

Die verspätete Wissenschaft Physik

und was man in fachdidaktischer Hinsicht daraus lernen kann

Ch. Fruböse

1 Einleitung

Die Beschäftigung mit Physik in der heute üblichen wissenschaftlichen Weise ist für die Menschheit bekanntlich erst seit einigen hundert Jahren eine praktizierte Form geistiger Arbeit. Damit steht die Physik als Wissenschaft relativ alleine dar. Denn die Mathematik, aber auch die Philosophie und natürlich ganz besonders die Theologie brachten schon vor mehr als zwei Jahrtausenden geistige Leistungen hervor, die noch heute von größter Bedeutung sind.

Auch in der Biologie, der Pharmazie und der Medizin wurden schon im Mittelalter und erst recht in der Antike bemerkenswerte Kenntnisse erworben, die uns immer wieder in Erstaunen versetzen.

Im Folgenden werden die wesentlichen Entwicklungsschritte der Physik zu einer Wissenschaft nachgezeichnet. Die dabei überwundenen Schwierigkeiten sind insofern für Lehrer von besonderem Interesse, als man sie im Unterricht bei nicht wenigen Schülern und Schülerinnen auch heute noch erkennt. Dieses Wissen soll helfen, Anstöße für die Verbesserung des Physikunterrichts zu geben.

2 Aristoteles: Überzeugend für die Menschen aber hemmend für die Wissenschaft

Zwar gab es auch in der Physik, insbesondere in der Antike, einige vereinzelte und durchaus beeindruckende philosophische Konzepte zu physikalischen Problemen, so sei z. B. auf die Atomideen des *Demokrit* und ein heliozentrisches Weltbild des *Aristarch* verwiesen [1], aber durchgesetzt haben sich diese Ideen insbesondere deshalb nicht, weil die experimentelle Methode zum Nachweis solcher Überlegungen noch nicht angewendet wurde. (Auch *Archimedes* betrachtete, trotz seiner physikalischen Beiträge, experimentelle Methoden eher geringschätzig [2].)

Stattdessen dominierte in Europa von 300 v. Chr. bis ungefähr 1600 n. Chr., damit also fast 2000 Jahre (!) lang, die Philosophie des *Aristoteles*, die auf so gut wie jede naturwissenschaftliche Frage eine für die meisten Menschen befriedigende Antwort lieferte. Dass ein geschlossenes philoso-

phisches Konzept ohne größere Änderungen fast 2000 Jahre lang den Menschen genügt, nötigt zweifellos jedem auch heute noch höchsten Respekt ab. Diese Langlebigkeit wirft natürlich die Frage auf, warum *Aristoteles'* Weltbild so erfolgreich das Bewusstsein der Menschen beherrschen konnte.

Ohne hier auf dieses Weltbild erschöpfend einzugehen, seien hier doch einige Charakteristika benannt, die seinen Erfolg erklären könnten. Sie sind damit auch für die verspätete Entwicklung der Physik von Bedeutung:

- *Aristoteles* war ein genauer Beobachter seiner Umwelt. So sind seine Schilderungen über die Beobachtungen von bestimmten Fischen noch heute staunenswert ob ihrer Präzision und Differenziertheit [3, S. 22]. Folgerichtig leitete er seine Naturerklärungen von plausiblen Axiomen ab, die dem „gesunden Menschenverstand“ entsprachen, also einem Weltbild, das auf unmittelbaren Sinnerlebnissen des Alltags beruht [4, S. 28]. Dies ist auch der Grund, warum auch heute noch manche sogenannte Fehlvorstellungen von Schülern oder Studenten aristotelisch sind. Die Fundierung auf dem „gesunden Menschenverstand“ ist sicherlich ein wesentlicher Grund für den Erfolg und die Langlebigkeit seines Weltbildes bis in das späte Mittelalter hinein.
- Trotz seiner Naturbeobachtungen führte *Aristoteles* erstaunlicherweise keinerlei Experimente durch. Seine Physik war damit ganz ähnlich aufgebaut wie die zu seiner Zeit so überaus bewunderte euklidische Geometrie, nämlich deduktiv [5, S.17].
- Ein weiteres wesentliches Charakteristikum seines Weltbildes ist der völlige Verzicht auf die Verwendung von Mathematik. *Aristoteles* befand sich damit bei den antiken Denkern in guter Gesellschaft. So war *Platon* sogar der Meinung, dass einzig die Welt der reinen mathematischen Ideen des Studiums wert sei; entsprachen ihnen bestimmte physische Gegenstände nicht, so war das ihr Pech, denn sie waren nun mal schadhaf-

und unvollkommen. Sie waren damit eine mathematischen Behandlung gar nicht wert [6, S. 87]. „Die antiken Denker kamen nicht mit der Tatsache zurecht, dass die Mathematik einen rein abstrakten Charakter besitzt, die Welt dagegen aus ganz konkretem Material besteht.“ [6, S. 88]. *Aristoteles* folgerte aus diesem so empfundenen Widerspruch, dass die Mathematik mit der Physik nichts zu tun habe. Folgerichtig formulierte er seine Beschreibung der Natur rein verbal. Diese Beschränkung ist sicherlich ein Grund dafür, dass seine Lehre für viele Menschen so gut verständlich und damit überzeugend war. Die Hemmung der antiken Denker, die Natur mit Hilfe der Mathematik zu beschreiben, haben viele Menschen auch heute noch. Es scheint also eine tiefliegende, womöglich sogar in unserer Natur liegende Ursache dafür vorzuliegen.

- *Aristoteles* war eher ein Philosoph als ein Naturwissenschaftler [7, S. 100]. So war er z. B. weniger daran interessiert, wie eine Bewegung abläuft, sondern ihn interessierte die Klärung des „warum“. Die „causa finalis“ war wichtiger als die „causa movens“.
- Ein im Folgenden noch wichtiger Aspekt des aristotelischen Weltbildes sei kurz beschrieben: Nach *Aristoteles* ist die Welt zweigeteilt, in die Erde, die sogenannte sublunare Welt mit den 4 Elementen und in die darüber befindlichen Himmelsphären, mit einem 5. Element („Quintessenz“). Die Erde ist nach *Aristoteles* unvollkommen, während die himmlische Sphäre unvergänglich, göttlich, mathematisch und geometrisch perfekt ist [1, S. 84]. Folgerichtig durften im Himmel andere Gesetze gelten als auf der Erde. Der Mond musste eine ideale Kugel sein, da er ja zur himmlischen Sphäre gehörte. An diesem Schisma ist zuerst durch Galilei gerüttelt worden, als er mit dem Fernrohr die unebene Oberfläche des Mondes erkannte und diese eben nicht wegdiskutieren wollte, sondern stattdessen seine Beobachtung und seine ketzerische Einschätzung sogar publizierte.

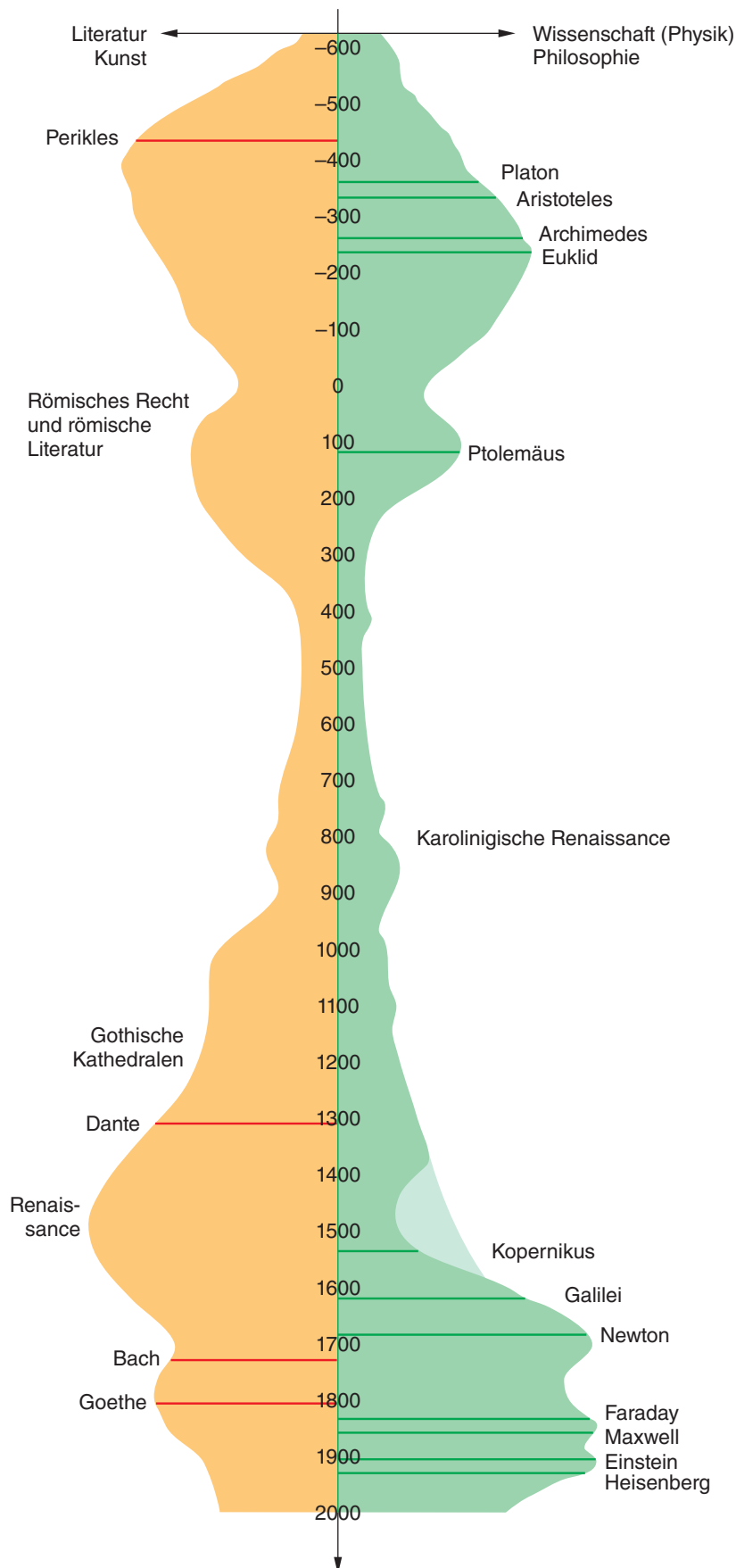


Abb. 1: Semiquantitative Darstellung der Intensität des intellektuellen Schaffens von der Antike bis zur Gegenwart [1, S. 18]. Ganz offensichtlich ist die Abnahme der intellektuellen Aktivität mit dem Niedergang des römischen Reichs und die anschließende, Jahrhunderte währende Durststrecke. Man erkennt auch, dass die beiden Großformen geistiger Tätigkeit, nämlich die literarisch-künstlerische und die wissenschaftliche, meist nicht gleichzeitig ihren Höhepunkt haben. Interessanterweise gehen sowohl in der Antike, als auch in der Renaissance schöpferische Höchstleistungen den naturwissenschaftlichen voraus.

3 Die Renaissance und die Begründer der naturwissenschaftlichen Methode

Gemeinhin werden *Kopernikus*, *Kepler*, *Galilei* und *Newton* [8, S. 534] als die Begründer der modernen Physik und damit auch ihrer Rolle als Leitwissenschaft bezeichnet. Diese Vier hatten einen Vorzug, den Wissenschaftler weder in der Antike und erst recht im Mittelalter nicht besaßen: Sie kombinierten nämlich experimentelles Geschick mit einer beachtlichen geistigen Kühnheit, die es ihnen ermöglichte, ganz neuartige Hypothesen zur Erklärung ihrer Experimente aufzustellen. Sie ließen sich eben nicht mehr durch die Scholastik des Aristoteles in ihrem Denken beschränken.

Diese Entwicklung begann interessanterweise mit der Astronomie. *Kopernikus* (1473 – 1543) hatte aufgrund der von ihm gemachten Beobachtungen schon relativ früh die Hypothese aufgestellt, dass die Erde um die Sonne kreisen und sich gleichzeitig auch um sich selbst drehen würde. Aus Furcht vor der Kirche wurden diese Hypothesen in seinem Werk „*De Revolutionibus Orbium Coelestium*“ aber erst im Jahre 1543, seinem Todesjahr, veröffentlicht [8, S. 534].

Wenngleich *Kopernikus* seine Hypothese aufgrund der intensiven Beschäftigung mit eigenem und auch fremdem Beobachtungsmaterial formulierte, so konnte er doch keinen überzeugenden Beweis vorlegen [8, S. 537]. Seine Ansicht wurde deshalb von den Astronomen noch lange Zeit abgelehnt.

Kepler (1571-1630) war der erste bedeutende Astronom, der die heliozentrische Theorie anerkannte und mit ihrer Hilfe die drei Kepler'schen Gesetze auffinden konnte. Das erste ersetzt die Kreisbahn durch eine Ellipse. Dieser Bruch mit der tausende Jahre gültigen aristotelischen Vorstellung, dass sich Gestirne nur auf geometrisch und ästhetisch viel befriedigenderen Kreisbahnen bewegen können, ist in seiner Kühnheit nicht hoch genug einzuschätzen.

Hervorzuheben sind aber auch die quantitativen und mathematisch formulierten Zusammenhänge, die *Kepler* in seinem zweiten und dritten Gesetz formuliert hat. Es ist kein Zufall, dass gerade die Astronomie als erste Wissenschaft mathematisch formulierte Gesetze findet; denn die Himmelskugel war nach *Aristoteles* ideal und damit der reinen und mathematischen Beschreibung zugänglich. Folgerichtig wurde in dieser Wissenschaft schon immer quantitativ gearbeitet und deshalb war die Astronomie an den Universitäten der Mathematik zugeordnet, ganz im Gegensatz zur Physik, die der philosophischen Fakultät angehörte [6, S. 62].

Der Beginn der eigentlichen Physik wird in der Literatur gemeinhin an *Galileo Galilei* (1564-1642) festgemacht [1, S. 18, S.176]. Damit kann man den Beginn des 17. Jahrhunderts als Startschuss für die Physik als Wissenschaft im heutigen Sinne ansehen.

Galilei näherte sich der Natur ganz anders als *Aristoteles* und kam damit auch zu ganz neuen Resultaten:

- *Galilei* wollte keine neue Philosophie entwickeln, sondern durch die Verbindung von praktischer Vernunft und Erfahrung eine nützliche Wissenschaft begründen [6, S. 35]. Ihm war die Formulierung von Gesetzen wichtiger als ihre Ursachenklärung, die *Aristoteles* am Herzen lag [6, S. 33, 90]. Insofern war *Galilei* der erste Naturwissenschaftler im modernen Sinne. Durch diese Unabhängigkeitserklärung trennte er die Naturwissenschaften dauerhaft von der Philosophie ab. Diese Abtrennung wurde damals von den Philosophen sogar als existentielle Bedrohung empfunden; denn *Galileis* Ergebnisse gefährdeten ihr geschlossenes und festes aristotelisches Erklärungssystem und damit ihre wirtschaftliche Existenz. Daher spielten die Philosophen eine große Rolle bei den Inquisitionsprozessen gegen *Galilei*. (Eine genauere Beschreibung findet sich z. B. bei *Drake* [6, S.78, S. 23]).
- *Galilei* führte das Experiment in die Physik ein, siehe Abbildung 2. Bei seinen Messungen ganz unterschiedlicher Art definierte er jeweils zweckmäßige Einheiten und er machte sich dabei auch Gedanken über die Messgenauigkeit. Dass man keine idealen Resultate erzielen konnte, sondern immer mit Messfehlern und Ungenauigkeiten zu kämpfen hatte, entmutigte ihn in keiner Weise. Er forderte allerdings eine vernünftige Übereinstimmung zwischen den Beobachtungen bzw. Messungen und der Erklärung. Die von den Philosophen geforderte Perfektion war ihm nicht wichtig [6, S. 64f].
- *Galilei* überwindet damit auch das Schisma zwischen Mathematik und Physik. Er ist nämlich fasziniert von dem Gedanken, die Natur mathematisch beschreiben zu können. Nur die Sprache der Mathematik erlaube es ihm das „großartige Buch der Natur“ zu lesen [6, S. 11 u. 33].
- *Galilei* war zweifellos etwas geltungssüchtig und er liebte den Disput und die Öffentlichkeit. Gerade diese mediale Begabung machte seine Arbeiten populär und führte dazu, dass seine Ideen sich verbreiteten. Ganz nebenbei führt er so



Abb. 2: Diese Zeichnung von *Galileis* legendären Experimenten zur Untersuchung der Fallbewegung visualisiert die entscheidenden Schritte zur Physik im heutigen Sinn: zum einen die Einführung des (raffiniert konzipierten) Experiments zur Überprüfung von Hypothesen, zum anderen die Festlegung von zweckmäßigen Einheiten, die Entwicklung einer Messtechnik und den Umgang mit Messfehlern; und schließlich den Ansatz, die Natur mit Hilfe der Mathematik und nicht nur verbal zu beschreiben. All dies stellte einen radikalen Bruch mit der aristotelischen Physik dar, die fast zwei Jahrtausende das Bewusstsein der Menschen geprägt hatte und offensichtlich für die Menschen bis dahin auch vollauf befriedigend war. (Quelle: [18])

die Idee der Veröffentlichung ein [5, S.20] und damit ein wichtiges Prinzip der modernen Wissenschaften.

Neben dem eher als Naturwissenschaftler angesehenen *Galileo Galilei* (1564-1642) prägten noch zwei naturwissenschaftlich orientierte Philosophen nämlich *Francis Bacon* (1561-1626) und *René Descartes* (1596-1650) die Entwicklung der naturwissenschaftlichen Methode entscheidend mit. Alle drei lebten und wirkten zwar mehr oder weniger gleichzeitig, aber doch in drei unterschiedlichen europäischen Kulturräumen.

Francis Bacon lehnte die Scholastik ebenso ab wie *Galilei* und forderte stattdessen eine „Methode der Interpretationen“, die auf das genaue und gründliche Verständnis der Natur abzielt und zu einer Kumulation von Wissen führt, die letztlich zu einer Unterwerfung der Natur im Interesse des Fortschritts führen sollte [3, S. 86-100, 9]. Für *Bacon* gelingt dies indem man sich selbst der Natur unterwirft, um sie durch Experimente zu lesen und zu verstehen („natura parendo vincitur“). *Bacon* bezeichnete das Experiment als „visitatio“ der Natur, worunter man im damaligen Rechtssystem die Folter (!) verstand, die einen schweigenden Angeklagten zum Reden bringen sollte. *Bacon* erwartete, dass die Natur im Experiment ihre Geheimnisse nicht freiwillig herausrücken würde [4, S.

35 u. 201].

Goethe sah die Rolle des Experiments übrigens ganz anders. Er glaubte nicht, dass es die Wahrheit, sondern bestenfalls einen „gequälten Aufschrei“ der Natur zu Tage bringen würde [4, S. 35]. Diese Einschätzung zeigt, dass die Idee des Experiments nicht so schnell von allen Menschen akzeptiert wurde, und dass dieses Konzept uns womöglich nicht so in die Wiege gelegt wurde, wie mancher Enthusiast gerne glaubt.

René Descartes ist der zweite große Denker, der Entscheidendes zur Verdrängung des aristotelischen Weltbildes beitrug. Er negierte die Bedeutung des Qualitativen im Sinne von *Aristoteles* und betonte stattdessen die Quantifizierung der Objektwelt. *Descartes'* wirksamstes Buch „Discours de la méthode“ legt wesentliche Grundlagen für das heutige wissenschaftliche Arbeiten. Nach *Martin Heidegger* ist *Descartes* sogar der eigentliche Begründer der neuzeitlichen Wissenschaften und damit der aus seiner Sicht unheilvollen technischen Beherrschung der Welt [10]. Insofern hat die Fortschrittsskepsis, die meist mit einer Distanz zur physikalischen Methode verbunden ist, in der Person von *Heidegger* und anderen auch heute noch gewichtige philosophische Vertreter.

4 Der Vollender: Isaac Newton

Der letzte Protagonist bei der Entwicklung

der wissenschaftlichen Methode in der Physik ist *Isaac Newton*. Er wird im Todesjahr *Galileis*, nämlich 1642 geboren, und er beherrscht die Physik bis zu seinem Tode im Jahre 1727. *Newton* überwindet insbesondere durch sein Hauptwerk „*Philosophiae naturalis principia mathematica*“ aus dem Jahre 1687 endgültig die aristotelische Physik.

Dieser brillante Mathematiker verhalf der Verwendung der Mathematik in der Physik endgültig zum Durchbruch. So multiplizierte er erstmals und ohne Bedenken physikalische Größen miteinander, z.B. die Maßzahlen für Masse und Beschleunigung [3, S. 167]. Als Physiklehrer wissen wir, dass genau dieser Schritt vielen Schülern zunächst einige Überwindung kostet.

Auch führte *Newton* die so erfolgreiche Idee des Massepunktes ein und verhalf damit dem Abstraktionsprozess bei der Untersuchung physikalischer Zusammenhänge zum finalen Durchbruch. Er überwand endgültig das aristotelische Schisma zwischen sublunarer und himmlischer Sphäre, indem er mit dem Gravitationsgesetz ein Gesetz formulierte, das ganz selbstverständlich sowohl im Himmel als auch auf der Erde seine Gültigkeit bewies. Es gelingt ihm zu zeigen, dass die Ellipsenbahnen der Planeten aus den auf sie wirkenden Kräften herleitbar sind. Damit gelingt ihm ein überzeugender Einstieg in den für die Physik später so typischen Reduktionismus, d. h. in das Bestreben, physikalische Phänomene auf eine möglichst kleine Anzahl von fundamentalen Beziehungen zurückzuführen.

Von seinen drei Axiomen ist sicherlich das Trägheitsgesetz das am wenigsten mit den Alltagsbeobachtungen übereinstimmende. Der Philosoph *Gaston Bachelard* formuliert sogar, „dass seit *Newton* die Physik eine Wissenschaft ist, in der nur noch als wissenschaftliche Erkenntnis gilt, was dem gesunden Menschenverstand widerspricht“ [3, S. 168]. *Fischer* ergänzt: „Seit *Newton* ist die Wissenschaft anti-intuitiv.“ Und als Lehrer wissen wir nur zu gut, wie recht er teilweise hat, gerade wenn wir an die Lernwiderstände bei der Verwendung der *Newton*'schen Axiome denken. In der Didaktik werden viele dieser Vorstellungen des sogenannten gesunden Menschenverstandes einfach Fehlvorstellungen genannt. Es gibt viele Versuche, diese zu überwinden, so recht erfolgreich sind wir anscheinend nicht immer. *Fischer* zieht denn auch ein erschreckend skeptisches Fazit: „So gesehen wird eine unmenschliche Anstrengung von dem verlangt, der

Wissenschaft begreifen will“ [3, S. 168].

Die Grundlagen für die Naturwissenschaften im allgemeinen und für die Physik im besonderen sind mit *Newton* im Wesentlichen gelegt. Daran ändert auch die Tatsache nichts, dass sie im weiteren Verlauf durch *Maxwell*, *Boltzmann*, *Planck*, *Heisenberg* u.a. noch wesentliche Erweiterungen erfährt [1, S. 39].

Bemerkenswert ist, dass sich die heutige Art des naturwissenschaftlichen Denkens zunächst nur in Europa ausbildete und sich zunächst auch nur dort ausbreitete [1, S. 37]. Erst später erreicht sie Nordamerika, Japan, Asien und Südamerika. Aber man sollte nicht übersehen, dass sich diese Art des naturwissenschaftlichen Denkens eben noch längst nicht in allen Teilen der Welt wirklich durchgesetzt hat.

Bemerkenswert ist auch, dass die Physik lange als Leitwissenschaft und quasi als das „Urmeter“ der Wissenschaftlichkeit galt und teilweise noch gilt. Mittlerweile wird aber klar, dass diese spezifische Methode in vielen anderen Wissenschaften nur eingeschränkt eingesetzt werden kann.

5 Die physikalische Methode und die Schule

Der historische Rückblick weist darauf hin, dass sich zumindest ein Teil der Menschen schon immer auch für physikalische Fragen interessierte. Dagegen hat es aber der Menschheit ganz offensichtlich große Schwierigkeiten gemacht, die wissenschaftliche Denk- und Arbeitsweise der heutigen Physik zu entwickeln. Die Fragen sind alt, die Methode ist neu!

Die wesentlichen Kennzeichen dieser naturwissenschaftlichen Denkweise, wie sie z.B. *W. T. Hering* aus moderner Sicht beschreibt [4], sind in Tab. 1 zusammengefasst.

Die oberen drei Punkte (bzw. Zeilen) der Tab. 1 betreffen auch andere Sachfächer im Schulkanon. Sie sollen deshalb hier nicht diskutiert werden, obwohl gerade die sinnvolle Nutzung der Fachsprache eine wichtige didaktische Fragestellung ist

Die beiden letzten Punkte (bzw. Zeilen) dagegen entsprechen den beschriebenen historischen Haupthindernissen bei der Entwicklung der modernen wissenschaftlichen Methode der Physik. Sie sollen hier etwas näher beleuchtet werden.

Das Wissen um die richtige Nutzung des Experiments ist zweifellos ein hehres Lernziel für den schulischen Physikunterricht. Und die Bildungsstandards in Physik liefern dazu nützliche Anstöße für die notwendige Umgestaltung des Unterrichts.

Aber das richtige und geschickte Experimentieren, insbesondere der Umgang mit den Geräten, das Messen und auch ein Verständnis für die prinzipiellen Grenzen einer Messung sind uns nicht in die Wiege gelegt. Wir Physiklehrer wissen aus unseren Unterrichtsbeobachtungen, dass Schülerexperimente nicht für alle Schüler so faszinierend sind, wie mancher glaubt. Das gilt insbesondere dann, wenn es nicht nur um das Beobachten einfacher Phänomene geht, sondern um das selektive Beobachten oder gar das Vermessen abstrakter Größen, wie z. B. Spannung und Stromstärke. Erst nach längerem Üben werden auch diese Tätigkeiten, zumindest von Vielen, mit hinreichend Verstand und dann auch einer gewissen Freude durchgeführt. Reines „begeistertes“ Tun kann umfangreiche Schülerexperimente nicht rechtfertigen! Denn diese Zeit geht zu Lasten der Vermittlung und Einübung von Fachwissen und anderen Kompetenzen. Weil das Verbinden von Hand und Verstand unseren Schülern aufgrund ihrer zunehmend virtuellen Lebenswelt immer schwerer fällt, sind die angestrebten Kompetenzen in Klassen von 32 Schülern oft kaum noch zu erreichen. Und bei manchem eher geisteswissenschaftlich geprägten oder künstlerisch orientierten Schüler hat man schlussendlich den Eindruck, dass ihm diese Welt trotz aller Mühen immer verschlossen bleiben wird.

Das zentrale Problem des Physikunterrichts ist aber nicht die Verknüpfung der Physik mit dem Experiment, sondern die Verbindung von Physik und Mathematik.

Es stellt sich die Frage, warum die Verwendung der gleichen mathematischen Hilfsmittel im Physikunterricht so viel mehr Schwierigkeiten macht als im Mathematikunterricht. Das hat teilweise banale Gründe. Denn zum einen wird in physikalischen Formeln mit mehr Platzhaltern (Formelzeichen) gearbeitet als in der Mathematik, und diese heißen nicht immer nur x oder y , sondern sie müssen das richtige Formelzeichen tragen, sonst ist die Rechnung missverständlich. Zum anderen beruhen physikalische Formeln auf Einheiten, die insbesondere beim Umrechnen und Wegkürzen weitere Probleme verursachen. Dennoch hier besteht Hoffnung: Der richtige Umgang mit Formelzeichen und mit Einheiten kann gelernt werden, allerdings benötigt dies bei der Mehrheit der Schüler ausreichend Übungszeit.

Die eigentliche Hürde, nämlich der grundsätzliche Ansatz, die Natur mit Hilfe der Mathematik zu beschreiben, ist für heutige Schüler ähnlich hoch wie für unsere Vorfahren. Viele Schüler überwinden die

Merkmale der naturwissenschaftlichen Methode nach <i>W. T. Hering</i>	Konsequenzen für die Schüler und Schülerinnen und für den Physikunterricht
Konsensprinzip: Es gibt eine allgemein anerkannte Wahrheit, aber keine Schulen.	Es gibt meist eine klare Richtig-Falsch-Entscheidung. Das bedeutet: Nicht alles was man als Schüler sagt ist wenigstens ein bisschen richtig. Beiträge im Unterricht können durchaus völlig falsch sein. Das Erlebnis des Unrechthabens wird den Schülern nicht in allen Fächern in gleicher Weise deutlich.
Objektive Realität: Es gibt eine objektive Realität, welche nicht von der subjektiven Wahrnehmung abhängig ist.	Subjektive und emotionale persönliche Empfindungen sind für Unterrichtsbeiträge unwichtig. Das mag nicht jeder.
Fachbegriffe haben eine enge, festgelegte Bedeutung Sie werden nicht ähnlich unscharf wie Alltagsbegriffe verwendet. Zudem werden Alltagsbegriffe in der Fachsprache anders verwendet als im Alltag. (Quarks, Farben, charms, Arbeit, Spannung, Potential...)	Die Fachsprache erleichtert den Schülern nicht gerade die Beteiligung am Unterricht. Das Erlernen einer Fachsprache erfolgt zweifellos anders als das Lernen von Alltagsvokabeln.
Hauptquelle für die Wahrnehmung der Realität ist das Experiment: Dieses verwendet in der Physik meistens Geräte und mit denen wird auch gemessen. Nicht messbare Beobachtungen spielen, insbesondere in der Physik, in der Regel keine Rolle.	Das Messen bedeutet oft eine Entfremdung von der direkten Nutzung der fünf Sinne. Zudem bedeutet sie eine sehr selektive Betrachtung der Natur und damit eine Abkehr von der ganzheitlichen Naturbetrachtung. Das liegt nicht jedem. Die entsprechenden Fertigkeiten werden in der Schule nur noch in der Chemie gefordert.
Reduktionismus: In der Physik ist das Bestreben besonders ausgeprägt, physikalische Phänomene letztlich auf eine möglichst kleine Anzahl von mathematisch formulierten und fundamentalen Beziehungen zurückzuführen.	Die Zuordnung von Zahlen und vor allem von Zahlenbeziehungen zur Realität bzw. zur beobachteten Wirklichkeit stellt die zentrale Hürde des Physikunterrichts dar. Diese Form der Abstrahierung wird in der Schule nur in der Physik gefordert.

Tab. 1: Linke Spalte: Die fünf wesentlichen Merkmale der naturwissenschaftlichen Methode nach *Hering* [4]. In der rechten Spalte sind knapp die Schwierigkeiten skizziert, die aus Sicht des Autors daraus für den Physikunterricht resultieren.

se Hürde nie. Interessanterweise bereitet die verbale Beschreibung physikalischer Zusammenhänge vielen Schülern viel weniger Schwierigkeiten und nach meinem Eindruck auch mehr Spaß, zumindest wenn man der Fachsprache nicht gar zu viel Beachtung schenkt.

Die mathematische Beschreibung der Natur bleibt dagegen für viele immer etwas irgendwie Fremdartiges. Nach *Max Born* sucht man in der Physik die für eine Naturerscheinung gemäße Mathematik und betrachtet diese, nachdem sie sich als passend erwiesen hat, als die physikalische Wirklichkeit [11]. Dieser Akt stellt somit die zentrale geistige Tätigkeit in der Physik dar. Bei diesem Wechsel von der gegenständlichen Ebene in die abstrakte Ebene ist ein drastischer Wechsel der Abstraktionsebenen durchzuführen [12]. *Rang* [13, 14] weist darauf hin, dass das Denken auf verschiedenen Abstraktionsebenen unterschiedlichen Denkbereichen zuzuordnen ist und damit in verschiedenen Gehirnbereichen stattfindet. Insofern erfordert die Nutzung von mehreren Abstraktionsstufen schlichtweg auch das Vorhandensein bzw. die Bildung von Verknüpfungen zwischen diesen Gehirnbereichen, siehe dazu

[15].

Da zu allem Überfluss in der Physik neben der gegenständlichen und der mathematischen auch die symbolische und die fachsprachliche Abstraktionsebene eine Rolle spielen [12] heißt dies: Es sind nicht nur Verknüpfungen zwischen den Denkbereichen aufzubauen, sondern 4 verschiedene Denkbereiche müssen, jeder für sich, durch den Aufbau bzw. die Verbesserung von Synapsen entwickelt werden. Nichts anderes ist Lernen. Anders formuliert: Physik ist neurobiologisch etwas Spezielles, weil nicht nur ungewöhnliche Verknüpfungen zwischen Denkbereichen (Abstraktionsebenen) geschaffen werden müssen, sondern weil auch sehr unterschiedliche Denkbereicheentwicklungsfähig und entwickelt sein müssen. Hier wird die Neurobiologie in Zukunft hoffentlich noch weitere hochinteressante Antworten beisteuern können. Inwieweit jeder die Fähigkeit zum Verknüpfen der gegenständlichen mit der mathematischen Abstraktionsebene lernen kann, scheint unklar. Es ist dieselbe Fähigkeit wie sie beim Lösen von Textaufgaben erforderlich ist. Und jeder Lehrer hat vermutlich die gleichen Erfahrungen gemacht: Gerade diese Aufgaben lassen sich

nicht einfach lernen, sondern man muss durch Üben langsam „hineinwachsen“. Für viele Menschen bleiben sie trotzdem zeit lebens ein Horror.

6 Folgerungen

Die Schwierigkeiten beim Erlernen der physikalischen Methode sind offensichtlich von ganz anderer Art als die beim Erlernen einer Sprache, was uns ja bekanntlich sogar schon ganz gut als Säugling gelingt. Nach *Noam Chomsky* kommen Menschen sogar mit einem angeborenen Sinn für Sprache und Grammatik zur Welt, und er vermutet eine genetisch verankerte Urgrammatik, auf der letztlich alle Grammatiken beruhen [16, S. 114ff und 17, S.228]. Die Fähigkeit zum Sprechen war sicherlich in der Evolution unabdingbar für das Überleben. Dagegen waren die speziellen Fähigkeiten, welche die Physik als Wissenschaft erfordert, bis weit in die Neuzeit nicht von besonderem Nutzen. Nach *Hering* stammt „die in der Physik praktizierte Form des naturwissenschaftlichen Denken vermutlich nicht direkt aus der evolutionären Wurzel unseres Denkvermögens, sondern hat sich als Seitentrieb am Baum der Geistesentwicklung erst sehr spät entwickelt“ [4, S.

162]. Insofern sollten uns die Schwierigkeiten, welche viele Schüler und Erwachsene (!) damit haben, nicht überraschen. Überraschen sollte uns eher, wieso man in den Kultusministerien annimmt, dass die Mehrheit der Schüler Physik in zwei Wochenstunden lernen kann, während man ihnen bei jeder Fremdsprache in der Regel mindestens vier Wochenstunden zubilligt.

Für einen anregenden Briefwechsel und wertvolle Hinweise danke ich herzlich Herrn Prof. Dr. Otto Rang (Heidelberg).

Für die kritische Durchsicht des wissenschaftshistorischen Teils danke ich Herrn

Dr. habil. J. Gomez-Tutor (Philosophisches Institut der Universität Trier).

Literatur

[1] Simonyi K. (2004): *Kulturgeschichte der Physik – Von den Anfängen bis heute*. Frankfurt/M: Verlag Harri Deutsch.

[2] www.wikipedia.org/wiki/Archimedes (letzter Zugriff 7.1.2013).

[3] Fischer E.P. (1995 und 2005): *Aristoteles, Einstein und Co.* München: Piper-Verlag.

[4] Hering W.T. (2007): *Wie Wissenschaft ihr Wissen schafft*. Hamburg: Rowohlt Taschenbuch-verlag.

[5] Asimov I. (1985): *Die exakten Geheimnisse unserer Welt*. München: Droemer'sche Verlagsanstalt.

[6] Drake S. (200x): *Galilei*. Freiburg: Herder-Verlag.

[7] Buchheim T. (200x): *Aristoteles*. Freiburg: Herder-Verlag.

[8] Russel B. (1945): *A History of Western Philosophy*. London: George Allen Verlag.

(Hier verwendet: (2007): *Philosophie des Abendlandes*. Köln: Parkland-Verlag.)

[9] www.wikipedia.org/wiki/Francis_Bacon (letzter Zugriff 12.11.12).

[10] www.Wikipedia.org/wiki/René_Descartes (letzter Zugriff: 10.11.12).

[11] Born M. (1963). *Vortrag auf dem Nobelpreisträgertreffen 1963 in Lindau: „Symbol und Wirklichkeit“*. Ausschnitte unter:

[www.](http://www.home.arcor.de/eberhard.liss/erkenntnis+thesen/born-symbole.htm)

[home.arcor.de/eberhard.liss/erkenntnis+thesen/born-symbole.htm](http://www.home.arcor.de/eberhard.liss/erkenntnis+thesen/born-symbole.htm)

(letzter Zugriff: 27.12.2012).

[12] Fruböse C., *Der ungeliebte Physikunterricht – Ein Blick in die Fachliteratur und einige Anmerkungen aus der Praxis* (2010). In: *Der mathem. und naturw. Unterricht MNU* 7 (63), S. 388-392.

[13] Rang O., *Erwiderung zu „Der ungeliebte Physikunterricht“* (2011). In: *Der mathem. und naturw. Unterricht MNU* 1 (64), S. 55.

[14] Rang O., *Zur Abgrenzung physikalischer Denkbereiche* (2012). In: *Der mathem. und naturw. Unterricht MNU* 1 (65), S. 53-59.

[15] Spitzer M. (2002): *Lernen - Gehirnfor-schung und die Schule des Lebens*. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.

[16] Precht R.D. (2007): *Wer bin ich und wenn ja wie viele*. München: Goldmann-Verlag.

[17] Macrone M. (1996): *Heureka! – Eine kleine Geschichte unseres Denkens von der Antike bis heute*. New York: Cader Books/Harper Publishers.

(Hier verwendet: Die deutsche Lizenzausgabe mit obigem Titel durch den Matrix-Verlag Wiesbaden (2004).

[18] [www. Google Bilder:](http://www.google.com)

<http://ksbuelach.ch/fach/phys/fenster/>

[Portraits/galilei%20schE.jpg](http://ksbuelach.ch/fach/phys/fenster/Portraits/galilei%20schE.jpg) (Letzter Zugriff: 23.12.2012)

Anschrift des Verfassers

Dr. Christian Fruböse Studienseminar für Gymnasien Trier, Christophstraße 1, 54290 Trier

E-Mail: cfrubose@yahoo.de

Kurzfassung

Die verspätete Wissenschaft Physik und einige Anmerkungen aus fachdidaktischer Sicht

Christian Fruböse

Die Physik als Wissenschaft in heutigem Sinn ist erst spät Teil der menschlichen Kulturgeschichte geworden. Die wesentlichen Schritte der Entwicklung der Physik zu einer Wissenschaft werden nachgezeichnet. Die dabei überwundenen Hindernisse ähneln in verblüffender Hinsicht den Lernschwierigkeiten heutiger Schüler. Aus der in mancher Hinsicht einzigartigen wissenschaftlichen Methode in der Physik ergeben sich Notwendigkeiten hinsichtlich einer begabungsgerechten und sinnvollen Gestaltung des Physikunterrichts.

Stichworte:

Geschichte der Physik, Schwierigkeiten des Physikunterrichts, Lernschwierigkeiten, Physikalische Methode, Begabung.