführung auf übergeordnete grundlegende Prinzipien. Ludwig (1974) ordnet einer physikalischen Theorie drei Komponenten zu: einen Wirklichkeitsbereich, eine mathematische Theorie und eine Anwendungsvorschrift zwischen Wirklichkeitsbereich und mathematischer Theorie (Zuordnungsregeln). Je nach erkenntnistheoretischer Position wird die Entwicklung von Theorien als eine Annäherung an eine verborgene Wahrheit oder als ein Konsens von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aufgefasst.

Exkurs: Modelle und Modellierung

H. Hertz hat 1894 im Vorwort zu seiner „Mechanik“ die Funktion und den Charakter physikalischer Modelle – bzw. wie er sie nennt „innerer Scheinbilder“ – in einer immer noch viel zitierten Weise beschrieben: „Es ist die nächste und in gewissem Sinne wichtigste Aufgabe unserer bewussten Naturerkenntnis, dass sie uns befähige, zukünftige Erfahrungen vorauszusehen, um nach dieser Voraussicht unser gegenwärtiges Handeln einrichten zu können. (...) Das Verfahren aber, dessen wir uns zur Ableitung des Zukünftigen aus dem Vergangenen und damit zur Erlangung der erstrebten Voraussicht stets bedienen, ist dieses: Wir machen uns innere Scheinbilder oder Symbole der äußeren Gegenstände, und zwar machen wir sie von solcher Art, dass die denotwendigen Folgen der Bilder stets wieder die Bilder seien von den naturnotwendigen Folgen der abgebildeten Gegenstände.“ Hertz unterstellt

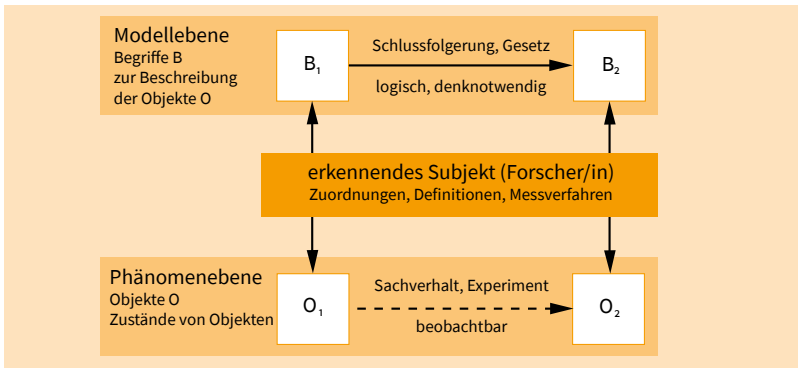


Abb. 1.1: Veranschaulichung des Hertz'schen Verständnisses von Modellen (vgl. Baumgart, Krüger, Niederderer & Schecker, 1982)

dabei eine Realität, die unabhängig vom erkennenden Subjekt existiert („äußere Gegenstände“).

Ein Modell steht also als ein von Menschen vor dem Hintergrund eigener Erfahrungen gedachter Ersatz für einen Realitätsbereich, oft als gedankliches, anschauliches Bild „vor dem geistigen Auge“. Ein physikalisches Modell umfasst eine vereinfachte oder idealisierte Vorstellung eines Objektes, Systems oder Prozesses. Die Mathematisierung wird durch die Beschreibung von physikalischen Eigenschaften durch quantitative Variablen erreicht. Im Prozess des Modellierens (Entwurf oder Modifizierung eines Modells) wird entschieden, welche Eigenschaften berücksichtigt werden und welche nicht. Ein Modell ist umso „besser“, je mehr Voraussagen damit gemacht werden können und je genauer diese im Realbereich zutreffen. Die Voraussagepotenz eines Modells ist grundsätzlich beschränkt, weil beim Modellieren immer

eine Reihe von Eigenschaften vernachlässigt wird.

Ein oft benutztes Modell ist das eines idealen Gases. Dabei stellt man sich vor, dass z. B. die Luft aus kleinen Teilchen besteht, die mit verschiedenen Geschwindigkeiten herumfliegen. Treffen die Teilchen auf Oberflächen (z. B. die Innenseite eines Autoreifens), finden elastische Stöße statt. Auf die Wand und die Teilchen werden Kräfte ausgeübt, die sich im zeitlichen Mittel und bezogen auf eine Fläche als Druck zeigt. Vernachlässigt werden anziehende und abstoßende Kräfte zwischen den Teilchen (bis auf abstoßende elastische Kräfte beim direkten Zusammenprall zweier Teilchen) und das Eigenvolumen der Teilchen. Aus diesen Annahmen können Gasgesetze hergeleitet werden, die bei ausreichend hohen Temperaturen und nicht zu hohen Drücken recht genau das Verhalten eines Gases beschreiben. Die Möglichkeit eines Phasenübergangs von

gasförmig zu flüssig kann mit diesem Modell nicht vorausgesagt werden. Dazu muss das Modell durch das Einbeziehen von anziehenden Kräften ergänzt bzw. verfeinert werden.

Theorie und Experiment

Physikalische Forschung wird allgemein experimenteller oder theoretischer Physik zugeordnet, eine Unterscheidung, die sich Ende des 19. Jahrhunderts etabliert hat. Gelegentlich wird auch noch angewandte Forschung als dritter Bereich benannt. Theoretische Forschung ist mittlerweile eng verknüpft mit Computersimulationen, denen i. d. R. numerische Modelle zu Grunde liegen. In Simulationsläufen kann man solche Modelle in gewisser Weise „experimentell“ prüfen: Führen die Modelle bei Variation der Ausgangsparameter zu plausiblen Ergebnissen? Theoriefrei sind weder Experimente noch Simulationen. Theoretische Erwartungen bestimmen nicht nur experimentelle Fragestellungen und apparative Entwürfe. Sie leiten auch die Datenanalyse und -interpretation an. Man spricht davon, dass Experimente und Beobachtungen „theoriegeladen“ sind.

Umgekehrt erfolgt die Theorieentwicklung nicht unabhängig von Experimenten. Theorien werden zwar nicht aus Experimenten abgeleitet, aber experimentelle Ergebnisse liefern Hinweise für die Formulierung einer Theorie und die Theorie muss sich an experimentellen Ergebnissen messen lassen. Im Regelfall entsteht das Neue in der Physik in einem Wechselspiel von Theorie und Experiment (Höt-

tecke & Rieß, 2015): Theorien verändern die Sicht der Phänomene und Phänomene verändern die Elemente von Theorien.

Die Ergebnisse experimenteller Forschung sind immer interpretationsbedürftig. Insofern kann die Natur im Experiment weder „befragt“ werden, noch „spricht“ sie von selbst zu den Forschenden. Experimentieren bedeutet aktives Eingreifen und Gestalten von Natur und Technik unter kontrollierbaren Rahmenbedingungen. Weder eine Theorie noch ein Gesetz können durch ein einziges, isoliertes Experiment bestätigt oder widerlegt werden. Wenn der Ausgang eines Experiments einer geltenden Theorie widerspricht, kann man ad hoc Annahmen machen, die den Einklang wiederherstellen. Oder man stellt das Experiment selbst, die Eignung der Instrumente, der Messverfahren oder auch die Expertise der Experimentierenden in Frage. Das experimentum crucis – also das Entscheidungsexperiment, das eine Theorie widerlegt oder zwischen konkurrierenden Theorien entscheidet – gibt es im Prozess der Forschung nicht. Es handelt sich vielmehr um eine in der Rückschau konstruierte Bedeutung eines Experiments. Diese verschleiert die Mechanismen, die zur Veränderung einer etablierten Theorie oder eines etablierten Gesetzes geführt haben, indem kontroverse Diskussionen und widersprüchliche Befunde ausgeblendet werden. So führte z. B. das Ergebnis des Michelson-Morley-Experiments keineswegs sofort zur Ablösung der Theorie des elektromagnetischen Äthers, sondern zunächst u. a. zur Einführung der Lorentz-Kontraktion, die dann in die Relativitätstheorie übernommen wurde.

Fazit: Nature of Science im Physikunterricht

Die bisher diskutierten Aspekte werden unter dem Begriff Nature of Science (NOS) zusammengefasst. Die folgenden Aussagen über die Natur der Naturwissenschaften gelten in der internationalen Diskussion als besonders einschlägig (vgl. McComas, 2020):

- Obwohl physikalisches Wissen oft robust ist und überdauert, hat es einen vorläufigen Charakter.
- Die Entwicklung physikalischen Wissens nimmt stark, aber nicht vollständig Bezug auf Beobachtungen, empirische Evidenz, rationale Argumente und kritische Reflexion.
- Es gibt keinen exklusiv ausgewiesenen Weg, Physik zu betreiben (und deshalb keinen universellen methodischen Algorithmus der physikalischen Erkenntnisgewinnung).
- Funktion und Status von „Gesetz“ und „Theorie“ sind in der Physik grundsätzlich verschieden.
- Physikalische Ergebnisse werden durch Mitglieder der wissenschaftlichen Gemeinschaft begutachtet und überprüft (Replizierbarkeit). Forschung kann sich dabei selbst korrigieren, was ein starkes Argument für Vertrauen in Wissenschaft darstellt (Oreskes, 2019).
- Beobachtungen und Theorien sind wechselseitig voneinander abhängig.
- In der historischen Entwicklung der Physik gibt es evolutionäre Phasen (Ausschärfung, Anreicherung) und revolutionäre Phasen (grundlegend neue Ansätze; vgl. Kuhn, 1976).
- Physik ist Teil der sozialen und kultu-

rellen Traditionen einer Gesellschaft, sie ist kreativ, aber auch begrenzt.

- Physikalische Ideen sind von sozialen und historischen Kontexten beeinflusst. So waren z. B. die theoretischen Arbeiten zum zweiten Hauptsatz der Thermodynamik eng mit der technischen Optimierung von Dampfmaschinen in der ersten industriellen Revolution verbunden (Pukies, 1979).

Diese Liste kann nicht nur als Charakterisierung von Physik aufgefasst werden, sondern auch als Zielkatalog für den Unterricht (Lernen über Physik). An didaktischen Entwürfen zur Erreichung dieser Ziele wird allerdings weiterhin gearbeitet. Weitgehende Übereinstimmung herrscht darüber, dass die Entwicklung von Vorstellungen über NOS der expliziten Reflexion im Unterricht bedarf. Z. B. wird Wissen über die „Natur des Experimentierens“ beim Experimentieren im Unterricht nicht einfach mitgelernt. Vielmehr bedarf es expliziter Unterrichtsphasen, um die eigene Experimentiertätigkeit zu reflektieren und mit ihren Vorstellungen über das Vorgehen von Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftlern zu vergleichen. Explizite Reflexion kann an folgenden Fragen erfolgen, die metakognitives Denken fördern: Warum wissen wir ...? Wie können wir uns sicher sein, dass ...? In welchem Verhältnis stehen Daten und Theorie? Warum interpretieren wir die Daten so und nicht so? Was motiviert die Forscher dazu, dieses zu erforschen? Solche Frage stellen Gesprächsanlässe dar, um an konkreten Fällen entwickelte Einsichten im Hinblick auf Einsichten über Naturwissenschaften zu abstrahieren und zu generalisieren.

Unterrichtskonzepte zum Lernen über die Natur der Naturwissenschaften (s. a. Höttecke und Schecker, 2021):

- Forschender Unterricht zeichnet sich durch offene, komplexe Problemstellungen aus, an deren Lösung die Lernenden „wie Forschende“ arbeiten. „Forschertagebücher“ können dabei als Reflexionsanlässe auf NOS dienen.
- Mit historischen Fallstudien wird gezeigt, dass und wie sich Wissenschaft entwickelt und warum Forschende Wissen für gültig halten. Sozio-kulturelle und ökonomische Einflüsse werden an Beispielen thematisiert. Nachbauten historischer Instrumente schaffen Lerngelegenheiten, die an die originalen Forschungssituationen eng angelehnt sind.
- Wissenschaftstheoretischer Unterricht dient dazu, die eigenen Arbeitsweisen kritisch zu reflektieren. Diskussionen begrenzter wissenschaftstheoretischer Literatur regen dazu an, die eigenen Erfahrungen zu reflektieren und zu abstrahieren.
- Gestaltwechselspiele und Sinnestäu-

schungen geben Anlass dazu, die Bedingungen und Grenzen der eigenen Beobachtungen zu thematisieren. Explizite Reflexion generalisiert auf die Frage nach der Natur der Beobachtung in der Physik.

- Black-Box-Experimente stellen Analogien zu Forschungsprozessen dar. Beispiele sind Kästen mit verborgenen Spiegeln oder Prismen, die nur eine Lichteintritts- und austrittsöffnung erkennen lassen. Die Lernenden experimentieren und sammeln Evidenz für oder gegen Vermutungen über das Innenleben einer Black-Box.
- Story-Telling (Heering & Ellrodt, 2020) schafft einen Zugang zur historischen Entwicklung der Physik und macht wissenschaftliche Konflikte und Emotionen von Forschenden erfahrbar. Die Forschenden werden als Menschen mit Zielen und Erfolgen, aber auch Frustrationen und Rückschlägen wahrnehmbar und Physik erscheint als von Menschen gemacht. Die Geschichten regen Reflexionen über Nature of Science an.

Literaturhinweise zur Vertiefung

Chalmers, A. F. (2001). *Wege der Wissenschaft. Einführung in die Wissenschaftstheorie*. Springer. *Wesentliche wissenschaftstheoretische Positionen werden in ihren Grundlagen dargestellt.*

Höttecke, D. (2017a). Was ist Naturwissenschaft? In U. Gebhard, D. Höttecke & M. Rehm (Hrsg.), *Pädagogik der Naturwissenschaften* (S. 7–31). Springer VS. *Klärungsversuch aus philosophischer, historischer und wissenschaftssoziologischer Perspektive*

Höttecke, D. & Schecker, H. (2021). Unterrichtskonzeptionen für Nature of Science. In T. Wil-

helm, H. Schecker & M. Hopf (Hrsg.), *Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht*. Springer-Spektrum. *Es wird in das Thema Nature of Science aus einer didaktischen Perspektive und mit Schwerpunkt auf methodische Zugänge eingeführt.*

McComas, W.F. (Hrsg.). (2020). *Nature of Science in Science Instruction. Rationales and Strategies*. Springer. *Eine umfassende theoretische Diskussion der Bedeutung des Bereichs Nature of Science für den Unterricht. Darin: McComas, W.F. (2020). Principal Elements of Nature of Science: Informing Science Teaching while Dispelling the Myths. S. 35–65.*

2. Bildungsziele

Wie im ersten Kapitel dieses Buches ausgeführt, wird Physik mittlerweile mehr als eine kulturelle Tätigkeit und weniger als ein Kanon erarbeiteten Wissens beschrieben. Dies erfordert auch für den Physikunterricht einen Perspektivenwechsel. Es ist nicht mehr seine alleinige Aufgabe, physikalisches Fachwissen zu vermitteln; die Lernenden sollen ebenso ein Verständnis davon entwickeln, wie in der Physik Erkenntnisse gewonnen werden und was die zentralen Elemente physikalischen Denkens und Forschens sind. International wird das mit dem Begriff *Scientific Literacy* bezeichnet. Darunter versteht man ein Gefüge aus Kompetenzen, die es Individuen ermöglichen, an einer wissenschafts- und technikbestimmten Welt aktiv teilhaben und sie gestalten zu können. Die Vermittlung einer *Scientific Literacy* erfüllt den allgemeinbildenden Anspruch schulischen Unterrichts und geht deutlich über einen Begründungszusammenhang für Physikunterricht hinaus, der sich an der Vermittlung ausbildungs- oder berufsrelevanter Qualifikationen orientiert.

Grundbildung und vertiefte Bildung

Ein wesentlicher Aspekt physikalischer Bildung drückt sich in der Fähigkeit aus, physikalische Sachkompetenz für die Bewertung und das Treffen von persönlichen und gesellschaftlichen Entscheidungen zu nutzen (vgl. MNU, 2001). Muckenfuß (1995) spricht vom Orientierungswissen zur Klärung des Verhältnisses von Mensch und Natur. Zeitgemäßer Physikunterricht muss daher zugleich ein Unterricht von und über Physik sein. Die Lernenden sollen ihr Verständnis physikalischer Konzepte

und Herangehensweisen zur besseren Bewältigung konkreter Anforderungssituationen im Alltag heranziehen (z. B. zur Einschätzung von Sicherheitsmaßnahmen wie dem Tragen eines Fahrradhelms) und in Diskussionen über gesellschaftlich anstehende Entscheidungen einbringen können (z. B. über angemessene Formen der zukünftigen Bereitstellung von Energie). Die damit verbundenen Kompetenzen sollen als Grundbildung bis zum Ende des obligatorischen Physikunterrichts, d. h. dem Abschluss der Sekundarstufe 1, erworben werden.

In der gymnasialen Oberstufe soll (neben Wissenschaftspropädeutik und Studierfähigkeit) vertiefte allgemeine Bildung im Vordergrund stehen. Für den Physikunterricht bedeutet das gegenüber der naturwissenschaftlichen Grundbildung:

- qualitative Erhöhung des Reflexionsgrades durch vertiefte methodische Fähigkeiten und ein in ausgewählten Bereichen breiteres und tieferes fachliches Wissen;
- fachliche Spezialisierung mit Klarheit über die Besonderheiten der physikalischen Weltansicht.

Vertiefte allgemeine Bildung durch fachliche Spezialisierung ist kein Widerspruch in sich, wenn fachliches Lernen eng mit dem Lernen *über* das Fach verbunden wird. Als Orientierungsrahmen für eine vertiefte physikalische Bildung im Rahmen der fachlichen Spezialisierung im Physikunterricht der Oberstufe nennen Schecker, Fischer und Wiesner (2004, 163 ff.) vier Bereiche:

- Physik als *Grundlage des modernen naturwissenschaftlichen Weltbilds* (dazu zählen Konzepte wie Zeit, Raum, Teil-