

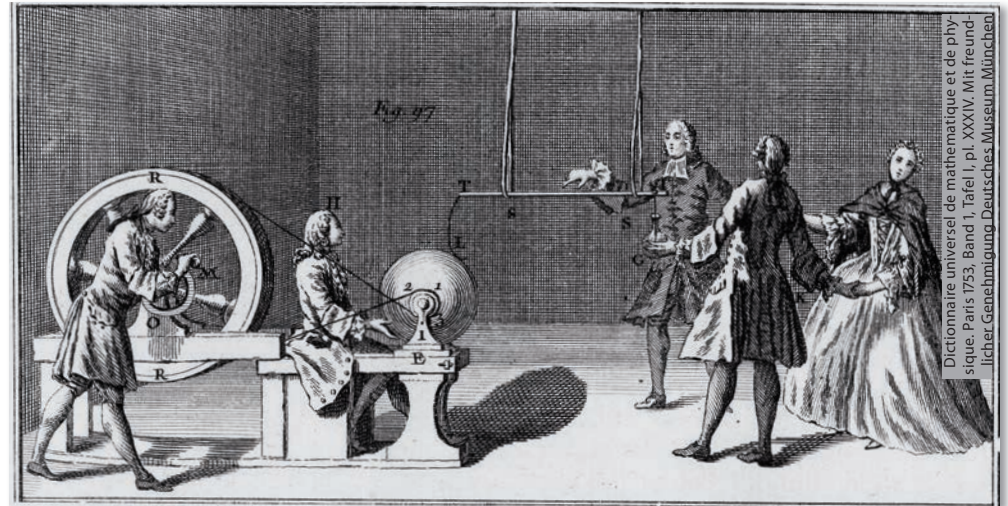
# Vom Staub der Zeit befreit

Die Geschichte der Physik bietet neue Zugänge, um Fachwissen und Kompetenzen zu entwickeln.

Peter Heering

Im Physikunterricht hat die Geschichte der Physik lange nur eine geringe Rolle gespielt. Bedingt durch veränderte schulische Bildungsziele haben historisch orientierte Unterrichtsansätze im deutschen Sprachraum an Bedeutung gewonnen – eine Entwicklung, die vergleichbar auch in Nordamerika und anderen westeuropäischen Ländern stattfindet. Zwei konkrete Ansätze sollen zeigen, welches Potenzial die Geschichte der Physik für die Schule bietet.

Die Geschichte der Physik wurde schon seit langer Zeit im Hinblick auf naturwissenschaftliche Bildungsprozesse dargestellt. Klassische Arbeiten wie die von Einstein und Infeld verfasste Monographie [1] oder die durch J. B. Conant herausgegebenen Fallstudien [2] entstanden aus dem Interesse heraus, zu einer naturwissenschaftlichen Bildung beizutragen. Dabei bezogen sie sich auf einen Unterricht, der im Wesentlichen auf die Vermittlung von Fachwissen abzielte. Der in den letzten zehn Jahren etablierte kompetenzorientierte Physikunterricht stellt aber Anforderungen, die sich durch die Ergänzung der bestehenden Ansätze mittels historisch angelegter Unterrichtssequenzen oder -stunden gut erfüllen lassen. Die aktuellen Bildungsstandards für den Physikunterricht fordern einerseits, dass der Unterricht Fachwissen vermitteln soll. Andererseits gilt es, prozedurale Kompetenzen zu fördern – diese unterteilen sich in die Bereiche Bewertung, Erkenntnisgewinn und Kommunikation. Eine separate Entwicklung dieser Kompetenzen ist nicht ratsam, sondern eine eng miteinander verknüpfte Förderung. Die Geschichte der Physik ermöglicht es, fachwissenschaftliche und prozedurale Kompetenzen gemein-



sam zu entwickeln. Hierfür existieren verschiedene Ansätze – speziell im deutschen Sprachraum hat sich das Nachvollziehen historischer Experimente etabliert [3, 4]. Obwohl dieser Ansatz aus dem klassischen lernzielorientierten Physikunterricht stammt, eignet er sich auch für den kompetenzorientierten Fall.

## Historisches nachvollziehen

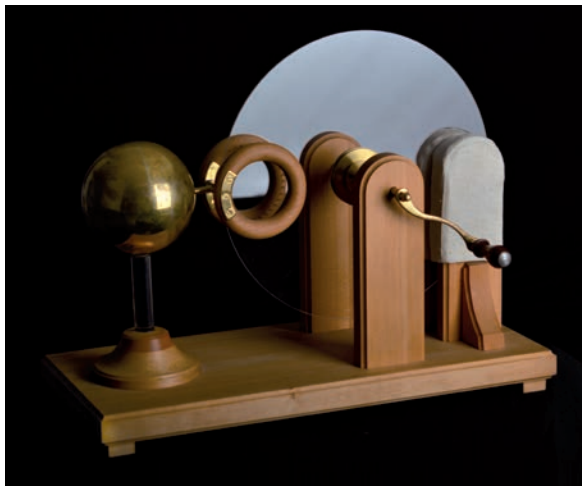
Experimente bilden einen zentralen methodischen Zugang in der physikalischen Erkenntnisproduktion und der Etablierung physikalischen Wissens, zumindest bis in das 20. Jahrhundert hinein. Eine Möglichkeit, dieses Wissen und dessen Produktion im Unterricht zu thematisieren, besteht im analytischen Nachvollziehen dieser Experimente. Hierbei ist zu unterscheiden zwischen Rekonstruktionen historischer Experimente, die quellengetreu oder funktional sein können, und didaktischen Versionen. Letztere sind Versuchsaufbauten, wie sie Lehrmittelfirmen für das Millikansche Öltröpfchenexperiment oder den Franck-Hertz-Versuch anbieten. Diese Apparaturen zeich-

nen sich dadurch aus, dass sie sehr verlässliche Messwerte liefern. Dazu ist aber ihre Bedienung sehr eng vorgegeben, ein forschender, prozesshafter Zugang kaum möglich. Diese Geräte eignen sich daher kaum für den im Folgenden diskutierten Ansatz.

Ein erstes konkretes Beispiel für den Nachvollzug eines historischen Experiments verwendet die Leidener Flasche, den ersten elektrischen Kondensator. Das Gerät besteht ursprünglich aus einer mit Wasser gefüllten Flasche, in der ein Draht steckt. Die Flasche wird zunächst an einer Reibungselektroskopmaschine geladen. Wenn dann die Person, welche die Flasche in der Hand hält, mit einem Finger der anderen Hand den Draht berührt, erhält sie einen elektrischen Schlag. Anhand entsprechender Publikationen aus dem 18. Jahrhundert können Schülerinnen und Schüler diesen Versuch leicht nachvollziehen, zumindest auf apparativer und praktischer Ebene. Spannend ist aus didaktischer Sicht das konzeptionelle Verständnis des Geräts. Zum einen muss bei der Entladung einer Leidener Flasche ein Kreis geschlossen werden. Wenn dies

In historischen Experimenten bildeten Personen einen Kreis, um die Leidener Flasche zu entladen.

Prof. Dr. Peter Heering, Europa-Universität Flensburg, Auf dem Campus 1, 24943 Flensburg



Der Nachbau einer Reibungselektroisiermaschine ermöglicht es Schülerinnen und Schülern, eine Leidener Flasche wie in den historischen Experimenten zu laden.

durch Menschen geschieht, ist eine physiologische Wirkung spürbar. An derartigen Experimenten entwickelte sich historisch das Konzept des elektrischen Stromkreises (Abb., S. 49). Wenn dieser Versuch mit Personen durchgeführt wird und dabei einige nicht im Kreis sind, sondern nur mit einer Hand Kontakt herstellen, spüren sie nichts. Die Entladungen gilt es, vorsichtig zu dosieren: Eine Reibungselektroisiermaschine oder ein Elektrophor ergeben bereits spürbare Funken, wenn eine kleine Leidener Flasche mit 100 ml Volumen geladen wird.

Dieser Versuch kann genau wie in der historischen Situation zur Entwicklung des Konzepts vom Stromkreis beitragen. Daneben „verstärkt“ die Leidener Flasche die physiologische Wirkung im Vergleich zur Elektroisiermaschine. Diese Verstärkung zu verstehen, stellte historisch ein Problem dar und fordert auch heute Schülerinnen und Schüler heraus. Zum Verständnis gilt es, Experimente zu konzipieren und durchzuführen. Neben der fachlichen Kompetenz entwickelt sich so die Kompetenz zum Erkenntnisgewinn weiter. Anhand dieser historischen Fallstudie lässt sich auch diskutieren, wie wichtig eine adressatengerechte Kommunikation in der Physik ist: Ewald Jürgen Kleist, dem ersten Entdecker der Verstärkungsflasche, gelang es nicht, seine Experimente verschiedenen Akademien so mitzuteilen, dass deren Mitglieder das Ergebnis reproduzieren konnten. Erst die Zusammenarbeit des Lei-

der Physikprofessors Pieter van Musschenbroek und des Juristen Andreas Cunaeus, die kurze Zeit später die gleiche Entdeckung der Pariser Akademie der Wissenschaften mitteilten, etablierte das Gerät und die damit verbundenen Effekte der Elektrizitätsspeicherung und -verstärkung in der wissenschaftlichen Welt.

## Quantitativ und präzise messen

Sowohl zeitlich als auch fachlich eng verbunden mit der Leidener Flasche ist die Coulombsche Drehwaage. Coulomb demonstrierte mit diesem Gerät die bereits in Analogie zum Gravitationsgesetz vermutete Gesetzmäßigkeit, dass sich die elektrostatische Abstoßung umgekehrt zum Quadrat der Entfernung verhält. Der Umgang mit einem quellengetreuen Nachbau dieses Instruments verdeutlicht, wie empfindlich und störanfällig es ist, weil zur Auslenkung um  $5^\circ$  nur eine Kraft von etwa 20 nN nötig ist. Insofern erfordert eine Messung mit diesem Gerät viel Experimentiergeschick. Das hilft Schülerinnen und Schülern, Anforderungen an Präzisionsmessungen zu verstehen.

Bei Coulombs Experiment handelt es sich um eine quantitative Präzisionsmessung, die auf die Quantifizierung der Elektrizitätslehre abzielt – insofern geht es hier

um ein anderes Experimentieren als bei der Leidener Flasche. Bemerkenswert ist zudem die Funktion des Experiments für Coulomb, steht es doch am Anfang einer längeren Reihe von Untersuchungen, die darauf abzielen, den Schutz eines Pulvermagazins durch Blitzableiter mathematisch zu beschreiben [5]. Aus dieser Kontextualisierung heraus lernen Schülerinnen und Schüler, dass Messungen nicht immer zum Ziel haben, ein mathematisches Gesetz zu etablieren, sondern auch dazu dienen können, die Verlässlichkeit eines Instruments oder einer Messmethode zu zeigen. Für die Auseinandersetzung mit historischen Praxen sind nicht zwingend komplexe Geräte nötig. Ein Beispiel ist die Camera obscura mit Linse – entsprechende Geräte können Schülerinnen und Schüler selbst bauen [6]. Für den erfolgreichen Bau ist es notwendig, die physikalischen Grundlagen zu verstehen. Zudem verwenden die Lernenden für das anschließende Experimentieren ein eigenes Gerät – ein solches hat naturgemäß einen höheren Stellenwert als eines aus der Sammlung (Abb., S. 52).

## Historische Quellen nutzen

Ein weiterer Zugang verwendet historische Publikationen oder Quellen. Selbstverständlich lassen



Ein Doppelelektrophor nach Georg Christoph Lichtenberg erlaubt es, größere Entladungen zu erzeugen. Diese gilt es, im Schulunterricht vorsichtig zu dosieren.

sich Originalpublikationen verwenden, um Versuche zu motivieren – so besteht beispielsweise bei der Arbeit von Oersted zur elektromagnetischen Wechselwirkung ein wesentlicher Aspekt darin, wie die Magnetnadel zum stromdurchflossenen Leiter orientiert ist und welche Ausrichtung der Nadel sich aus der Wechselwirkung ergibt. Oersted verfasste seine Abhandlung in lateinischer Sprache; sein Problem war, verschiedene Orientierungen eindeutig zu formulieren: die Ausrichtung des Drahts im Erdmagnetfeld und die Richtung des Stroms sowie die Orientierung, Ausrichtung und Ablenkung der Magnetnadel. Konzeptionell kam vermutlich hinzu, dass die meisten Elektrizitätsforscher eine Ablenkung der Magnetnadel zu den Polen hin erwarteten. Folglich war es aus deren Sicht sinnvoll, die Nadel senkrecht zum Draht zu positionieren [7]. Genau dann bleibt aber die magnetische Wirkung des Stroms auf die Nadel aus. Die Probleme, räumliche Orientierungen zu verbalisieren, können Schülerinnen und Schüler an einer Übersetzung von Oersteds Text nachvollziehen.

Daneben ist es möglich, Messwerte aus Originalveröffentlichungen zu analysieren und Kriterien zu hinterfragen. So lassen sich anhand der vierzig veröffentlichten Messungen aus Joules Publikation zu mechanischen Wärmeäquivalenten Messunsicherheiten diskutieren. Gleichzeitig zeigt Joules Terminologie, dass unser heutiges Energiekonzept erst in der Folge seiner Arbeiten entstand [8]. In diesem Zusammenhang bietet sich ein Video der Rekonstruktion des Experiments an.<sup>1)</sup> Schulische Mittel erlauben es allenfalls, das Experiment prinzipiell zu rekonstruieren – der technische Aufwand ist zu groß, und die Thermometer sind nicht empfindlich genug.

## Originaldaten diskutieren

Ebenso können Schülerinnen und Schüler die von Millikan zur Bestimmung der elektrischen Elementarladung veröffentlichten Daten



Der Nachbau einer Coulombschen Drehwaage ist wie das Original sehr empfindlich und störanfällig: Das Experimentieren erfordert viel Geschick.

untersuchen [6]. Dabei lernen sie, dass die Rohdaten einer Interpretation bedürfen, um zu einer physikalischen Gesetzmäßigkeit zu kommen. Außerdem erlauben es diese Daten, ihre Erzeugung zu diskutieren und mit diesem Wissen die Versuche der Lehrmittelfirmen zu kontextualisieren. Hier kann deutlich werden, wo es Abstriche bei Empfindlichkeit oder Genauigkeit bei diesen Materialisierungen historischer Experimente gibt. Millikans Experimente regen an, die historisch von Ehrenhaft geäußerte Kritik zu diskutieren, dass es sehr wohl kleinere Ladungen als die von Millikan bestimmte Elementarladung gibt – vor allem, da Millikans Laborbücher weitere, unveröffentlichte Werte enthalten, die im Widerspruch zu seinem Ergebnis stehen [9]. Derartige historische Kontextualisierungen können die Perspektive verschieben – es geht nicht mehr nur darum, entsprechende Werte zu produzieren, sondern die Messung als solche zu hinterfragen. Daraus ergibt sich eine offenere Fragesituation.

Völlig anders lassen sich die Vorträge einsetzen, in denen Nobel-

preisträger bei der Preisverleihung ihre Arbeiten beschreiben. Viele dieser historischen Vorträge eignen sich sprachlich und in Bezug auf den physikalischen Inhalt gut für den Unterricht der Sekundarstufe II [10].<sup>2)</sup> Weiterhin können Schülerinnen und Schüler Auszüge aus unveröffentlichten Texten wie Laborbüchern oder Briefen verwenden – dies hat etwa Korff am Beispiel der Zusammenarbeit von Geiger und Müller vorgestellt [11]. Beide waren Ende der 1920er-Jahre an der CAU Kiel tätig und entwickelten dort das nach ihnen benannte Zählrohr. Müller war gerade promoviert, während Geiger Professor an der Universität war. Müller beklagte sich mehrfach in Briefen an seine Eltern über die nicht ausreichende Würdigung seiner Arbeit. Gleichzeitig zeigen die Briefe, dass in und durch Geigers Labor die Informationen über die Herstellung des Zählrohrs und den Umgang gezielt verteilt wurden. An derartigen Fallstudien lässt sich nicht nur physikalisches Wissen entwickeln, sondern auch Wissen über die sozialen Aspekte innerhalb der Disziplin. Dies wirkt bestehenden Klischees entgegen, wie sie etwa Kessels und Mitautorinnen als Problem für das Interesse von Schülerinnen und Schülern festgestellt haben [12].

## Geschichten erzählen

Im nordamerikanischen Raum ist der Aspekt der „Humanisierung“ des Bildes von Physikerinnen und Physikern als zentraler Anspruch zur Implementierung historischer Inhalte verbreitet – methodisch erfolgt dies insbesondere durch Storytelling. Hierbei wird die historische Episode in eine Geschichte eingebettet, die sich durch einen Spannungsbogen und Emotionen bei den handelnden Personen auszeichnet. Insofern gibt es durchaus fiktive Elemente. Dieser Ansatz lässt sich beispielsweise an der Arbeit von Lise Meitner und Robert Frisch zu Otto Hahns Experimenten erläutern: Sicherlich ist bekannt, dass Lise Meitner 1938 aus

1) [www.youtube.com/watch?v=MBrTDKc9YZ0](https://www.youtube.com/watch?v=MBrTDKc9YZ0)

2) [www.nobelprize.org](http://www.nobelprize.org)

Deutschland flüchten musste und zunächst nach Stockholm ging. In Schweden traf sie sich mit ihrem Neffen Robert Frisch. Gemeinsam interpretierten sie erfolgreich die Experimente zur Kernspaltung, von denen Hahn geschrieben hatte. Im



Schülerinnen und Schüler experimentieren mit einer selbst gebauten Camera Obscura und testen dabei, ob sie die physikalischen Grundlagen korrekt in dem Gerät realisiert haben.

Rahmen des StoryTelling-Ansatzes braucht es zunächst einmal eine Geschichte – diese finden Lehrkräfte auf der Projektwebseite.<sup>3)</sup>

Vor dem Erzählen ist es wichtig, dass die Lehrkraft die Geschichte adaptiert, also eine eigene Akzentuierung und Perspektive erarbeitet. Dann hat das Erzählen einige Vorteile gegenüber dem (Vor-)Lesen der Geschichte: Die Lehrkraft kann unmittelbar auf die Reaktionen der Zuhörenden eingehen und die Geschichte an die unterrichtlichen Zielsetzungen anpassen. Hierbei finden Akzentuierungen statt, die Lehrkraft nimmt eine fremde Perspektive an. Für Meitner war die Situation in Stockholm frustrierend, und die Möglichkeit, sich weiter mit physikalischen Fragestellungen auseinanderzusetzen, war ihr wichtig. Gleichzeitig kann der Schwerpunkt der Story auf der Modifikation des Kernmodells liegen oder auf der energetischen Betrachtung.

Ein derartiger methodischer Ansatz erzeugt ein Identifikationspotenzial mit den zentralen Figuren: Die Lernenden nehmen die Forschenden als Menschen mit Emotionen und Zweifeln wahr. So können Fragen entstehen, die zu einer forschenden Aktivität bei den Lernenden führen. Eventuell ist es erforderlich, die Geschichte gezielt zu unterbrechen (sog. interrupted

StoryTelling). Dann können die Lernenden überlegen, wie das jeweilige Problem durch die zentrale Figur zu lösen ist, ehe die Lehrkraft weitererzählt. Die Story dient dann nicht nur der Einführung und Motivation, sondern strukturiert den Unterricht.

Verwandte Zugänge bietet der Einsatz von Filmen wie etwa „Hidden Figures“, der die Rolle dreier afroamerikanischer Mathematikerinnen im US-Raumfahrtprogramm Anfang der 1960er-Jahre thematisiert. Auch Theaterstücke bringen historische Bezüge in den Unterricht ein – denkbar sind hier moderne Stücke wie Djerassis „Oxygen“ oder Frayns „Copenhagen“ sowie Klassiker wie Brechts „Leben des Galilei“. Schließlich gibt es fachdidaktische Ansätze, Theaterstücke aus didaktischen Aspekten zu entwerfen [13].

## Wirksamkeit testen

Die Geschichte der Physik bietet eine Reihe von Möglichkeiten, den Schulunterricht zu bereichern. Mittlerweile gibt es dazu umfangreiches Material und Erfahrungsberichte [14 – 16]. Als Desiderat muss aber noch gelten, dass es bisher kaum empirische Studien gibt, welche die Wirksamkeit dieses Ansatzes systematisch untersuchen. Dennoch beschäftigen sich Arbeiten mit dieser Frage. Eine Studie zum StoryTelling zeigte im Hinblick auf das fachliche Wissen bessere Ergebnisse als in einer klassisch unterrichteten Vergleichsgruppe – hier wurde die Kontroverse zwischen Edison und Tesla verwendet [17]. Aktuell hat Henke gezeigt, dass ein historischer Ansatz vergleichbare Ergebnisse erzielt wie ein forschungsorientierter [18]. Trotz dieser einzelnen Befunde ist zu konstatieren, dass bezüglich der empirischen Analyse der Wirksamkeit historischer Ansätze im Physikunterricht noch Forschungsbedarf besteht.

## Literatur

- [1] A. Einstein und L. Infeld, Die Evolution der Physik (1956)

- [2] J. B. Conant, Harvard Case Histories in Experimental Science, Cambridge, MA, Harvard University Press (1957)
- [3] P. Heering, Science & Technology Education **10**, 229 (2014)
- [4] P. Heering und D. Höttecke, Historical-Investigative Approaches in Science Teaching, In: M. R. Matthews (Hrsg.), International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching, Dordrecht, Springer (2014), S. 1473
- [5] P. Heering, Das Grundgesetz der Elektrostatik: Experimentelle Replikation und wissenschaftshistorische Analyse, Wiesbaden, DUV (1998)
- [6] P. Heering, M. Markert und H. Weber (Hrsgg.), Experimentelle Wissenschaftsgeschichte didaktisch nutzbar machen: Ideen, Überlegungen und Fallstudien, Flensburg, Flensburg University Press (2012)
- [7] F. Steinle, Explorative Experimente: Ampère, Faraday und die Ursprünge der Elektrodynamik, Stuttgart, Steiner (2005)
- [8] P. Heering, MNU **66**, 132 (2013)
- [9] G. Holton, Historical studies in the physical sciences **9**, 161 (1978)
- [10] A. Stinner, Teaching Modern Physics, Using Selected Nobel Lectures, In: P. V. Kokkotas, K. S. Malamitsa und A. A. Rizaki (Hrsgg.), Adapting Historical Knowledge Production to the Classroom, Rotterdam, SensePublishers (2010), S. 153
- [11] S. Korff, Wie das Knacken in den Geigerzähler kam, Wissenschaftshistorische Analyse und fachdidaktische Aspekte des Geiger-Müller Zählrohrs, Flensburg, Flensburg University Press (2014)
- [12] U. Kessels, B. Hannover, M. Rau und S. Schirner, Physik Journal, November 2002, S. 65
- [13] A. Stinner, und J. Teichmann, Science & Education **12**, 213 (2003)
- [14] P. Heering, Science and Education **9**, 363 (2000)
- [15] D. Höttecke, A. Henke und F. Riess, Science & Education **21**, 1233 (2012)
- [16] M. Barth, Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule **59**, 23 (2010)
- [17] Y. Hadzigeorgiou, S. Klassen und C. Froese Klassen, Science & Education **21**, 1111 (2012)
- [18] A. Henke, Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften **22**, 123 (2016)

## DER AUTOR

**Peter Heering** (FV Geschichte der Physik, FV Didaktik der Physik) studierte und promovierte an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg. Seit 2009 ist er Professor für Physik und ihre Didaktik an der Europa-Universität Flensburg.



3) [www.uni-flensburg.de/storytelling](http://www.uni-flensburg.de/storytelling)