

ARBEITSKREIS BAYERISCHER PHYSIKDIDAKTIKER

BEITRAG AUS DER REIHE:

Werner B. Schneider (Hrsg.)

Wege in der Physikdidaktik

Band 3

Rückblick und Perspektive

ISBN 3 - 7896 - 0513 - 1

Verlag Palm & Enke, Erlangen 1993

Anmerkung:

Die Bände 1 bis 5 sind (Ausnahme Band 5) im Buchhandel vergriffen.
Die einzelnen Beiträge stehen jedoch auf der Homepage

<http://www.solstice.de>

zum freien Herunterladen zur Verfügung.

Das Copyright liegt bei den Autoren und Herausgebern.

Zum privaten Gebrauch dürfen die Beiträge unter Angabe der Quelle
genutzt werden. Auf der Homepage

www.solstice.de

werden noch weitere Materialien zur Verfügung gestellt.

Warum ist Physiklernen schwierig?¹

1. Einleitung

Physiklernen gilt als schwierig bei Schülern und bei Studenten. Was ist der Grund? Was unterscheidet die Physik von anderen Fächern, die als nicht so schwierig gelten? Was macht Physik schwierig?

Ich möchte diese Frage untersuchen, ohne auf andere Fächer explizit einzugehen. Vielmehr sollen Charakteristika der Physik aufgezeigt werden, die die Behauptung des Themas von dieser Seite her plausibel machen. Folgende vier Aspekte werden hier näher erörtert²:

Die Sprache der Physik

Die vielschichtige Vernetzung der Physik

Die strukturelle Offenheit der Physik

Das implizite Wissen in der Physik

2. Die Sprache der Physik

1. Die Sprache der Physik ist verwirrend, obwohl von einer sehr von Rationalität durchzogenen Disziplin stammend: sie hat sich historisch entwickelt und enthält damit zumindest als Rudimente die aus heutiger Sicht historischen Irrtümer der Physik. GERLACH (1962) hat viele Beispiele aufgeführt, etwa das Thermometer, das nicht die Wärme mißt, wie man vom Ausdruck her vermuten würde, sondern die Temperatur bzw. die Temperaturänderung. Das Gerät wurde um 1700 entwickelt und "getauft", ehe man den Unterschied zwischen Wärme und Temperatur verstanden hatte. Verwirrung stiftet die doppelte Verwendung eines Ausdrucks für ein Gerät und für eine physikalische Größe; der "Widerstand" spielt dabei auch in der Schulphysik eine Rolle, während "Kapazität" in der doppelten Bedeutung nur im Laborchargon vorkommt.

Begriffsbildungen in der Physik enthalten ein gemeinschaftsbildendes Element, wenn Geräte, physikalische Größen, Gesetze, Regeln, Konstanten nach Physikern benannt werden. Für Außenstehende (z.B. Schüler und Studenten), die nicht zu dieser Gemeinschaft zählen, sind derartige Begriffsbildungen nicht sehr hilfreich, weil ihnen das zivilisatorische sowie das zeitliche Umfeld und vor allem der experimentelle oder theoretische Hintergrund nicht bekannt sind, die zur Namensgebung führten.

So haben sicher eine ganze Reihe jüngerer Kollegen Mühe, den ersten Satz aus RÖNTGENs erster Mitteilung über seine Entdeckung vollständig zu verstehen:

"Läßt man durch eine Hittorfsche Vakuumröhre oder einen genügend evakuierten Lenardschen, Crookeschen oder ähnlichen Apparat die Entladungen eines größeren Ruhmkorffs gehen..."

Was ist ein "Ruhmkorff"? Was bedeutet "größerer Ruhmkorff", was bedeutet "genügend evakuiert"?

Ich möchte an diesem Beispiel nur zeigen, daß in der Physik, mehr als in anderen Wissenschaften, Geräte entwickelt wurden, die nach ihren Erfindern und Erbauern benannt wurden. Für Lernende, die mit dem historischen Kontext nicht vertraut sind, sind solche Benennungen eher hinderlich, weil die Namen weder auf die Verwendung, noch auf die zugrundeliegenden Funktionsprinzipien hindeuten, - wie im Falle des "Ruhmkorff". Auch heute noch wird mit dem "Fabry-Perot", dem "van de Graaff", dem "Nicol", der "Lummer-Gehrcke Platte" gearbeitet, in der Schulphysik verwendet man den "Faradaykäfig" und die "Wheatstonesche Brücke".

Heutzutage wird diese "Modeerscheinung" des 19. und des beginnenden 20. Jahrhunderts durch eine andere ersetzt, die das Lernen ebenfalls erschwert: häufig werden Bauteile, Geräte, Forschungsstätten und Forschungsprogramme durch Anfangsbuchstaben des i.a. englischen Ausdrucks gekennzeichnet: ein LDR, ein IC, LASER, JET. Dabei ist die Bezeichnung "LASER" bereits ein Ausdruck der Umgangssprache geworden. Obwohl nur Fachleuten die in diesem Kürzel enthaltene Beschreibung der Funktionsweise des Geräts erkennbar ist, dürften viele Laien eine richtige Zuordnung "LASER: ist ein spezielles optisches Gerät", leisten können, eben weil es Eingang in die Lebenswelt gefunden hat.

2. BRÄMER/CLEMENS (1980) haben die Physik sarkastisch als Fremdsprache bezeichnet, weil nicht nur in Schulphysikbüchern, sondern häufiger noch im Physikunterricht mehr neue Ausdrücke eingeführt werden als üblicherweise im Fremdsprachenunterricht.

In dem von BRÄMER/CLEMENS analysierten Physikbuch der Sekundarstufe I werden pro Wochenstunde 250 neue Vokabeln in einem Schuljahr eingeführt, d.h. 6-7 neue Vokabeln pro Unterrichtsstunde. Dagegen müssen im bundesdeutschen Fremdsprachenunterricht nur 70 bis 200 Vokabeln pro Wochenstunde in einem Schuljahr gelernt werden, je nach Schulform und Schulstufe.

Könnte die Schulwirklichkeit des Physikunterrichts ein anderes Bild ergeben? Bei der Auswertung von Videoaufnahmen kamen PETERSON und SCYMANSKI ((1973) zit. nach BRÄMER/CLEMENS (1980)) sogar auf 8-12 neue Vokabeln pro Physikstunde.

Wir haben bisher einen verhältnismäßig oberflächlichen Aspekt betrachtet: eine quantitative Analyse der Sprache in Physikbüchern. Neuerdings hat RÜHL (1991) mit sprachanalytischen Methoden Merksätze zur Mechanik in Physikbüchern für die Hauptschule untersucht und in

diesem Zusammenhang auf syntaktische und semantische Probleme aufmerksam gemacht, die das Lernen der Physik erschweren. So sind z.B. 2/3 der verwendeten Nomen als physikalische Fachtermini aufzufassen, die Hälfte als umgangssprachliche Ausdrücke. Das bedeutet, daß etwa 1/6 der Ausdrücke beiden Sprachen angehören, der Umgangssprache und der Fachsprache, aber mit unterschiedlicher Konnotation³. Während die Ausdrücke der Umgangssprache bildhafte Vorstellungen hervorrufen⁴ und dadurch auch wiedererinnert werden können, sind die physikalischen Ausdrücke unanschaulich durch die dem Fach immanente Tendenz zur Abstraktion. Verglichen mit dem Erlernen einer Fremdsprache erscheint das Erlernen der Physik als schwieriger, weil in der Fremdsprache verhältnismäßig einfache, mit bildhaften Vorstellungen belegte Gegenstände und Strukturen aus der Lebenswelt gelernt werden. Dagegen geht es im Physikunterricht um das Lernen abstrakter und "theoriegeladener" Begriffe. Die damit verbundenen Schwierigkeiten möchte ich im folgenden illustrieren.

3. Die vielschichtige Vernetzung der Physik

Bei den folgenden Erörterungen geht es um den vielleicht wichtigsten Wesenszug der Physik, der das Lernen erschwert: **die Vernetzung experimenteller und theoretischer Gegebenheiten führt zu einer komplexen Methodologie, zu schwierigen Begriffsbildungen, zu schwierigen Interpretationen physikalischer Begriffe.**

Ich möchte hierzu zwei Aspekte näher betrachten:

- die "geschichtete" Bedeutung der physikalischen Begriffe, die man als "theoriegeladen" (HANSON 1965) bezeichnet.

- die Komplexität der physikalischen Methode, die mit "induktiv" vollkommen unzureichend beschrieben ist.

1. Auch bei der Einführung von einfach erscheinenden physikalischen Begriffen muß man mit Schwierigkeiten rechnen, weil diese "theoriegeladen" sind. Das heißt, daß auch Begriffe wie "Kraft", "Energie", "Masse" oder "Elektron" auf dem Hintergrund von u.U. ganz unterschiedlichen physikalischen Theorien interpretiert werden können⁵.

Ich möchte den Ausdruck "theoriegeladen" am Beispiel der historischen Entwicklung des Massebegriffs kurz erläutern (s. JAMMER 1964):

In der aristotelischen Physik enthält der Begriff Masse weder den Aspekt "Quantität der Materie" noch den Aspekt "Trägheit". In der klassischen Physik definiert NEWTON (Def.1): $m = \rho \cdot V$. In der folgenden Zeit wird, beginnend mit EULER, aus dem 2. Newtonschen Axiom die "träge Masse" entwickelt: $m = F/a$. Auch in der heutigen Physik ist die Trägheit ein wesentlicher Aspekt der Masse.

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts entwickelt OSTWALD den "energetischen" Massebegriff. Demnach ist die Masse nur ein Aspekt der Energie. EINSTEINs berühmte Formel $E = m \cdot c^2$ stellt einen Zusammenhang, die Äquivalenz von Masse und Energie her. "Masse" ist nun keine Erhaltungsgröße mehr wie bei LAVOISIER, denn man kann die newtonsche "Masse" in

Energie umwandeln; nur für die Energie gilt nun noch ein Erhaltungssatz.

In der speziellen Relativitätstheorie erhält die Masse eine weitere Eigenschaft: Die Masse ist abhängig von der Bewegung des Körpers. Wenn sich ein Körper mit Lichtgeschwindigkeit bewegen würde, würde die träge Masse unendlich groß.

Noch komplexer ist der Begriff der "schweren Masse" und deren notwendige Äquivalenz mit der trägen Masse in der allgemeinen Relativitätstheorie. Schließlich sei erwähnt, daß es bisher noch nicht gelungen ist, die Schwere (Gravitation) in eine allgemeine vereinheitlichte Feldtheorie zu integrieren.

Dieses Beispiel zeigt, daß "Masse" in unterschiedlichen Theorien eine unterschiedliche Bedeutung haben kann und daß sogar in der klassischen Mechanik mindestens zwei verschiedene Bedeutungen existieren, die Auffassung NEWTONs und die Auffassung EULERs. Das bedeutet letztlich auch, daß man die "theoriegeladenen" Begriffe der Physik nur dann verstehen kann, wenn man die gesamte Theorie verstanden hat. Aber kann man die gesamte Theorie verstehen, wenn man deren Begriffe noch nicht verstanden hat? Ein vitiöser Zirkel? Ich komme in Abschnitt 5 noch einmal darauf zu sprechen.

2. Die Bezeichnung "physikalische Methode" hat zumindest zwei Bedeutungen. Im weiteren Sinne ist damit eine allgemeine Charakterisierung der Physik gemeint, die diese als Naturwissenschaft kennzeichnet.

Im engeren Sinne sind typische Tätigkeiten gemeint, wie "beobachten", "Daten registrieren", "Daten darstellen" usw., also ein Bündel an Fähigkeiten,- das Handwerkszeug des Physikers.

Die Wissenschaftstheorie hat sich in den vergangenen 30 Jahren recht intensiv mit diesem Problemkreis befaßt, und sie hat in einigen Punkten sogar einen gewissen Konsens erzielt.

Das betrifft insbesondere die Kritik an der sogenannten "induktiven Methode"⁶. Dieser folgend wäre die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung recht einfach: Seit Francis Bacon im Jahre 1620 diesen induktiven Weg der Naturwissenschaften beschrieb und als notwendig postulierte für erfolgreiches naturwissenschaftliches Arbeiten, blieb dieser Ausdruck für Jahrhunderte das beherrschende Schlagwort, um die Naturwissenschaften im Unterschied zu anderen Fakultäten zu charakterisieren.

Die induktive Methode,- der Schluß von besonderen Sätzen (die z.B. mit experimentellen Daten zusammenhängen) auf allgemeine Sätze (z.B. auf physikalische Gesetze und Theorien)-, erwies sich bei genauerer Betrachtung als Simplifizierung oder auch Trivialisierung des in der Physik sinnvollen und notwendigen Vorgehens.

Die Kritik⁷ möchte ich im folgenden skizzieren (s. VOLLMER 1988, 22):

Warum soll in der Physik nicht möglich sein, was in der Mathematik ein anerkanntes Beweismittel ist? Oder anders gefragt: Warum ist der Schluß von n auf $n + 1$ in der Mathematik möglich und in der Physik nicht, jedenfalls nicht im Sinne eines Beweises?

Soweit die Mathematik eine **formale Strukturwissenschaft** ist, stecken die möglichen Ergebnisse im Grunde schon in den Prämissen. Ein solchermaßen abgeschlossenes System ist aus wissenschaftstheoretischer Sicht **wahrheitsbewahrend**, aber **nicht** im engeren Sinne **gehalts-**

erweiternd.

Ganz anders geartet ist die Physik. Als **empirische Strukturwissenschaft** sind ihre Ergebnisse offen. Die möglichen Ergebnisse können nicht wie in der Mathematik logisch aus ihren Prämissen gefolgert werden, es sei denn, es werden spezielle, sogenannte protophysikalische Annahmen über das "Wesen" der Realität gemacht.

Ich möchte zwei protophysikalische Annahmen erwähnen, auf denen u.a. auch die induktive Methode in den Naturwissenschaften basiert (s. z.B. HARTMANN 1959, 117 f.).

1. Annahme: Die Gleichförmigkeit des Naturgeschehens, die in der These "Die Natur macht keine Sprünge" zusammengefaßt wurde.

Heutzutage aber würde ein Physiker eher der Antithese zustimmen: Auf der mikrophysikalischen Ebene macht die Natur nur noch Sprünge.

2. Annahme: Die durchgängige Kausalität im Naturgeschehen mit eindeutigen Folgen. Aber: In der Mikrophysik und in der Kosmologie mußte "Kausalität" neu interpretiert werden. Für den Zerfall eines Atomkerns zu einem bestimmten Zeitpunkt gibt es keine "Ursache" im klassischen Sinne. MITTELSTAEDT (1966, 157) spricht im Zusammenhang mit dem Kausalitätsgesetz in der Quantenmechanik von "nicht anwendbar" in bestimmten Fällen.

Die sogenannte "induktive Methode" liefert nicht mehr als Hypothesen. Diese Hypothesen mögen psychologisch plausibel sein, indem sie von der Erfahrung der Lebenswelt ausgehen. In dieser existiert dem Anscheine nach Stetigkeit und uneingeschränkte Kausalität und auch Isomorphie zwischen dem Vorhandenen, dem Wahrgenommenen und dem wissenschaftlich Gedachten.

Die heutige Physik nimmt keine Isomorphie an zwischen Realität und physikalischen Theorien, das heißt auch, daß man von den Daten als Äußerungen der Realität keine durchgängigen und eindeutigen Schlüsse auf die theoretische Ebene ziehen kann, wie es im Zusammenhang mit der "induktiven Methode" suggeriert wird. Die naturwissenschaftliche Methodologie ist daher nicht "einfach", sondern äußerst komplex. Man umschreibt sie zwar mit hypothetisch-deduktiv zutreffend. Aber an dem damit zusammenhängenden Verfahren der **Falsifikation durch Entscheidungsexperimente** von POPPER (1976^b) wurde ebenso Kritik geübt, wie an dem neueren Interpretationsmuster von KUHN (1976^c), wonach **naturwissenschaftlicher Fortschritt durch "naturwissenschaftliche Revolutionen" und durch "Paradigmenwechsel"** erfolgt.

FEYERABEND (1986) hat sich gegen jeden Methodenzwang ausgesprochen und kam in seinen wissenschaftshistorischen Analysen zu dem Ergebnis: Anything goes. Er wendet sich damit vor allem gegen Wissenschaftstheoretiker, die glaubten, die empirischen Wissenschaften in ein Schema pressen zu können, wie etwa das Schema "induktive Methode". Wegen der geforderten Gehalterweiterung in den Naturwissenschaften genügt keine Routine und kein Algorithmus. Gefordert ist immer Kreativität in einem Wechselspiel zwischen Theorie und Experiment; und die wissenschaftliche Kreativität kann sich z.B. auch so äußern, daß ein Wissenschaftler "kontrainduktiv" vorgeht, das heißt, "Hypothesen einzuführen und auszubauen, die gut bestätigten Theorien und/oder Tatsachen widersprechen" (FEYERABEND 1986, 33).

3. Wenn derartige Fragen zur Methodologie in der Physik auch von nachgeordneter Bedeutung für das Physiklernen in der Schule zu sein scheinen, so verhindert die komplexe Methodologie dieser Wissenschaft zumindest, daß Physik dort auf einfache Weise gelernt werden kann. So kann man beispielsweise nicht erwarten, daß die Übertragung etwa des pädagogischen Prinzips "learning by doing" in Form von Schülerexperimenten im Physikunterricht unmittelbar fruchtbar wird.

Auch diese wissenschaftstheoretische Diskussion kann hier nicht weiter vertieft werden: Es kam mir darauf an, **die vielschichtige, von Theorien abhängige Bedeutung physikalischer Begriffe**, sowie den **nicht sinnvoll schematisierbaren Zusammenhang von Theorie und Experiment** aufzuweisen. Beides trägt zur Schwierigkeit der Physik bei.

4. Die strukturelle Offenheit der Physik

1. In bisherigen physikdidaktischen Diskussionen wurde dem erkenntnistheoretischen Status physikalischer Aussagen und deren mögliche Auswirkungen auf Motive für das Physiklernen und auf Einstellungen zur Physik und zum Physikunterricht nur wenig Bedeutung beigemessen. Natürlich ist die Frage in der Physik und in der Physikdidaktik nicht neu: Kann die Physik die Realität umfassend darstellen und erklären oder gibt die Physik nur einen Aspekt der Wirklichkeit, eben den physikalischen wieder? Physiker wie MACH, HEISENBERG, EINSTEIN und BORN beschäftigten sich mit derartigen erkenntnistheoretischen Fragen.

Der "Positivist" MACH hielt "Atome" für eine reine Fiktion, ein Gedankenmodell, weil man Atome nicht "positiv", d.h. unmittelbar nachweisen bzw. beobachten konnte. HEISENBERG war von PLATONS Timaios beeinflusst, für ihn waren nur die mathematischen Strukturen von Invarianten "wirklich". EDDINGTON zitierend, meint HEISENBERG, der Physiker findet letztlich "nur seine eigene Spur", - also eine agnostische Auffassung.

EINSTEIN suchte viele Jahre nach "verborgenen Variablen", um die Quantentheorie auf realistischer Basis zu interpretieren, weil er in der Kopenhagener Deutung ein Grundaxiom der Physik verletzt sah, die durchgängige Kausalität in allen physikalischen Vorgängen. Einsteins trotziges: Gott würfelt nicht, drückt dies aus. BORN dagegen, der Schöpfer der statistischen Interpretation der Quantentheorie, konnte dies mit seiner realistischen Grundeinstellung vereinbaren. Gegen HEISENBERG und BOHR gerichtet, meinte er: Elektronen haben zwar nicht alle Eigenschaften gewöhnlicher Objekte, "aber sie haben genug wohlbestimmte Eigenschaften, um es uns zu erlauben, ihnen in gleicher Weise Realität zuzuschreiben wie einem Hunde" (BORN 1957⁴, 111).

Sind die Elementarteilchen unserer Zeit, Quarks oder "Super Strings" nur Fiktionen, sind es "Beschreibungen", aber von was? Kann die Physik überhaupt noch "erklären"?

Ich möchte auf folgendes hinaus: nicht nur in der Philosophie, sondern auch in der modernen Physik gibt es Fragen, die weder der Physiker noch der Philosoph eindeutig, das heißt endgültig gesichert beantworten kann. Diese strukturelle Offenheit, - das heißt einerseits Unabgeschlossenheit, andererseits "kognitive Unerschöpflichkeit" (RESCHER 1987)-, wird insbeson-

dere in der modernen Physik deutlich. Dieser Wesenszug verhindert Prognosen über zu groß gewählte "Grundbereiche" (LUDWIG 1978) und über längere Zeiträume (beliebtes Beispiel: die Wettervorhersage). Das bedeutet, daß die im traditionellen Verständnis der Physik innewohnenden Fähigkeiten, nämlich zu "erklären" und genaue Voraussagen machen zu können, in der Physik des Mikrokosmos und des Makrokosmos "nur" noch eingeschränkt vorhanden sind. Die moderne Physik gibt Anlaß, von einem "kritischen" oder "hypothetischen Realismus" auszugehen. In beiden Ausprägungen des Realismus sind isomorphe Beziehungen zwischen Realität und physikalischer Theorie nur ein unerreichbares Ideal.

2. Was bedeutet das für die Physikdidaktik?

Einerseits weisen Schüler in einer bestimmten Entwicklungsphase Züge des naiven Realismus auf (s. z.B. OERTER 1977¹⁷) und erwarten daher von der Physik ein eindeutiges Bild der Realität. Für den Schüler kann dieses Erklären letzter Zusammenhänge das Hauptmotiv für das Physiklernen sein, das Faustsche Motiv, 'Sehen was die Welt im Innersten zusammenhält', die Suche nach "Wahrheit" in der physischen Welt.

Wenn nun andererseits Schüler oder Studenten heterogene Antworten oder eine einschränkende Antwort bezüglich dieses Motivs erhalten, etwa im Sinne des hypothetischen Realismus, könnte dies für solche Lernende zur **Sinnfrage für das Physiklernen** werden, zumindest aber Physiklernen erschweren (s. JUNG 1982).

Führt dies zu Enttäuschungen und zur Sinnkrise im Physikunterricht?

Bisher gibt es noch keine empirischen Untersuchungen, die sich unmittelbar mit einer solcherart begründeten "Sinnkrise" des Physikunterrichts befaßt haben.

5. Implizites Wissen in der Physik

1. Neben den in Publikationen aller Art festgelegten expliziten theoretischen und experimentellen Wissensbeständen existiert in der Physik wie in allen anderen komplexen kulturellen und zivilisatorischen Bereichen ein personengebundenes implizites Wissen, das aus verschiedenen Gründen nicht dargestellt ist. Implizites Wissen ist

- unerschwellig, nicht bewußt und daher nicht darstellbar
- nur durch personale Vermittlung lernbar, nicht durch mediale.

Beide Aspekte weisen anscheinend auf etwas für Naturwissenschaften Untypisches hin, das Einfühlungsvermögen in das Fach.

Die Rolle des Einfühlungsvermögens für Lernen und Verstehen ist für die Geisteswissenschaften charakteristisch. DILTHEY ging so weit, daß er etwa das Verstehen eines literarischen Werkes nur dadurch ermöglicht sah, daß der Lernende das Schaffen des Dichters noch einmal durchlebte. Das "Einfühlungsvermögen", in Ansätzen methodisierbar in einem "hermeneutischen Zirkel" (s. STEGMÜLLER 1986, 63 ff.), wird üblicherweise als eine Trennungslinie

zwischen Geisteswissenschaften und Naturwissenschaften betrachtet. Denn nur die ersteren sind darauf angewiesen und letzere gelten als objektiv, d.h. auch unzweideutig, explizit darstellbar.

Für POLANYI besteht das implizite Wissen allerdings nicht nur aus "Einfühlungsvermögen". Er bezieht eine wesentliche Grundlage der Naturwissenschaften, die Wahrnehmung in den Bereich des impliziten Wissens mit ein. Denn aus psychologischen Untersuchungen ist bekannt, daß nicht bewußte, aber trotzdem im Gehirn gespeicherte Wahrnehmungen existieren. Allein schon aus diesem Grunde kann man davon ausgehen, daß es auch implizites Wissen gibt, das speziell die Physik betrifft.

POLANYIs Theorie nimmt implizites Wissen für alle Wissenschaften an und nicht nur als Marginalie oder als notwendiges Übel. Das implizite Wissen ist die notwendige Voraussetzung für wissenschaftlichen Fortschritt; ohne implizites Wissen ist kein Fortschritt möglich. Die Wissenschaft würde sich selbst zerstören, wenn implizites Wissen ausgeschlossen würde. Denn nach POLANYIs Auffassung liegt es der Fähigkeit eines Wissenschaftlers zugrunde,

1. ein Problem richtig zu erkennen
2. diesem Problem nachzugehen und sich bei Annäherung an die Lösung von seinem Orientierungssinn leiten zu lassen
3. die noch unbestimmten Implikationen der endlich erreichten Entdeckung richtig zu antizipieren" (POLANYI 1985, 30).

Das naturwissenschaftliche Fingerspitzengefühl und die damit zusammenhängende Kreativität des Wissenschaftlers wird hier als eine Folge des impliziten Wissens interpretiert.

2. Neben Aspekten, die alle Wissenschaften betreffen, gibt es, wie oben angedeutet, ein implizites Wissen der Physik im experimentellen Bereich. Dieses muß noch nichts mit den großartigen Versuchen zu tun haben, die die Entwicklung der Physik wesentlich beeinflussten, wie etwa der MICHELSON Versuch oder die Untersuchungen RÖNTGENs. Implizites handwerklich -technisches Wissen ließen den Mechaniker RUHMKORFF ein Hochspannungsgerät erfinden, das schließlich für RÖNTGENs Entdeckung verwendet wurde. Der Experimentalphysiker weiß, was "genügend evakuiert" bedeutet (im Zusammenhang mit Elektronen, die Röntgenstrahlen erzeugen). Und RÖNTGEN wußte, daß er darüber keine ausführliche Abhandlung schreiben mußte, damit ein Physiker seiner Zeit das Experiment wiederholen konnte.

Fingerspitzengefühl benötigt beispielsweise auch ein Vorlesungsassistent, damit gewisse raumzeitliche Änderungen physikalischer Objekte tatsächlich synchron zur Vorlesung stattfinden. Das heißt, relevantes implizites Wissen hat nicht nur der Nobelpreisträger; es existiert im Grunde in jedem Labor, an jedem Schreibtisch, in allen Werkstätten eines physikalischen Instituts.

3. Betrachten wir schließlich den Physikunterricht in der Schule: Physik unterrichten ist schon deshalb schwieriger als andere Fächer, die nicht mit Experimenten arbeiten, weil der Lehrer auch über **implizites Wissen der Schulversuche** verfügen muß. Dieses ist nicht nur sehr umfangreich, sondern auch anders geartet als theoretisches Wissen. Auch **die Fähigkeit, individuell zugeschnittene physikalische Erklärungen zu geben, hängt vom Einfühlungsvermögen in das Vorwissen und die Denkweisen der Schüler ab.** Hinzu kommt das vorwiegend **implizite Wissen über das Unterrichten**, das in Schulpraktikas und im Referendariat erworben werden soll.

Das führt zu der Frage: Kann man das explizite Wissen der Physik ohne implizites Wissen verstehen?

Die Antwort könnte wichtig für den Physikunterricht werden und damit zusammenhängend auch für die künftige Ausbildung der Physiklehrer. Meine Auffassung hierzu ist eindeutig: da implizites Wissen eine notwendige Voraussetzung für das **Verständnis** der Physik ist, muß man in der Schule auch Gelegenheiten schaffen, um diese Art von Wissen zu ermöglichen. Nur wenn man sich auf Auswendiglernen, auf Reproduktion des expliziten Wissens beschränken würde, könnte man auf das implizite Wissen verzichten. Aus dieser Sicht sind **Schülerversuche nicht nur im Zusammenhang mit sogenannten Prozeßzielen wichtig, sondern vor allem für den Erwerb impliziten Wissens, zum Beispiel für Fingerspitzengefühl, Sensibilität für und über die physischen Realitäten.**

6. Abschließende Bemerkungen

Wir haben unterschiedliche Gründe gefunden, die das Physiklernen schwierig machen: die Physik ist eine ergebnisoffene, vielschichtige Disziplin, deren Komplexität und deren implizites Wissen sich in Zukunft eher noch erhöhen dürfte. Daher möchte ich keine Hoffnungen wecken, daß die Physik an der Schule oder der Hochschule irgendwann einmal leicht zu lernen ist.

Leichter als bisher wäre Physik zu lernen, wenn die Sprache in Lehrveranstaltungen und in den Physikbüchern verständlicher wäre. Das gilt insbesondere für die Schulphysikbücher, weil deren Leser einerseits mit alltagssprachlichen Vorstellungen diese Texte lesen und weil andererseits die gleichlautenden fachsprachlichen Ausdrücke eine andere Bedeutung haben.

Aus empirischen Untersuchungen (s. PFUNDT; DUIT 1991) glauben wir zu wissen, daß Physiklernen schwieriger ist als das Erlernen anderer Fächer, weil sich kognitive Strukturen und Einstellungen über die physische Welt bereits entwickelt haben, wenn der Physikunterricht beginnt. Diese sind im allgemeinen unverträglich mit physikalischen Interpretationen der Welt. Da die ursprünglichen Vorstellungen und Denkrahmen häufig stabil sind, können sie durch den Physikunterricht nicht verdrängt werden.

Für den Bereich der Schulphysik geben die Untersuchungen über die Schülervorstellungen allerdings auch Fingerzeige für methodische Alternativen: manche Lehrer müssen einsehen, daß die Physik dem Schüler gar nicht aufgetrocknet werden kann. Vielmehr müssen seitens des Lehrers physikalische Sachstrukturen entwickelt werden, die sich stärker an den Schülervorstellungen orientieren als an der Fachsystematik. Dadurch könnte der Physikunterricht nicht nur effektiver werden, sondern auch für viele Schüler humanere Züge gewinnen.

Literatur

ANDERSON, J. R.: Kognitive Psychologie. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft, 1989².

BORN, M.: Physik im Wandel meiner Zeit. Braunschweig: Vieweg, 1957¹.

BRÄMER, R./ CLEMENS, H.: Physik als Fremdsprache. PU 14, Heft 3, 1980, 76 -86.

FEYERABEND, P. K.: Der wissenschaftstheoretische Realismus und die Autorität der Wissenschaften. Braunschweig: Vieweg, 1978.

FEYERABEND, P. K.: Wider den Methodenzwang. Frankfurt: Suhrkamp, 1986.

- GERLACH, W.: Die Sprache der Physik. Köln: Aulis, 1962.
- HANSON, N.R.: Patterns of Discovery. Cambridge: University Press, 1965.
- HARTMANN, M.: Die philosophischen Grundlagen der Naturwissenschaften Stuttgart: Fischer, 1959.
- JAMMER, M.: Der Begriff der Masse in der Physik. Wissenschaftliche Buchgesellschaft: Darmstadt, 1964.
- JUNG, W.: Über die Schwierigkeit Physik zu lernen. Phys.did., Heft 2, 1982, 135 - 157.
- KIRCHER, E.: Über einige erkenntnistheoretische Fragen der Physikdidaktik. In: WIESNER, H. (Hrsg.): Aufsätze zur Didaktik der Physik II. Bad Selzdetfurth: Franzbecker, 1991, 99 - 113.
- KUHN, T. S.: Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen. Frankfurt: Suhrkamp, 1976².
- LUDWIG, G.: Die Grundstrukturen einer physikalischen Theorie. Berlin: Springer, 1978.
- MITTELSTEDT, P.: Philosophische Probleme der modernen Physik. Mannheim: Bibl. Institut, 1966.
- OERTER, R.: Moderne Entwicklungspsychologie. Donauwörth: Auer, 1977¹⁷.
- PETERSEN, G.: Zum Prinzip einer didaktischen Induktion. Päd. Rund. 31, 1977, Heft 2, 103 - 125, Heft 3, 183 - 210.
- PFUNDT, H./ DUIT, R.: Bibliography of student's alternative conceptions and science education. Kiel: IPN, 1991.
- POLANYI, M.: Implizites Wissen. Frankfurt: Suhrkamp, 1985.
- POPPER, K. R.: Logik der Forschung. Tübingen: J.C.B. Mohr, 1976⁶
- RESCHER, N.: Scientific Realism. A critical reappraisal. Dordrecht: Reidel, 1987.
- RÜHL, A.: Sprachanalyse von Merksätzen in Physikbüchern am Beispiel: Mechanik in der Hauptschule. Schriftliche Hausarbeit für das 1. Staatsexamen. Universität Würzburg, 1991.
- SIEGL, E.: Das Novum Organon von Francis Bacon. Universität Innsbruck, 1983.
- STEGMÜLLER, W.: Das Problem der Induktion: HUMES Herausforderung und moderne Antworten. Der sogenannte Zirkel des Verstehens. Darmstadt: Wiss. Buchgesellschaft, 1986.
- VOLLMER, G.: Was können wir wissen? Bd. 1. Stuttgart: Hirzel, 1988.

Anmerkungen

1. Der vorliegende Aufsatz ist eine überarbeitete Fassung des gleichnamigen Kolloquiumsvortrags, den der Verfasser am 10.12.1990 am Physikalischen Institut der Universität Würzburg gehalten hat.
2. Eine andere Seite des Problems, die mit den Lernvoraussetzungen des Schülers zusammenhängen, kann hier aus Platzgründen nicht weiter ausgeführt werden. Über diese adressatenspezifischen Schwierigkeiten des Physiklernens wurden in den vergangenen zwanzig Jahren weltweit empirische Untersuchungen durchgeführt, an denen sich auch aus dem deutschen Sprachraum eine ganze Reihe von Physikdidaktikern beteiligten (s. DUIT/ PFUNDT 1991).
3. RÜHL (1991) erläutert dies am Beispiel des Begriffs "Körper", der als physikalischer Fachausdruck sehr abstrakt definiert ist, der aber in der Umgangssprache ein sehr konkretes, u.a. auf den Menschen bezogenes Bedeutungsumfeld hat.
4. Dieses Argument findet sich in psychologisch elaborierter Form z.B. bei ANDERSON (1989²). Lernprozesse sind bei Kindern vor allem mit bildhaften Vorstellungen (Vorstellungsbildern) verknüpft.
5. FEYERABEND (1978) und KUHN (1976²) gehen so weit, daß sie den Ausdruck "Masse" in der klassischen Mechanik und in der Relativitätstheorie für so verschieden halten, daß ein mit der Relativitätstheorie vertrauter (z.B. der Lehrer) und ein in den Vorstellungen der klassischen Mechanik Denkender (z.B. ein guter Schüler der gymnasialen Oberstufe) sich nicht mehr verständigen können, weil die Bedeutungen "inkommensurabel" sind und Lehrer und Schüler daher aneinander vorbeireden.
6. Siehe die ausführlichen Diskussionen von PETERSEN (1977), STEGMÜLLER (1986) und SIEGL (1983) oder die Zusammenfassungen von VOLLMER (1988, 22 ff.).
7. Neben den im folgenden aufgeführten Argumenten existiert noch ein logisches Argument gegen die induktive Methode, das auf HUME (1740) zurückgeht: Man müßte für den Induktionsschluß die Gültigkeit eines Induktionsprinzips voraussetzen. Man gerät damit in einen Zirkelschluß oder in eine unendliche Begründungskette; beides ist logisch unzulässig (s. z.B. VOLLMER (1988, 21).