

## Phänomenologie

### Physik erleben und verstehen

von / by Prof. Dr. Johannes Grebe-Ellis,  
Physik und ihre Didaktik / *Physics Education*



Will Schüler\*innen für den Physikunterricht begeistern: Prof. Dr. Johannes Grebe-Ellis mit einem neuen Experiment zur simultanen Erzeugung komplementärer Spektren.

Um eine Diskussion über die Zukunft des Physikunterrichts an deutschen Schulen anzustoßen, hat die Deutsche Physikalische Gesellschaft 2016 eine Studie zum Physikunterricht in Deutschland veröffentlicht. Im Vorwort bedauern die Autor\*innen, dass die Physik zu den unbeliebtesten Schulfächern gehört. Sie verknüpfen diesen Befund mit dem von der deutschen Wirtschaft beklagten Mangel an naturwissenschaftlichem Nachwuchs und fragen: Woran liegt es, dass die Physik als so schwierig, abstrakt und lebensfremd erlebt wird?

Ein Blick in die fachdidaktische Forschungsliteratur zeigt, dass weder der Befund noch die Frage nach seinen Ursachen neu ist. Dass Jugendliche der Physik eine hohe gesellschaftliche Relevanz zuschreiben, während ihr Interesse daran mit zunehmender Dauer des Physikunterrichts ins Bodenlose fällt, ist bereits seit den 1980er-Jahren aus den großen Interessenstudien des Leibniz-Instituts für die Pädagogik der Naturwissenschaften

(IPN) in Kiel bekannt: Der Physikunterricht ist am interessantesten, wenn er beginnt. Bei den Mädchen wird er in der Regel zum unbeliebtesten Fach überhaupt. „Was hat das mit mir zu tun?“ ist die Formel, auf welche die subjektiv erlebte Distanz zur Physik gebracht wird. Aber gibt es nicht in jeder Klasse die kleinen Einsteins, die in der Physik abheben und das Fach später oft auch studieren? In der Tat zeigen die Studien, dass der Physikunterricht die Schülerschaft in viele Eingeschüchterte und wenige Expert\*innen spaltet. Solche elitestiftenden und antidemokratischen Sozialisationswirkungen stehen aber in scharfem Gegensatz zu den Bildungszielen. Diese machen die erfahrungsgestützte Urteilsfähigkeit des Einzelnen und eine erfolgreiche naturwissenschaftliche Grundbildung zur Bedingung kompetenter und verantwortungsvoller Teilhabe an demokratisch organisierten gesellschaftlichen Gestaltungsprozessen (Scientific Literacy, OECD 2006).

To start off a discussion on the future of physics teaching in German schools, in 2016 the German Physical Society published a comprehensive study of physics teaching in Germany. In the preface, the authors regret the fact that physics is among the least liked subjects at school. They link this finding to the shortage of new talent in science often bemoaned by German businesses and ask: Why is it that physics is perceived as so difficult, abstract and divorced from reality?

A review of the research literature on didactic methods in the subject shows that neither the finding itself nor the question as to its causes is new. A number of large-scale studies of interests conducted by the Leibniz Institute for Science and Mathematics Education (IPN) based in Kiel in the 1980s already showed that while young people do ascribe a high social relevance to physics, the longer they are taught the subject, the more their interest in it plummets:

*Physics is the most interesting at the beginning. For girls, it generally becomes their least favourite subject of*

*all. ‘What’s it got to do with me?’ gives expression to the pupils’ subjectively experienced distance from physics. But doesn’t every class have its little Einsteins who flourish and excel in physics and often go on to study the subject? The aforementioned studies do indeed show that physics lessons often divide pupils into the intimidated majority and a few experts.*

*Such elite-forming and antidemocratic socialization, however, is in marked contrast to the general educational aims of science teaching. These make the experience-based judgement of the individual and a successful basic science education a precondition of a competent and responsible participation in democratically organized creative social processes (Scientific Literacy, OECD 2006).*

For the full English version visit [www.buw-output.uni-wuppertal.de](http://www.buw-output.uni-wuppertal.de)

### Physikunterricht ohne Phänomene?!

Aus physikdidaktischer Sicht gibt es *den* Physikunterricht natürlich nicht. Vielmehr handelt es sich um ein komplexes Gefüge von teils fachspezifischen, teils allgemeinen unterrichtsmethodischen Merkmalen, die von der Forschung in den vergangenen drei Jahrzehnten beschrieben und empirisch untersucht wurden. Zu den Merkmalen „guten“ Physikunterrichts zählen neben der fachlichen Konsistenz und Schlüssigkeit unter anderem die Anknüpfung an Schüler\*innenvorstellungen und Alltagserfahrungen, die Einbettung neuer Inhalte in Anwendungskontexte und das Experimentieren. Studiert man diese Merkmale genauer, fällt auf, dass Phänomene als Grundlage physikalischer Erkenntnis so gut wie nicht vorkommen. Zwar werden Bezugnahmen auf den Alltag von Schüler\*innen empfohlen, aber konkrete, die sinnliche Wahrnehmungsdimension von Schüler\*innen herausfordernde Begegnungen mit aus-

gewählten Phänomenen aus Natur und Alltag sind konzeptionell nicht vorgesehen.

Folgt man dem Physiker und Pädagogen Martin Wagenschein („Rettet die Phänomene!“), der als wichtiger Impulsgeber der Physikdidaktik in Deutschland angesehen wird, dann stellen Begegnungen mit Naturphänomenen ganzheitliche Entwicklungsgelegenheiten dar, die von existenzieller Bedeutung für das Sinnerleben und die Identitätsbildung von Kindern und Jugendlichen sein können. Nach Aussagen von Schüler\*innen und Studierenden, die ich nach ihrem Physikunterricht befragt habe, handelte dieser im Wesentlichen von theoretischen Konstrukten, Modellen und abstrakten Erklärungen ausgewählter Effekte, die in mehr oder weniger gelingenden Vorführexperimenten „nachgewiesen“ wurden. Was den Befragten davon geblieben ist, sind letztlich unverstandene Wissensfragmente und vereinzelte Formeln, die sie nach der Art „das hat was mit Lichtbrechung zu tun“ bestenfalls zuordnen können, deren

Herkunft und innere Logik ihnen aber dunkel ist und die sie daher nicht auf konkrete Probleme beziehen können.

Bei der Sonnenfinsternis am Vormittag des 20. März 2015 wurden in mehreren deutschen Bundesländern angeblich aus Sicherheitsgründen ganze Klassen in zum Teil verdunkelten Klassenräumen eingesperrt, anstatt die seltene Gelegenheit zu nutzen, der Schülerschaft das Erlebnis dieses großartigen, zutiefst beeindruckenden Naturschauspiels gut vorbereitet und mit eigenen Augen zu ermöglichen. Ist das die Botschaft, mit der eine aufgeklärte, naturwissenschaftlich orientierte Gesellschaft ihr Selbstverständnis der nächsten Generation vermittelt?

Zwischenspiel:  
Beobachtungen am Wassertrog

Die optischen Verkürzungen und Stauchungen, die sich beim Blick auf unter Wasser liegende Objekte (z. B. beim Abwaschen, Spaghetti-Kochen, Baden etc.) ergeben, werden als Phänomene der „optischen Hebung“ zusammengefasst. Von einer Gruppe von Physiklehrkräften, die zum gesehenen Ort einer in einem gefüllten Wassertrog liegenden Münze befragt wurden, hatte mehr als die Hälfte keine Ahnung, auch wenn alle das Gesetz der Lichtbrechung angeben konnten. Einige konnten die theoretisch korrekte Antwort annähernd richtig vorher-sagen. Die wenigsten waren sich wirklich sicher, wo die gehobene Münze gesehen wird und wie dieser Ort vom jeweiligen Blickwinkel abhängt, weil sie eine ähnliche Beobachtung bereits gemacht und den dabei wirksamen Bedingungs-zusammenhang verstanden hatten.

Die anschließende Beobachtung am Wassertrog verdeutlicht, womit viele nicht gerechnet hatten: Genaues Beobachten will geübt sein! Aufschlussreich waren die Kommentare im Anschluss: Einige waren fasziniert davon, das Phänomen zum ersten Mal bewusst gesehen und seine Regelmäßigkeit erfasst zu haben. Einige bezweifelten die Sinnhaftigkeit der Frage nach dem Ort der Münze, weil sie eine Zuverlässigkeit der subjektiven Wahrnehmung voraussetze, die ihrer Meinung nach prinzipiell nicht gegeben sei. Für einige stand von vorn-herin fest, dass es sich bei dem Phänomen, ähnlich wie beim Blick in den Spiegel, um ein Trugbild, eine optische Täuschung handele und fraglich sei, ob die Beantwortung der Frage nicht viel eher von der Wahrnehmungs-psychologie als von der Physik zu erwarten sei. Manche gingen noch weiter: Phänomene dieser Art seien didak-tischer Schnick-Schnack, als Motivation vielleicht geeig-net, aber letztlich Zeitverschwendung. Sie hätten nichts

mit Physik zu tun, sondern seien das Ergebnis der Re-aktionen unseres neurophysiologischen Komplexes auf die Wechselwirkung mit elektromagnetischer Strahlung. Damit kommt eine Sichtweise ins Spiel, die erstaunlich verbreitet ist, in Wissenssendungen, Schulbüchern und populärwissenschaftlichen Darstellungen vermittelt wird und sich durch die epistemologische Struktur des „In-Wirklichkeit-Nichts-als“-Narrativs zu erkennen gibt: „Wir meinen, der Himmel sei blau und die Rose rot, in Wirklichkeit ist Farbe aber nichts als ein elekt-romagnetischer Reiz bestimmter Wellenlänge, das Lied der Nachtigall nichts als ein Gemisch periodischer Luft-druckschwankungen und die Freude darüber in Wirk-lichkeit nichts als ein neuronales Erregungsmuster.“



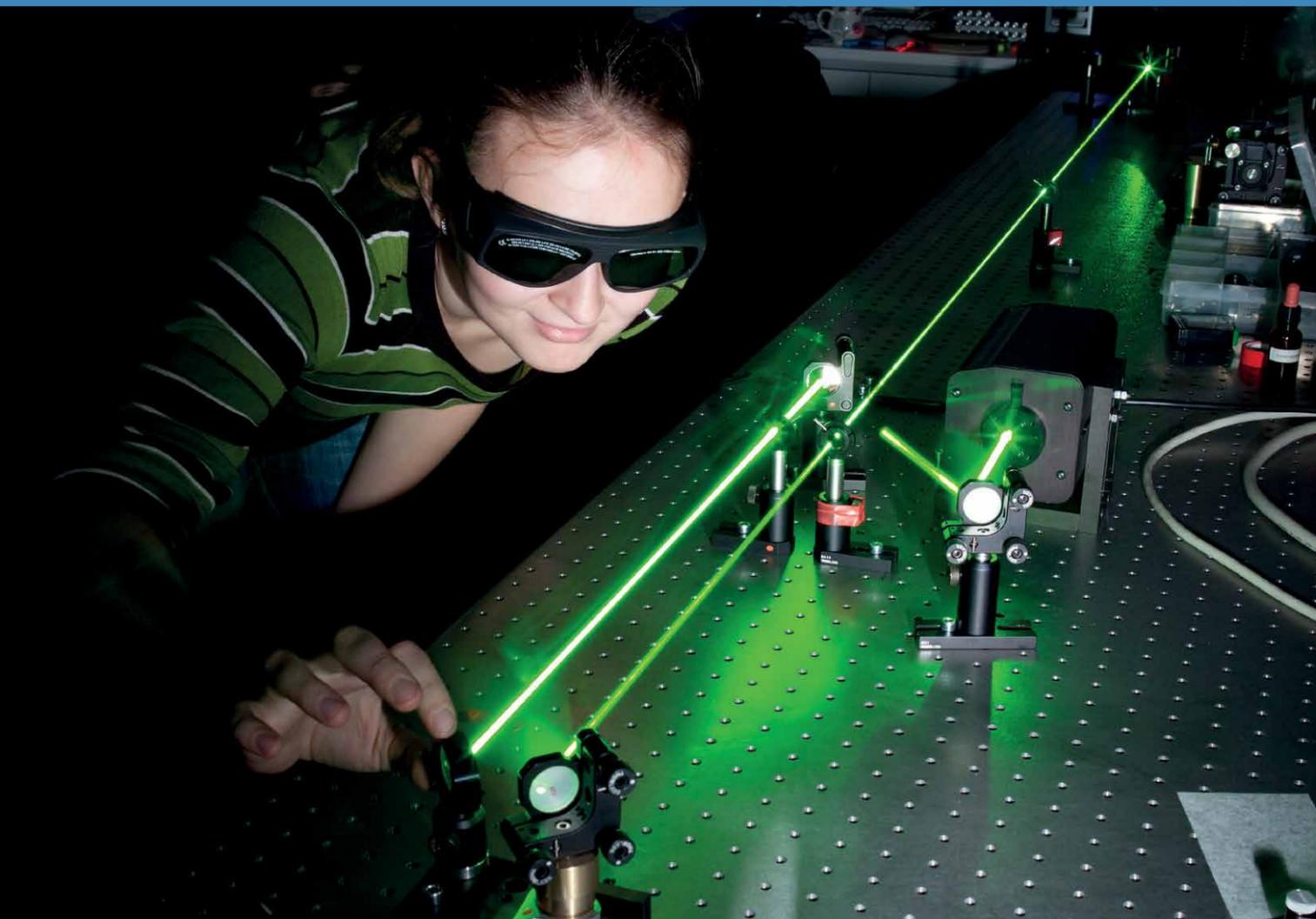
Der Tassenversuch: Hebung und Brechung zugleich. Bei gleichbleibenden Blick- und Beleuchtungswinkeln wird Wasser in eine Tasse gefüllt. Mit zunehmendem Wasserstand erscheint der Tassenboden optisch gehoben: Eine vorher verborgene Münze wird sichtbar (Hebung). Gleichzeitig wird der Tassenboden, der ohne Wasser im Schatten lag, mit steigendem Wasserstand zunehmend beleuchtet: Wie der Verlauf der Schattengrenze an der Tassenwand zeigt, knickt die Beleuchtungsrichtung an der Wasseroberfläche nach unten ab (Brechung).

Der physikalische Blick:  
Beschränkung auf das Messbare

Die Annahme, dass reduktionistische Verkürzungen dieser Art aus der Natur der Physik selbst bereits folgen, tut allerdings der modernen Physik unrecht. Einstein wurde gefragt, ob er glaube, dass sich letztlich alles auf naturwissenschaftliche Weise abbilden lasse. „Ja, das ist denkbar“, antwortete er, „aber es hätte doch keinen Sinn. Es wäre eine Abbildung mit inadäquaten Mitteln, so als ob man eine Beethoven-Symphonie als Luftdruckkurve darstellte.“

Es ist richtig, dass sich die Physik bei ihrer Beschrei-bung der Wirklichkeit auf das Messbare, quantitativ

Erfassbare beschränkt. Indem sie dabei von den anschaulichen Qualitäten der Wirklichkeit absieht, gelangt sie zu einer Form von Naturwissen, das abstrakt und entfremdet wirkt, weil es subjektfrei formuliert ist. Dafür weist es einen Grad an struktureller Klarheit, mathematischer Exaktheit und Zuverlässigkeit auf, ohne die der technologische Entwicklungsweg der westlichen Zivilisation in den letzten zweihundert Jahren nicht denkbar wäre. Das physikalische Bild der Wirklichkeit gleicht einer Projektion. Diese verhält sich zu der ursprünglich erfahrbaren Wirklichkeit etwa wie die Fotografie zum Original, oder wie der Schatten des Baumes zum Baum. Die geometrische Struktur des Baumes wird im Schattenriss scharf erfassbar; was



Auch bei der Justage komplexer optischer Aufbauten ist das (geschützte!) eigene Sehen unentbehrlich.

verloren sind Farbe und Duft, die Räumlichkeit der Krone und das Rauschen der Blätter.

Physiker wie Einstein, Eddington oder Heisenberg waren sich dieses Projektionscharakters der physikalischen Naturbeschreibung stets bewusst. Sie warnten vor dem ontologischen Missverständnis, den Schatten des Baumes mit dem Baum gleichzusetzen, ja mehr noch: die Grundbausteine des physikalischen Weltbildes (Atome, Elektronen, Photonen, Felder etc.) zur „wahren Realität“ hinter der wahrnehmbaren Welt zu erklären und die ursprüngliche Wirklichkeitserfahrung zum subjektiven Sekundärphänomen herabzuwürdigen. Demgegenüber erinnerten sie an die fundamentale Erkenntnis der modernen Physik, dass die Antworten der Natur stets davon abhängen, von welcher Art die Fragen sind.

Der phänomenologische Blick:  
Bedingungen der Erscheinungen erfassen

Vor diesem Hintergrund eröffnet sich zu der Frage „Wie können Phänomene im Physikunterricht Bedeutung gewinnen?“ eine Perspektive: Aus der Selbstbeschränkung der Physik auf das Messbare folgt nämlich keineswegs, dass die Akustik im Unterricht nicht vom Hören ausgehen kann, sondern die Rede über Schall zwangsläufig auf das beschränken muss, was für eine „Akustik ohne Ohr“ bleibt. In demselben Sinn gibt es keinen prinzipiellen Grund, weshalb die physikalische Optik als „Optik ohne Auge“, d.h. unter Verzicht auf die konkrete Seherfahrung unterrichtet werden müsste. Auch wenn die Physik als mathematisch-exakte Naturwissenschaft von Phänomenen und damit vom Bezug

zum Menschen absieht und die Form ihres Naturwissens deshalb als entfremdet erlebt wird, folgt daraus nicht, dass die Physik auch notwendig ohne expliziten Bezug auf die sinnlich-leibliche Erfahrungs- und Erlebnisfähigkeit des Menschen *unterrichtet* werden muss. Die Gesetze der physikalischen Optik, der physikalischen Akustik etc. gelten ja auch und gerade für das, was wir sehen und hören. Folglich sollten sie auch durch eine phänomenologische Analyse des Gesehenen und Gehörten aufgedeckt werden können.

Einer der Hauptgründe dafür, dass es bisher so wenige phänomenologische, d.h. von der konkreten Beobachtung ausgehende, explorierende Zugänge zu Phänomenen gibt, ist m. E. das populäre Missverständnis, die subjektive menschliche Wahrnehmung sei prinzipiell nicht wahrheitsfähig, unzuverlässig und täuschungsbehaftet. Dies lässt sich aber leicht richtigstellen. Tatsächlich kann man nämlich zeigen, dass es sehr wohl möglich ist, durch Schulung der Beobachtung und exakte Beschreibung der jeweils wirksamen Bedingungen z. B. optische oder akustische Phänomene zu erschließen und auf dieser Basis zur Einsicht in die jeweils zugrundeliegenden Gesetzmäßigkeiten zu gelangen.

Um in diesem Sinne exemplarisch bei den Phänomenen der optischen Hebung Klarheit zu schaffen, käme es darauf an, zu untersuchen, ob entsprechende Beobachtungen durch eine systematische Variation der maßgeblichen Bedingungen einen regelhaften Zusammenhang der Beobachtungen erkennen lassen, der sich zuletzt mathematisch als Hebungsgesetz formulieren lässt. Ob man diese Beobachtungen mit dem eigenen Auge oder mit einem technischen Auge, d.h. einem entsprechenden Detektor durchführt, spielt dabei keine Rolle. Sodann wäre zu prüfen, wie sich Phänomene der optischen Hebung und solche der Lichtbrechung bedingen. Spätestens dann fällt einem aber auf, dass das Hebungsgesetz lediglich eine phänomenologische Formulierung des Brechungsgesetzes ist, mithin beide Formulierungen ineinander überführbar und damit strukturell isomorph sind. Dass phänomenologische Erkenntniswege dieser Art anders bei einem bleiben, als auswendig gelernte Sätze oder Formeln, merkt man daran, dass sie das eigene Sehen verändern: Mit einem Mal entdeckt man, in wie vielfältigen Variationen die Bedingungen der optischen Hebung und Brechung in Natur und Alltag wirksam sind.

Phänomenologie:  
Vermittler von Subjekt und Objekt

Dieses hier exemplarisch skizzierte phänomenologische Programm wurde in der Arbeitsgruppe Physik und ihre Didaktik an der Bergischen Universität für eine Vielzahl optischer Phänomene durchgeführt. Konkret wurden Beiträge in den folgenden Bereichen erarbeitet: Schattenbildung, farbiger Schatten, optische Abbildung, Hebung und Brechung, Spiegelung und Reflexion, Beugung und Vervielfachung kleiner kontrastreicher Leuchten, optische Polarisation, Polarisationssehen und Bildverdopplung, Farbenlehre (Goethe und Newton) und spektrale Komplementärphänomene. Die hier entstandenen Dissertationen sind in unserer Buchreihe „Phänomenologie in der Naturwissenschaft“ erschienen.

Unsere Projekte weisen typischerweise stets mehrere Dimensionen auf: eine fachwissenschaftliche, bei der es um die Erschließung, Beschreibung und Konzeptualisierung von Phänomenen geht; eine fachdidaktische, deren Ziel in der curricularen Umsetzung, d.h. in der Entwicklung phänomenologischer Lehrgänge, Unterrichtsmaterialien und Demonstrationsexperimente besteht; eine anwendungsbezogene, die sich mit der Entwicklung von Lehrmitteln für Schule und Hochschule sowie der Konzeption und Realisierung physikalischer Ausstellungsexponate befasst und schließlich die Dimension Service und Transfer: Besonders gelungene experimentelle Entwicklungen, die im Rahmen von Dissertationsprojekten entstanden sind und die ein hohes Innovationspotenzial für die Schule aufweisen, realisieren wir u. a. im Rahmen von Masterarbeiten als Koffereexperimente für die Schulen der Bergischen Region (Projekt SchulPOOL).

[www.physikdidaktik.uni-wuppertal.de](http://www.physikdidaktik.uni-wuppertal.de)  
[www.spw.uni-wuppertal.de](http://www.spw.uni-wuppertal.de)