

ARBEITSKREIS BAYERISCHER PHYSIKDIDAKTIKER

BEITRAG AUS DER REIHE:

Werner B. Schneider (Hrsg.)

Wege in der Physikdidaktik

Band 4

ISBN 3 - 7896 - 0588 - 9

Verlag Palm & Enke, Erlangen und Jena 1998

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.

R. Fichtner

Physik verstehen - was ist das?

Verstehen von Physik ist ein vielschichtiges Phänomen. Wenn wir von Physik reden, denken wir in der Regel nur an die Theorien, die Experimente, an die Labors, wissenschaftlichen Institutionen, Universitäten oder Forschungseinrichtungen der Industrie. Hier haben wir allein explizite Elemente der Physik vor uns. Die geistigen (mentalen) Prozesse, die im Bewußtsein eines Menschen Physik „erzeugen“, weiterentwickeln oder auch nur „vergegenwärtigen“ und zu denen >Physik verstehen< gehört, sind dabei ausgeklammert, weil sie nicht alle und dauernd explizit sind, sondern nur oder doch wenigstens meist implizit wirken. Allzuoft wird Verstehen einfach mit >Erklären< gleichgesetzt oder verwechselt. Erklären setzt immer schon ein (gewisses) Verstehen voraus; umgekehrt kann (tieferes) Verstehen die Folge einer Erklärung sein. Eine Erklärung - etwa die des Tunneleffektes - kann man in einem Buch finden, Verstehen dagegen nicht. Diesen Unterschied macht schon unsere Sprache deutlich: Man spricht zwar von >Erklär-ung<, aber nicht von >Versteh-ung<. Verstehen ist etwas Personales, also keine von einer Person abgetrennte „Eigenschaft“, kein von einer solchen losgelöster „Zustand“ oder „Prozeß“; Erklärungen sind dagegen etwas Intersubjektives, Aussagbares und daher Kommunizierbares. >Physik verstehen< ist eine Art geistiger Zustand eines Menschen (Disposition) und ein Physiker ist ein Mensch, der darüber besonders umfassend und ausgeprägt verfügt („Er versteht sich auf die Physik“).¹ Notizen, Papers, Zeitschriften, Bücher etc. könnte man allein als „Stützen“ bzw. intersubjektive „Äußerungen“ dieses Zustandes ansehen, auf die man intersubjektive Kriterien anwenden kann, ob oder wie gut Physik verstanden worden ist.

¹ Ich bleibe hier bei dieser Ausdrucksweise, weil sie ausreicht, um einen Gegensatz zu formulieren, obwohl sie ihre Tücken hat. *L. Wittgenstein* bestreitet in den >*Philosophischen Untersuchungen*< (PU), daß das Bild vom >inneren Vorgang< uns die richtige Idee von der Verwendung des Wortes >Verstehen< gibt. Es verhindere geradezu, die „Verwendung des Wortes zu sehen, wie sie ist“ (PU, 305). Er argumentiert, daß die unaufgedeckte „Strategie“, daß wir von „Vorgängen“ und „Zuständen“ reden, deren Natur wir einfach unentschieden lassen, in der Hoffnung, daß wir sie einmal kennen werden (PU, 308), die gesamte weitere Behandlung des Problems schon festschreibe. Die eigentlich unverstandene Verwendung des Wortes >Verstehen< wird also „als Ausdruck eines seltsamen *Vorganges* gedeutet (wie man sich die Zeit als ein seltsames Medium, die Seele als seltsames Wesen denkt“ (PU, 196), als Ausdruck eines (eventuell neuronalen) „Mechanismus“. Damit sei aber nichts gewonnen: „Ein >innerer Vorgang< bedarf äußerer Kriterien.“ (PU, 580). Seiner These: „Die Bedeutung eines Wortes ist sein Gebrauch in der Sprache“ (PU, 43) für eine große Klasse von Fällen des Gebrauchs des Wortes >Bedeutung< werden wir in dieser Untersuchung in gewisser Weise folgen, indem wir den *falschen Gebrauch von Wörtern* studieren.

Wird damit die Physik zu einem Teilgebiet der Psychologie? Natürlich nicht - der fragliche geistige Zustand ist vielmehr (je nach weltanschaulichem oder philosophischem Standpunkt) dadurch charakterisiert, daß er auf Realität gerichtet ist bzw. daß er Realität repräsentiert oder wenigstens versucht, zu einem bestimmten Zweck (etwa technisches Handeln oder Erkenntnis) Realität zu konstruieren bzw. zu rekonstruieren.

Entgegen weitverbreiteter Meinung arbeiten Physiker weniger nach abstrakten Regeln - obwohl man solche durchaus abstrahieren kann - als vielmehr „nach Vorbildern, die sie sich durch die Ausbildung und die spätere Beeinflussung durch die Literatur angeeignet haben“². Sie erlernen ihr „Handwerk“ im wesentlichen informell und wenden es auch meist so an. Dieses >Physik machen< oder >Physik können< bedeutet gleichzeitig ein >Physik verstehen< (>internes Verstehen<), das nicht unbedingt ein ausgesprochenes und reflektiertes Verstehen in dem Sinne ist, daß es leicht artikuliert werden könnte. Es schlägt sich vielmehr nieder in der Fähigkeit oder der Kompetenz (dem sog. „know how“), ein gestelltes Problem fachmännisch anzugehen bzw. über eine vorgeschlagene Lösung angemessen zu urteilen, und das ist eben ein individuell-persönliches „implizites Wissen“, das dann zu einer expliziten Begründung (Erklären) benützt wird. Das >Verstehen von Physik< bei Laien muß dagegen aus dem Verstehen durch Kommunikation, d.h. aus der darlegenden oder reflektierenden Rede von Physikern (im weitesten Sinne des Wortes) resultieren (>externes Verstehen<). Mit Laien meine ich die Gebildeten, die Intellektuellen und Philosophen, aber auch die Schüler und Studenten, soweit sie nicht weit in die Physik eingedrungen sind, aber Physik als Kulturgut verstehen wollen. Meine These ist:

>Verstehen von Physik< hängt nicht nur von dem expliziten, sondern wesentlich auch von implizitem Wissen über Physik ab. Wenn dem so ist, dann hätte das nicht unbeträchtliche Konsequenzen für die Didaktik der Physik. Drei Begriffs-komplexe stehen zur Debatte:

- a) >Verstehen von Physik<
- b) >explizites Wissen<
- c) >implizites Wissen<.

a) Hinter >Physik verstehen< verbergen sich zwei verschiedene Interessen: Der Fachmann muß und will die Physik von „innen“ - als Pragmatiker - verstehen, der Laie von „außen“ - als Interpret. Der Fachmann bezieht sein >Verstehen von Physik< aus dem Physik-Machen, während der interessierte physikalische Laie sein >Verstehen von Physik< letztlich aus der Reflexion über Physik herleitet - sei es, daß er selbst reflektiert oder daß er sich die Reflexionen anderer (Physiker, Naturphilosophen, Lehrer) aneignet.

b) Es ist wohl selbstverständlich, daß alles >explizite Wissen< in der Physik, also die in Büchern oder Zeitschriften dargelegten und diskutierten Theorien, Experi-

² Th. S. Kuhn, Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen, Frankfurt/M., 1978, S. 60

mente etc., die offensichtlichen Voraussetzungen von Verstehen der Physik sind. c) >Implizites Wissen< tut sich, wie schon gesagt, z.B. im sog. „know how“ eines Wissenschaftlers kund; es tritt nicht explizit in Erscheinung, sondern dokumentiert sich nur indirekt im Erfolg seiner Arbeit und der Art und Weise seiner Argumentation. >Implizit< ist nicht gleichbedeutend damit, daß man sich dieses Wissens generell nicht versichern könnte, schon gar nicht, daß man sich darüber keine Gedanken machen sollte. Leider hat eine zu einseitig ausgelegte rationalistische Tradition bei uns dazu geführt, daß die impliziten Prozesse wenig beachtet werden oder schlicht als unwesentlich abgetan, also letztlich verdrängt werden - verdrängt in dem Glauben, daß sie - weil irrational - nicht eigentlich zur Wissenschaft gehören: man befaßt sich ja explizit nur mit der objektiven, rational und klar erkennbaren Realität!

Wie kann man die Behauptung überprüfen, daß die impliziten oder informellen Komponenten auf das >Verstehen von Physik< wesentlichen Einfluß nehmen können? Dazu bietet sich an, die konkret dokumentierte Kommunikation von Physikern untereinander und mit interessierten Laien in der Form von Veröffentlichungen, Vorträgen, Briefen, Aufsätzen, Büchern etc. daraufhin zu untersuchen, wie Kommunikation bzw. Verstehen einerseits gelingt, andererseits erschwert ist oder sogar mißlingt - ja u. U. geradezu mißlingen muß, wenn man die impliziten Komponenten im Verstehensprozeß übersieht oder ignoriert.

Unter dieser Voraussetzung hängt >Verstehen von Physik< an der Kunst der Interpretation in dem ursprünglichen hermeneutischen Sinn, wie sie bei Aristoteles definiert worden ist, nämlich als die Kunst, einen Text sinngerecht zu deuten (siehe Fußnote 15). In der Tat haben wir die Botschaften der Physiker heute fast ausschließlich in Form von Texten gegeben (und das nicht nur für den Laien!). Mit dem Etablieren der Geisteswissenschaften im 19. Jahrhundert wurde die Kunst der Interpretation genuin für diese reklamiert und eine Abgrenzung gegenüber den Naturwissenschaften in der Weise konstruiert, daß man diese als „erklärend“ charakterisierte im Gegensatz zu den „verstehenden“ Geisteswissenschaften. Eine solche Abgrenzung ist aber künstlich: Die Texte von Physikern müssen gleichermaßen interpretiert werden wie Texte in den Geisteswissenschaften, wenn auch unter unterschiedlichen Voraussetzungen. Das mag überraschen, geht man doch gemeinhin davon aus, daß sich die Texte aus der Physik auf etwas beziehen, das sozusagen >objektiv< ist, und sie daher nicht einer verstehenden Interpretation bedürften, da sie eher einer bloßen Protokollierung von sogenannte „Fakten“ gleichkommen.

Um einen Sachverhalt zu verstehen, bedarf es mehr als nur eines den Sachverhalt darstellenden >Textes<. Dieses „Mehr“ nennen wir den >Kontext<. Der Terminus entstammt ursprünglich der Sprachphilosophie und Linguistik und bezeichnet die Umgebung (lat. contextus, Zusammenhang), in die sprachliche Äußerungen eingebettet sind. >Text< und >Kontext< werden hier in einem verallgemeinerten

Sinn gebraucht: Alles, was in der Physik explizit in Form von (schriftlichen) Aussagen, sei es in natürlichsprachlicher (umgangssprachlicher) Form oder in formalsprachlicher (mathematischer) Form vorliegt, wollen wir als >Text< bezeichnen (z. B. die anerkannten Theorien in Lehrbüchern, die Beschreibungen und Interpretationen von Experimenten, aber auch die Hypothesen, Mutmaßungen und Spekulationen, die ausdrücklich formulierbar oder formuliert sind). Das explizit dargelegte Wissen, das im >Text< steht, ist eingebettet in einen umfassenderen >Kontext<. Dazu gehören z.B. die Motive, Hintergrundannahmen, Konzeptionen, Methoden und Normen des wissenschaftlichen Arbeitens und Urteilens, und ebenso die philosophischen, erkenntnistheoretischen, konzeptionellen, historischen und gesellschaftlichen Implikationen der Physik, desgleichen das geistige Klima oder Milieu, das in den wissenschaftlichen Institutionen und Gesellschaften herrscht. Der Kontext enthält das „Selbstverständliche“ bzw. das bereits durch die Praxis selbstverständlich Gewordene der Gemeinschaft der Wissenschaftler (Physiker). Erst >Text< und >Kontext< zusammen machen Physik aus.

Daß dem Kontext eine Funktion zukommt, hat offenbar bereits T. S. Kuhn mit seinem Paradigmabegriff - in der weiten Fassung - zum Ausdruck bringen wollen. I. Lakatos spricht ebenfalls nicht von Theorien, sondern von Forschungsprogrammen³, die eben Text (Theorie) und Kontext (je nach Auslegung mehr oder weniger) umfassen⁴:

Ein Paradigma umfaßt eine Theorie, Modellfälle ihrer erfolgreichen Anwendung metaphysische Hintergrundannahmen über den Gegenstandsbereich der Theorie und methodologische Normen für Begründungen und experimentelle Untersuchungen. Hintergrundannahmen und Normen sind dabei, wie Kuhn betont, nicht explizit formuliert und die intendierten Anwendungen der Theorie sind nicht explizit abgegrenzt, sondern nur paradigmatisch bestimmt durch die Modellfälle erfolgreicher Anwendung.

In der weiteren Fassung des Paradigmabegriffes sind also Hintergrundannahmen, die nicht Teil der Theorie sind, aber in ihren Anwendungen verwendet werden, Auswahlkriterien für die Theorie, die weder empirisch noch logisch sind, Wissenschaftskonzeption und Normen des wissenschaftlichen Experimentierens und Begründens mit eingeschlossen. Daraus wird bereits deutlich, daß der >Kontext< in der Physik offenbar nicht einfach als eine (nur nicht aufgeschriebene und nicht immer gegenwärtige) „Fortsetzung“ des Textes angesehen werden kann. Er hat einen qualitativ anderen Status als der >Text<; er ist auf informelle Weise gegenwärtig, indem der „Zugriff“ auf den Kontext und die „Einflußnahme“ des Kontextes auf die Interpretation des Textes in der Regel informell erfolgt. Man

³ I. Lakatos, Die Geschichte der Wissenschaften und ihre rationale Rekonstruktion, in: I. Lakatos, A. Musgrave, Kritik und Erkenntnisfortschritt, Braunschweig, 1974, S. 280

⁴ F. v. Kutschera, Grundfragen der Erkenntnistheorie, Berlin, Heidelberg, New York, 1982, S. 504

kann daher auch von >informellem Kontext< sprechen. Ein informeller Kontext ist z.B. „das, was stillschweigend als vernünftig angesehen wird“.

Das explizite Wissen, insbesondere wissenschaftliche Theorien (also auch physikalische Theorien) als >Text< aufzufassen, ist nicht ganz neu. W. V. O. Quine spricht dies indirekt folgendermaßen aus⁵:

Was ist das: eine wissenschaftliche Theorie? Eine naheliegende Antwort wäre: Ein Gedanke oder ein komplexes Gedankengebilde. Doch die praktischste - und gewöhnlich die einzige - Weise, sich mit Gedanken auseinanderzusetzen, setzt bei den Worten an, durch die sie zum Ausdruck gebracht werden. Wonach man im Hinblick auf Theorien Ausschau halten muß, sind demnach die Sätze, die sie zum Ausdruck bringen.

Wenn wir also von Physik reden, dann können wir uns nur auf die Sätze beziehen, in denen von Physikern Physik zum Ausdruck gebracht worden ist. Aber auch das Kontextproblem ist bei ihm angesprochen, indem er darauf insistiert, daß es keine kontextfreie Bedeutungen gibt (Duhem-Quine-These)⁶:

Allmählich erkennen wir, daß in einer wissenschaftlichen Theorie sogar ein ganzer Satz gewöhnlich zu wenig Text abgibt, um als unabhängiges Vehikel der empirischen Bedeutung zu dienen. Er wird kein eigenes, abtrennbares Bündel beobachtbarer oder überprüfbarer Konsequenzen haben. Ein einigermaßen umfassendes wissenschaftliches Theoriekorpus wird, als ganzes genommen, tatsächlich solche Konsequenzen haben. ... Doch die Beobaktionskonditionale [i. e. >wenn f, dann y<-Sätze] werden, wie Duhem betont, nur von der Theorie als ganzer impliziert.

Er fragt nun zu Recht, wie umfassend wir ein solches Satzsystem wählen sollen, wenn wir ein ganzes Satzsystem als Vehikel der empirischen Bedeutung wählen müssen? Die gesamte Wissenschaft? Das Ganze einer Einzelwissenschaft? Einen Zweig einer Einzelwissenschaft? Er resümiert⁷:

Zu denken, unser wissenschaftliches Weltsystem spiele en bloc in jede Prognose hinein, ist jedoch langweilige Prinzipienreiterei. Bescheidenere Stücke tun es auch und können ihre unabhängige empirische Bedeutung zugeschrieben bekommen, zumindest mit ausreichender Näherung, denn ein gewisse Vagheit der Bedeutungen muß man in jedem Fall in Anschlag bringen.

Die Frage nach dem „Schnitt“ im >wissenschaftlichen Weltsystemen bloc< einfach als „langweilige Prinzipienreiterei“ abzutun, scheint allerdings eher vom Problem abzulenken als daß es beseitigt wäre. „Bescheidenere Stücke“ können „ihre unabhängige empirische Bedeutung“ genau deshalb zugeschrieben bekommen, weil wir in >Text< und >Kontext< zerlegen können (ohne das in den seltensten Fällen bewußt zu tun) und Text und Kontext qualitativ verschiedenen Status

⁵ W. V. O. Quine, *Theorien und Dinge*, Frankfurt/M., 1985, S. 39

⁶ W. V. O. Quine, *op. cit.*, S. 92

⁷ W. V. O. Quine, *op. cit.*, S. 93

haben. Wir brauchen dadurch nicht bei jedem Term nach seiner expliziten Bedeutung fragen - die meisten sind schon „irgendwie“ durch den Kontext gedeutet: nur einzelne Terme sind vage oder vage geworden, so daß sie unsere bewußte Aufmerksamkeit auf sich lenken, problematisiert und überprüft werden. Wissenschaftliche Entwicklung bedeutet eben unter anderem auch, immer wieder Teile des Kontextes in die bewußte Analyse hereinzunehmen, also zu >Text< umzugestalten. So umgeht bekanntlich I. Newton die prinzipielle Frage nach >Raum< und >Zeit<, obwohl dies grundlegende Begriffe seiner Physik sind. In seinen >Principia mathematica< finden wir einfach die Feststellung⁸:

Nam Tempus, Spatium, Locum & Motum, ut omnibus notissima, non definio. (Zeit, Raum, Ort und Bewegung, als allen wohlbekannt, erkläre ich nicht.)

Er definiert nur ausdrücklich seinen >absoluten Raum< und seine >absolute Zeit<, die sich dann auch als äußerst problematisch herausgestellt haben. Sind >Raum< und >Zeit< wirklich evidente und unproblematische Begriffe, „allen wohlbekannt“? Er kann sich auf ein „wohlbekannt“ zurückziehen, weil sie im Umkreis der Physik zu seiner Zeit und letztlich bis zu A. Einstein dem informellen Kontext angehören, der sie uns als „schon verstanden“ ausgibt. Dieses „schon verstanden“ reichte aus, um damit die Newtonsche Mechanik zu formulieren. Einsteins Leistung wurde wohl auch deshalb so revolutionär eingestuft, weil der bis dahin selbstverständliche Kontext in Grundstrukturen in Frage gestellt wurde.

Mit dem begrifflichen Instrumentarium >Text< und >Kontext< läßt sich präzisieren, worum es bei tieferegreifenden Verstehensproblemen geht: Sie haben - natürlich abgesehen von dem möglicherweise vorhandenen Defizit an faktischem Wissen - ihre Ursache hauptsächlich in der ungenügenden Präsenz des spezifischen physikalischen Kontextes, nicht (allein) in einem Defizit an noch mehr nur explizitem Wissen - anders gesagt: beim Nicht-Verstehen fehlt dem „Interpreten“ der zugehörige Kontext; beim Miß-Verstehen interpretiert er eine physikalische Aussage im unzureichenden oder gar falschen Kontext. Dies wird besonders offensichtlich, wenn Physiker selbst die Physik zu interpretieren versuchen und dabei allzu leichtsinnig mit Interpretationskontexten umgehen. Die Interpretation der Physik kann ja nicht im Rahmen (Kontext) der Physik selbst geschehen: Sie muß im Rahmen eines Verstehenshorizontes vorgenommen werden, der über die Physik hinausreicht und das ist Verstehen in einem ganz anderen - umfassenderen, aber auch unklarerem - Kontext.

Hier sehen sich Physiker vor einem ähnlichen Problem, wie es sich ständig für den Laien stellt. Der Physiker steht nämlich hier sozusagen vor der „Wahl“ des Kontextes, in dem er Physik „von außen“ interpretieren will, und ihn ereilt u.U. das Laien-Schicksal - grob gesagt: Ein falscher Kontext könnte ihn zu einer falschen Interpretation verleiten. Die „Selbstinterpretationen“ der Physik, wie sie von be-

⁸ I. Newton, *Philosophiae naturalis principia mathematica*, Amsterdam, 1714, p. 6

deutenden Physikern für die Allgemeinheit vorgelegt wurden, sind daher ein hervorragendes Untersuchungsobjekt, um die Kontext-Abhängigkeit von Physikverstehen (im dem weiteren Sinne) zu verdeutlichen. Insbesondere die Debatte um die Quantentheorie zeigt eindringlich, wie physikexterne Kontexte z.T. massiv, z.T. subtil in die Interpretationen hereinspielen, ohne daß dies immer bewußt geworden ist, was nach dem Gesagten auch einleuchtet. Die kontroversen Interpretationen der Schrödinger-Gleichung bieten allein schon ein hervorragendes Beispiel für das Wechselspiel von >Text< und >Kontext<, das seit eh und je an die Grundfesten des (quanten)physikalischen Verständnisses rührt. R. Penrose beschreibt die Lage nach 80 Jahren Quantentheorie sehr pointiert so⁹ :

The theory has indeed two powerfull bodies of fact in its favour and only one thing against it. First, in its favour are all the marvellous agreements that the theory has with every experimental result to data. Second, and to me almost as important, this theory is surely of astonishing and profound mathematical beauty.

The one thing that can be said against it, is that it makes absolutely no sense. Das >it makes absolutely no sense< bedeutet: Wir haben keine allseits akzeptierte Interpretation der Wellenfunktion Ψ . Eine Interpretation von Ψ ist ja keineswegs eine Deduktion aus experimentellen Fakten oder aus der Mathematik der Theorie selbst. Sie ist vielmehr eine These, was Ψ in einem physikalischen und intuitiv begreifbaren Sinne bedeuten könnte. Sie führt in die Theorie etwas ein, was weder in den Beobachtungen noch in den Gleichungen selbst vorhanden ist. Diese zusätzliche Interpretation wird letztlich aus einem >Kontext< gespeist, der über die Wissenschaft hinausreicht - sie reicht in Philosophie und Weltanschauung hinein.

Die heute - jedenfalls offiziell - wohl verbreitetste Interpretation ist die sog. >Kopenhagener Deutung<, die im wesentlichen auf Bohr zurückgeht. Eine erste Grundregel (Postulat) dieser Deutung besagt, daß die Wellenfunktion Ψ das physikalische Objekt (bzw. System) vollständig beschreibt: Alle Information, die man zu einem bestimmten Zeitpunkt über das Objekt (System) physikalisch gewinnen kann, ist allein durch die Wellenfunktion gegeben. Diese Regel mag zwar aus der Erfahrung im Umgang mit Quantenobjekten gut motiviert sein, aber es ist offensichtlich, daß diese Regel nicht aus der Schrödinger-Gleichung deduziert werden kann. Setzt man zunächst ein naives Verständnis von Vollständigkeit voraus, so muß die zweite Grundregel (Postulat) der >Kopenhagener Deutung<, der sog. >Kollaps der Wellenfunktion<, befremden: Sie ist eigentlich ein Widerspruch zu der Behauptung der Vollständigkeit von Ψ . Gemäß der Schrödinger-Gleichung kann sich nämlich die Wellenfunktion nur stetig und kontinuierlich verändern. Die Resultate einer jeden quantenmechanischen Messung machen jedoch nur

⁹ R. Penrose, Gravity and state vector reduction, in: Ders., C. J. Isham (Hrsg.), Quantum Concepts in Space and Time, Oxford, 1986, S. 129

dann Sinn, wenn man die Wellenfunktion sich im Augenblick der Messung abrupt und diskontinuierlich auf einen zwar exakten, aber im „Prozeß der Reduktion“ unkontrollierbar „ausgewählten“ Wert (einen der Eigenwerte der Wellenfunktion) zusammenbrechen läßt. Betrachten wir z.B. die Ortsmessung eines Elektrons, dessen Zustand eine Überlagerung zweier in A und B lokalisierter Zustände ist. Aus der (linearen) Schrödinger-Gleichung läßt sich nicht folgern, daß ein Meßgerät das Elektron (wie bei der wirklichen Messung) entweder in A oder in B registrieren werde. Vielmehr besagt sie (allein genommen), daß sich im Meßgerät (im Sinne der klassischen Physik) nur eine Superposition aus den zwei Zuständen einstellt, die das Elektron in A beziehungsweise in B anzeigen. Das Meßgerät müßte sich somit selbst in einem physikalischen Zustand befinden, der sich nicht als Meßergebnis interpretieren läßt, d.h. solche Superpositionen - was immer sie bedeuten mögen - würden das Resultat wirklicher Meßvorgänge nicht richtig wiedergeben. Gemäß der >Kopenhagener Interpretation< wird daher die deterministische Schrödinger-Gleichung durch eine probabilistische Interpretation der Wellenfunktion Ψ ergänzt. Danach wird ein Elektron, dessen Zustand eine Superposition aus dem Aufenthalt in A und dem in B ist, durch die Messung mit jeweils 50% Wahrscheinlichkeit entweder nur im Gebiet A oder nur im Gebiet B angetroffen werden. Somit wird durch die (Orts-)Messung die Wellenfunktion des Elektrons spontan derart verändert, daß ihr Wert entweder nur in A oder nur in B von Null verschieden ist: Das ist der sog. >Kollaps der Wellenfunktion<. Dieser >Kollaps< bedarf selbst der Interpretation: Die „Kopenhagener“ meinen, daß der in ihrer Interpretation notwendige Kollaps der Wellenfunktion darin begründet sei, daß prinzipiell zwischen einer Messung und einem normalen physikalischen Vorgang, zwischen Beobachter und beobachtetem Gegenstand, zwischen Subjekt und Objekt unterschieden werden müsse. Man kann vom Beobachter bzw. von der Messung nicht abstrahieren, wie das in der klassischen Physik getan wird, und daher ist Ψ nur eine ökonomische Beschreibung der Möglichkeiten, die bei einem Experiment eintreten können.

Das Vollständigkeitspostulat und der Kollaps der Wellenfunktion implizieren bzw. führen dann bekanntlich zu einer gegenüber der traditionellen Auffassung neuen Anschauung von (physikalischer) Realität: Es gibt keine >verborgenen Parameter< (Hidden variables); „Realität“ (phänomenale Wirklichkeit) wird durch Beobachtung (Messung) - in extremen Interpretationsversuchen sogar erst durch das menschliche Bewußtsein - erzeugt; der Meßakt ist essentiell unkontrollierbar und daher kommen die Wahrscheinlichkeiten in der Quantenmechanik (unaufhebbar) im Meßprozeß beim „Zerlegen“ in Beobachter und Beobachtetes zustande.

Würde man das alles als Pragmatiker im Rahmen der physikalischen Arbeit lesen, so könnte man das als Vorsicht vor übereilten metaphysischen Spekulationen im Sinne von Newtons „hypotheses non fingo“ auslegen. Aber dem ist nicht so: Bohr meinte es ernst, d.h. diese Realitätsauffassung ist selbst Metaphysik: „Die

Hoffnung, daß neue Experimente uns auf objektive Ereignisse in Raum und Zeit zurückführen werden, ist ebenso unbegründet wie die Hoffnung, das Ende der Welt in den unerforschten Gebieten der Antarktis zu entdecken¹⁰.

Ist das Physik oder doch letztlich nur Weltanschauung? Einem solchen Argwohn scheint entgegenzustehen, daß der Standpunkt der „Kopenhagener“ durch J. v. Neumann in seinem Buch >Die Mathematischen Grundlagen der Quantenmechanik< zunächst theoretisch abgesichert wurde¹¹:

Das Ergebnis ist, daß der Formalismus der Quantenmechanik durch diese Axiome eindeutig festgelegt wird; speziell können keine verborgenen Parameter eingeführt werden, mit deren Hilfe man die indeterministische Naturbeschreibung in eine deterministische umformen könnte. Wenn eine zukünftige Theorie also deterministisch sein sollte, so kann sie nicht einfach eine Modifikation der heutigen Theorien sein, sondern muß sich wesentlich davon unterscheiden. Wie dies möglich sein könnte, ohne eine ganze Reihe wohletablierter Ergebnisse zu opfern, müssen die Vertreter des Determinismus erst herausfinden.

Der „Glaube“ an das sog. >v. Neumannsche Theorem< macht aber gerade deutlich, wie versteckt konzeptionelle und damit kontextuelle Vorgaben sein können, um als informelle Komponenten in der Argumentation zu wirken. V. Neumann hatte gezeigt, daß kein System, in dem gewöhnliche Objekte - d.h. Objekte mit den Eigenschaften der klassischen Physik - „auf vernünftige Weise“ verknüpft werden, die vielfach gesicherten Ergebnisse der Quantentheorie wiedergeben kann. Was heißt aber „vernünftig“? Genau dieser Begriff wird kontextuell festgelegt und nicht durch eine physikalische Theorie selbst, auch wenn er dann zum impliziten oder auch expliziten „Bestandteil“ einer Theorie werden sollte, indem die Theorie durch ihren Erfolg diesen Begriff mit konkreten Leben erfüllt. „Von Neumann hätte vor allem niemals Elektronen als „vernünftig“ empfunden, die ihre Attribute mit Hilfe eines unsichtbaren Feldes anpassen konnten, das selbst wieder empfindlich auf die jeweilige Beschaffenheit der Meßvorrichtung reagierte“¹². Eine im Sinne des v. Neumannschen Beweises „unvernünftige“ Verknüpfung von Objekten ist z.B. die Theorie von D. Bohm¹³. Gerade deshalb ist sie für uns interessant. Es geht hier nicht darum, sich für die eine oder andere Version zu entscheiden - auch das wäre letztlich eine kontextuelle Frage. Vielmehr zeigt sie uns, daß sie einem anderen Kontext angehört und daß dieser Kontext die Motive für die Schaffung der Theorie „erzeugt“. Bohm wechselte bezeichnenderweise nach in-

¹⁰N. Bohr, zit. n. N. Herbert, Quantenrealität, München, 1990, S. 33

¹¹M. Born, Natural Philosophy of Cause and Chance, Dover, New York, 1964; zit. n. F. Selleri, Die Debatte um die Quantentheorie, Braunschweig, 1984, S. 38

¹²N. Herbert, op. cit., S. 76

¹³D. Bohm, A suggested interpretation of the quantum theory of „hidden variables“, Part I“, Physical Review 85, 1952, p.166 - 179. Und: D. Bohm, A suggested interpretation of the quantum theory of „hidden variables“, Part II“, Physical Review 85, 1952, p.180 - 193

tensiverem Kontakt mit Einstein aus dem Lager der „Kopenhagener“ in das Lager der sog. „Neorealisten“. Er zeigt, daß eine Interpretation der Wellenfunktion möglich ist, die sich (mit gewissen Modifikationen) im Kontext der traditionellen Realitätsauffassung mit streng deterministisch-kausalem Geschehen hält und damit die für viele unbefriedigende Realitätskonzeption Bohrs zumindest im Rahmen des logisch Denkbaren in Frage stellt¹⁴ :

Die Theorie geht in ihrer ursprünglichen Form von der Annahme aus, daß das Elektron, auch jedes andere Elementarteilchen, einer kausal determinierten Bahn folgt. (In der späteren, zweiten Form der Theorie wird dieses direkte Teilchenbild aufgegeben.) Anders als die bekannten Teilchen der Newtonschen Physik ist das Elektron niemals von einem bestimmten Quantenfeld getrennt, von dem es fundamental beeinflußt wird, und es weist ihnen gegenüber bestimmte neuartige Züge auf. Dieses Quantenfeld erfüllt die Schrödingersche Gleichung, genau wie das elektromagnetische Feld die Maxwellsche Gleichung erfüllt. Es ist daher ebenfalls kausal determiniert.

In der Newtonschen Physik bewegt sich ein klassisches Teilchen nach den Newtonschen Bewegungsgesetzen, und die Kräfte, die auf das Teilchen einwirken, werden von einem klassischen Potential V abgeleitet. Die grundlegende These [Bohms] ... lautet, daß zusätzlich zu diesem klassischen Potential auch ein neues Potential wirksam ist, das sogenannte Quantenpotential Q . Sämtliche neuen Aspekte der Quantenwelt sind in den besonderen Eigenschaften dieses Quantenpotentials enthalten. Der wesentliche Unterschied zwischen klassischem und Quantenverhalten ist somit das Wirken dieses Quantenpotentials. In der Tat ist der Bereich des klassischen Verhaltens genau dadurch bestimmt, daß in ihm die Wirkungen von Q vernachlässigbar werden.

Die Bohmsche Theorie besteht also darauf, daß jedes Teilchen sich prinzipiell und zu jeder Zeit an einem wohldefinierten Ort aufhalte und einen ebenso wohldefinierten Impuls besitze, genau so wie ein klassisches Newtonsches Teilchen. Allerdings ist jetzt jedes Teilchen untrennbar mit einem neuen Feld - der sogenannten „Führungswelle“ - verbunden: die Wellenfunktionen sind nicht nur mathematische, sondern physikalisch reale Objekte, ähnlich wie die klassischen Gravitations- oder Magnetfelder. Die Wellenfunktionen führen wie klassische Kraftfelder die Teilchen auf ihren Bahnen. Sie sind jedoch unsichtbar und nur indirekt über die Wirkungen auf sein Elektron festzustellen.

Dies erscheint vielleicht lediglich als ein Streit um des Kaisers Bart innerhalb der Physik. Es geht aber um weit mehr, wenn man die weltbildprägende Kraft und Bedeutung der Physik näher ins Auge faßt. Das >physikalische Weltbild< ist eine Interpretation der Physik im Kontext der Alltagssprachlichen Welt und es enthält physikexterne Elemente, die das Gesamtbild entscheidend prägen. Es zielt auf Kontexte außerhalb der Physik und wird daher auch durch den Kontext außerhalb

¹⁴N. Herbert, op. cit., S. 99

der Physik mitkonstruiert und konstituiert. Hier könnte ein Mißverständnis auftauchen: Wir müssen genau unterscheiden zwischen der Interpretation, die in der Physik immanent bei der Verknüpfung der mathematischen Theorie mit den experimentellen Daten vorgenommen wird (sog. >semantic rules<) und der Interpretation, die erkenntnistheoretischer und sozialer Natur ist, die über die Physik selbst also hinausgreift und damit einen hermeneutischen Akt beinhaltet (siehe die beiden Abbildungen)¹⁵. Solches hermeneutisches „Verstehen“ müssen wir als einen Prozeß ansehen, mit dem der Mensch auf eine (tatsächliche oder vermeintliche) „Botschaft“ reagiert, indem es ihr in irgendeiner Form einen Sinngehalt zuspricht: Es faßt ein Phänomen über die eigentlichen „Daten“ hinaus als eine Botschaft auf, die es zu deuten und damit in einen Zusammenhang zu stellen hat. Es fragt dann nicht mehr primär nach kausalen Zusammenhängen in der Manifestation der Botschaft, sondern nach dem Sinn.

Genau das wird offen oder versteckt immer wieder von Physikern geleistet. Allerdings wird hier nur allzu oft philosophische Naivität an den Tag gelegt. Ein gera-

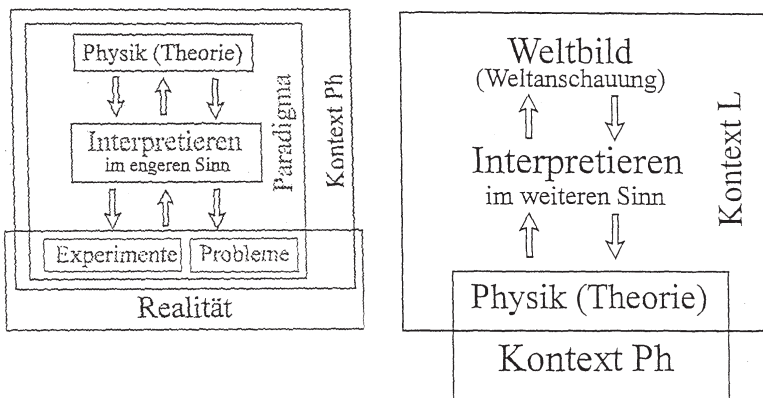


Abb. 1: Zum hermeneutischen Akt

¹⁵Hermeneutik ist die Lehre vom Verstehen, von der Interpretation. Das Wort leitet sich vom griechischen >hermeneúein< ab: aussagen, darstellen, auslegen, übersetzen. Das lateinische Wort dafür ist interpretari, dessen ursprüngliche Bedeutung „vermitteln“ ist. Seit der Antike ist die Interpretation von Texten und die Reflexion über Regeln und Prinzipien Thema der Geistesgeschichte. Die moderne Hermeneutik beginnt mit *D. E. Schleiermacher* und *W. Dilthey*: „Alle Auslegung von Schriftwerken ist nur die kunstgemäße Ausbildung des Vorgangs von Verstehen, welche sich über das ganze Leben erstreckt und auf jede Art von Rede und Schrift bezieht.“ (*W. Dilthey*) Dieses ursprünglich nur für die Geisteswissenschaften reklamierte „kunstmäßige Verstehen“ findet sich in der Physik sinngemäß ebenfalls: Verstehen ist ein universelles Problem.

dezu verheerendes Beispiel dafür ist die sog. >Komplementarität<. Der Begriff wurde von N. Bohr in die Physik eingeführt¹⁶ :

Nach dem Wesen der Quantentheorie müssen wir uns also damit begnügen, die Raum-Zeit-Darstellung und die Forderung der Kausalität, deren Vereinigung für die klassische Physik kennzeichnend ist, als komplementäre, aber einander ausschließende Züge der Beschreibung des Inhalts der Erfahrung auffassen, die die Idealisierung der Beobachtungs- bzw. Definitionsmöglichkeiten symbolisieren ... In der Tat stellt uns bei der Beschreibung der atomaren Phänomene das Quantenpostulat vor die Aufgabe der Ausbildung einer „Komplementaritätstheorie“, deren Widerspruchsfreiheit nur durch das Abwägen der Definitions- und Beobachtungsmöglichkeiten beurteilt werden kann.

Daß es sich hier versteckt um Weltanschauung handelt, geht z.B. aus E.-P. Fischers Kommentierung hervor¹⁷ :

Was zunächst nur als Interpretation der Quantentheorie vorgeschlagen worden war, erschien Bohr anschließend als ein >Grundzug in dem allgemeinen Erkenntnisproblem<. Mit dem Konzept Komplementarität glaubte er, einen tragfähigen Rahmen gefunden zu haben, um die Natur zu beschreiben. Für ihn lieferte es „eine Erweiterung des konzeptionellen Rahmens zur harmonischen Erfassung von Phänomenen, die sich offenbar widersprechen“. Komplementarität ist nicht schlicht eine Neuigkeit aus der Physik. Sie soll vielmehr erklären, wie der konzeptionelle Rahmen der Naturwissenschaften die Beschreibung der Natur überhaupt ermöglicht. Folglich sollte sie über die Physik hinaus bedeutsam sein und etwa in den Bereichen von Chemie und Biologie Anwendung finden können. Bohr hat sich intensiv um solch eine Ausweitung bemüht und seine Idee den anderen Wissenschaften als Lektion der Atome angeboten. Seine Bemühungen haben aber nur wenig Erfolg gehabt.

Die (kontextuellen) Hintergründe für die Entstehung der Komplementaritätsidee hat N. Bohr bewußt oder unbewußt zu verschleiern gesucht und die Idee mehr oder weniger als seine ureigene Sache ausgegeben. Die Übertragung auf die Physik ist sicher sein Produkt, die Idee selbst aber nicht, obwohl immer wieder der Anschein erweckt wird, als sei >Komplementarität< quasi eine notwendige Folge der Entdeckung der Quantenphänomene gewesen.¹⁸ Die externe Herkunft scheint denn auch eine Ursache dafür zu sein, daß selbst bei Bohr dieser Begriff nicht zu voller Klarheit - nicht einmal in der Physik - entwickelt werden konnte. Es geht an dieser Stelle nicht darum, ob dieser Begriff doch irgendwie sachlich aus der Physik begründet bzw. gerechtfertigt werden kann oder auch nicht, sondern - entsprechend unserem Ziel, dem >Verstehen von Physik< näher zu kommen - darum, wie Bohr und seine Kopenhagener Mitstreiter dieses „Prinzip“ an andere Physi-

¹⁶N. Bohr, Atomtheorie und Naturbeschreibung, Berlin, 1931, S. 36

¹⁷E.-P. Fischer, Sowohl als auch - Denkerfahrungen der Naturwissenschaften, München, 1987, S. 14 und 13

ker und interessierte Laien vermittelt haben bzw. zu vermitteln suchten. Es geht um den Argumentationsstil, denn er steht im Dienste von Verstehen. Ähnlich kann man für andere heute im Munde geführte Schlagworte wie „Aufhebung der Descartes’schen Trennung von Subjekt und Objekt (Geist und Materie, Beobachter und Beobachtetes) durch die Quantentheorie“ oder „Die Quantentheorie bedeutet eine Abkehr von der traditionellen westlichen Wissenschaft bzw. eine Annäherung an östliche Denktraditionen“ zeigen, daß sie eher dem weltanschaulichen (ideologischen) Kontext von Physikern zuzurechnen sind als daß sie einem angeblichen „innerphysikalischen“ Zwang entspringen, resultierend aus den Erfahrung mit der modernen Physik¹⁹. Nach der unverstandenen Übernahme und „Vermarktung“ solcher Schlagworte in der New Age-Szene²⁰ - und nicht nur in dieser! - dürfte wohl der vorläufig letzte Höhepunkt in dieser Richtung das Buch >Die Physik der Unsterblichkeit< des auf seinem Spezialgebiet international anerkannten Kosmologen F. J. Tipler sein. Ihm geht offenbar jede Sensibilität dafür ab, daß Begriffe ihre Bedeutung aus ihrem je spezifischen Kontext herleiten, wenn er von seiner >Omegapunkt-Theorie< behauptet, sie sei²¹ :

eine beweisbare physikalische Theorie, die besagt, daß ein allgegenwärtiger, allwissender, allmächtiger Gott eines Tages in der fernen Zukunft jeden einzelnen von uns zu einem ewigen Leben an einem Ort aufwecken wird, der in allen wesentlichen Zügen dem jüdisch-christlichen Himmel entspricht. Jeder einzelne Begriff, der in diese Theorie Eingang findet - beispielsweise >allgegenwärtig<, >allwissend<, >allmächtig<, >(geistlicher) Auferstehungsleib<, >Himmel< -, wird als rein physikalischer Begriff verwendet.

Wüßte man nicht, daß Tipler ein renommierter Physiker ist, so müßte man wohl unwillkürlich fragen: Versteht er überhaupt, was Physik ist, wenn er so redet? Er ist Opfer des heutigen Spezialistentums, das jede kritische Distanz zu sich selbst verloren hat. Wir haben es hier mit z.T. katastrophalen Kontextverwirrungen mit dem entsprechenden Interpretationschaos zu tun: Wissenschaftler sind hier of-

¹⁸ E. Plaum kommt zu dem Schluß: *Es entsteht der Eindruck, daß Bohr hier bewußt die Wurzeln des Komplementaritätsprinzips in der Psychologie verschweigt. Über die möglichen Gründe hierfür kann man nur spekulieren. Zwei Erklärungsmöglichkeiten, die nicht voneinander unabhängig sind, kommen in Frage. Zum einen war sich Bohr wohl dessen bewußt, daß seine Idee von der Komplementarität revolutionär war und aufharte Kritik stoßen würde. Zum anderen kam das Verschweigen der psychologischen Wurzeln der Komplementaritätsidee vielleicht auch dem Bedürfnis des Wissenschaftlers entgegen, seine Eigenständigkeit besonders herauszustellen.* (E. Plaum, Bohrs quantentheoretische Naturbeschreibung und die Psychologie, Psychologie und Geschichte 3 (1992), S. 94 - 101, hier: S. 101)

¹⁹Siehe dazu z.B. R. Fichtner, Physik verstehen, Dissertation, Gießen, 1996

²⁰Siehe dazu z.B. R. Fichtner, Komplementarität (Welle-Teilchen-Dualismus) in der Quantentheorie und im New Age, in: Wege in der Physikdidaktik, Bd. 2, Erlangen, 1991.

²¹F. J. Tipler, Die Physik der Unsterblichkeit, München, Zürich, 1994, S. 24

fenbar „wenig besser als Laien, wenn es um die Charakterisierung der feststehenden Grundlagen ihres Gebietes, seiner legitimen Probleme und Methoden geht“²², so daß Physiker, die sich einerseits gerade der Notwendigkeit einer (philosophischen) Interpretation der Physik bewußt sind, leider andererseits allzu oft zu unbekümmert mit (philosophischen und religiösen) Begriffen hantieren. Die Interpretation der Physik und damit auch das Verstehen von Physik gerät dadurch in die Nähe von ideologischem Dogmatismus, sie wird zum Mythos.

Diese Beispiele, insbesondere die zuletzt angeführten negativen, lassen besonders drastisch in Erscheinung treten, daß Verstehen nicht einfach nur eine Frage des faktischen Wissens des Empfängers einer Botschaft ist. Nur wenn zu dem Text auch der Kontext stimmt, wird ein Verstehen möglich. Und das ist keineswegs eine triviale Sache, weil der Kontext nicht einfach da ist, sondern gesucht bzw. konstituiert werden muß. Ein Text in einem falschen Kontext interpretiert, kann in die Irre oder zur Selbsttäuschung führen. Herausragende Protagonisten der modernen Physik haben in dem klaren Bewußtsein gehandelt, daß wir als verstehende Wesen eine Interpretation genuin verlangen. Sie stellten sich dem elementaren Bedürfnis des Menschen nach Orientierung - ob (nach meiner Meinung) gelungen oder nicht, das soll für uns hier nicht im Zentrum stehen. Vielmehr kann man daran etwas über diesen Prozeß selbst und seine notwendigen Voraussetzungen erfahren. Ich verstehe solche Kritik als ein „Instrument“, um an konkret vorliegenden und allen zugänglichen Interpretationen (in Form von >Texten<) herauszupräparieren, wodurch gewisse Aspekte von >Physik verstehen< determiniert sind und warum >Physik verstehen< so schwierig sein kann. Wir können das an diesen Aussagen tun, ohne Sorge haben zu müssen, daß das für einen Laien Mißverständliche daran nur eine Folge mangelnden physikalischen Wissens und Könnens seitens des Autors sei - womit sich die Sache selbst aufheben würde. Es ist nicht einfach immer nur subjektive „Dummheit“, wenn man nicht versteht - es gibt auch objektive Gründe dafür.

Welche Konsequenzen wollen wir ziehen? Für ein Verstehen von Physik müssen wir uns nicht nur um das explizite, in einem „Lehrbuch“ dargelegte instrumentale Wissen bemühen, sondern in gleicher Weise um den spezifischen Kontext. Wir können sogar noch einen Schritt weiter gehen: Das Interesse des Laien (im obigen Sinn) am >Verstehen von Physik< zielt letztlich nicht auf den >Text<, sondern auf den >Kontext<. Der Kontext - eigentlich müßte man sagen: das >Wissen aus dem Kontext< oder das >kontextuelle Wissen< - enthält nämlich letztlich in einer abstrakten Form die geistigen Strukturen, Motive und Bedingungen dafür, daß der >Text< formuliert und umgekehrt auch wieder erkannt und gedeutet werden kann.

Der physikalische Kontext ist eng verbunden mit dem, was man das >physikalische Weltbild< nennt in dem umfassenden Sinne, daß damit nicht nur eine inhalt-

²²Th. S. Kuhn, op. cit., S. 61

liche Gestalt, sondern vor allem die zugrundeliegenden kognitiven Grundstrukturen bezeichnet werden. Erst wenn physikalische Erkenntnis bis in die Denkstrukturen eingedrungen und wirksam geworden ist, so daß diese sich - nicht nur bei sog. wissenschaftlichen Revolutionen (falls es solche überhaupt gibt) - umstrukturieren müssen, dann haben wir beim Verstehen die personale Dimension, von der wir am Anfang gesprochen haben, und dies bedeutet letztlich, daß die historischen, konzeptionellen und erkenntnistheoretischen Implikationen bzw. Konsequenzen genauso wie die praktischen Anwendungen zur gesellschaftlichen Relevanz der Physik gehören. Sie haben eine strukturelle, also qualitative didaktische Dimension, die verloren geht, wenn man sie additiv als Ergänzung, Auflockerung oder Schmuck ansieht.

Der Laie, den wir als Lehrer in erster Linie zum Verstehen von Physik führen wollen, ist der Schüler und für ihn müssen wir die Erkenntnisse aus der skizzierten Verstehensproblematik fruchtbar machen. Nach dem Vorgetragenen, kann ich es nur wiederholen: Wenn es um tieferegreifende Verstehensprobleme beim Schüler geht, dann sind sie - natürlich abgesehen von dem möglicherweise vorhandenen Defizit an faktischem Wissen - hauptsächlich in dem konstitutionellen Fehlen des spezifischen physikalischen Kontextes begründet, nicht in einem Defizit an noch mehr nur explizitem Wissen. Der Schüler steht vor der Aufgabe, die für ihn aus ihrem ursprünglichen Kontext isolierte Botschaft zu verstehen, d.h. einen gegebenen physikalischen >Text< - etwa ein Schulbuch oder einen Lehrervortrag - zu interpretieren. Welcher Kontext steht ihm für die Interpretation zur Verfügung? Es bedarf wohl keiner langen Erörterung, daß er den gegebenen Text in seinem aktuellen Kontext auszulegen versucht, und der ist eben in der Regel nicht schon der der Physiker. Der >Text< selbst bezieht sich zwar in jedem Fall auf die Physik, aber die >Kontexte< des Senders der Botschaft und des Empfängers sind verschieden: Beim Fachmann handelt es sich um den spezifischen physikalischen Kontext, beim Schüler bzw. Laien - *cum grano salis* - in der Regel um den durch rein faktisches Wissen angereicherten common sense-Kontext oder - auf einem reflektierteren Niveau - um einen philosophischen Kontext.

Wir haben also zwei Aufgaben: Sowohl den Kontext des Fachmanns ins Auge zu fassen als auch den des Schülers (Laien). Nur wenn wir uns dieser beiden verschiedenartigen Kontexte bewußt sind, werden wir über das Verstehen bzw. Mißverstehen von Physik bei einem Laien in neuer Weise nachdenken können. Der wissenschaftliche Kontext ist nicht einfach ein verfeinerter natürlicher Kontext: er ist qualitativ von ihm getrennt, aber deshalb nicht schlicht disjunkt. Am besten scheint mir das Verhältnis der beiden zueinander mit dem Verhältnis verschiedener Kulturen vergleichbar: man kann nicht einfach die Texte der einen Kultur lexikalisch-wörtlich in eine andere übersetzen, sondern man muß je die einzelnen Kulturen verstehen, d.h. sich in sie hineinleben und das bedeutet: man muß auch die informellen Teile mitlernen. Das ist etwas anderes als wenn man nur wie ein

„Tourist“ in der Kultur der Physik einige spektakuläre Souvenirs sammelt, die man in seiner unveränderten Alltagskultur unverstanden zur Schau stellt.

Gerade die dem Fachmann selbstverständlich gewordenen Voraussetzungen der Physik können für den Laien unsichtbare Barrieren für sein Verstehen sein. Es sind die informellen, stummen Teile, die meist mit „know how“ umschrieben werden, und die nicht alle objektiviert werden können wie die „harten Tatsachen“ der Wissenschaft, sondern in der Kompetenz des Fachmanns als ein implizites Wissen „gespeichert“ sind. Nur wenn man auch über dieses Wissen - auf welchem Wege und in welchem Grade der Reife man auch immer dazu gelangt ist - verfügt, wird man den expliziten Wissensschatz der Physik in seiner ganzen Bedeutsamkeit verstehen. Die stumme Wirksamkeit dieses Wissens tritt im >Physik machen< hervor und kann auch nur auf diesem Wege gelernt werden - eine schon sehr alte Einsicht: Der Weg ist das Ziel.

Wie kann der „Kontext“ zusammen mit dem „Text“ vermittelt werden? Ich glaube, wir sollten uns an zwei Quellen erinnern, die das eindringlich demonstriert haben, und sie zum Vorbild nehmen, nämlich Platons Darstellung philosophischer Probleme und Galileis Auseinandersetzung mit der Aristotelischen Physik, die beide die Form des Dialogs gewählt haben. Platon war die fundamentale Rolle des impliziten Wissens für das richtige Verstehen des expliziten Wissens ein so zentrales Anliegen, daß man seine Darstellungsweise philosophischer Probleme als eine Konsequenz dieser Einsicht ansehen kann, die Dialogform.

Im Dialog entwickeln sich explizites Wissen und implizites Wissen gleichermaßen. In Platons Dialogen geht es nicht um eine Unterhaltung zwischen den Personen oder um bloße Mitteilungen zwischen diesen, auch nicht um literarische Form, nicht um Lehrgespräche, sondern darum, fragwürdig gewordene „Selbstverständlichkeiten“ zu überdenken und nach neuen Begründungen zu suchen. Die Dialogsituationen sind nicht individuell-zufällig, sondern typisierte, fiktionale Situationen, in denen die philosophischen Probleme als >Text< (Rede) im >Kontext< des Dialogs auseinandergesetzt werden sollen. Der >Text< wird jeweils im persönlichen Verstehenshorizont der anderen Dialogpartner interpretiert und kritisiert. Deren Stellungnahmen wird nun wiederum von allen anderen zum Ausgangspunkt weiterer Interpretationen usw.. Hat diese für die Platonische Philosophieauffassung typische Dialogsituation etwas mit heutiger Physik zu tun? Ich meine, daß jede lebendige Physikergemeinschaft sich in einer solchen Situation durchaus wiedererkennt. In diesem Sinne äußert sich z. B. W. Heisenberg²³:

Naturwissenschaft beruht auf Experimenten, sie gelangt zu ihren Ergebnissen durch die Gespräche der in ihr Tätigen, die miteinander über die Deutung der Experimente beraten.

Im Gegensatz zu der kontexthaltigen Kommunikationssituation zwischen Physikern wird die >Physik< selbst (allgemein Wissenschaft) jedoch in der Regel als

²³W. Heisenberg, Der Teil und das Ganze, München, 1973, S. 7

eine Abstraktion vom dialogischen Kontext, also vom „pragmatischen Subjektbezug des argumentativen Diskurses zugunsten der Herausarbeitung der situationsunabhängigen Beziehung zwischen Sätzen in einem objektivierbaren Satz-zusammenhang (formales System, Theorie)“²⁵.

Die Begründungen sind hier nicht mehr die Antwort auf eine Warum-Frage von Menschen, sondern sind Deduktionen von Sätzen aus Sätzen gemäß bestimmten Verfahrensregeln (der formalen Logik). Diese in der aristotelischen Tradition entwickelte Anschauung von Wissenschaft dürfte wohl die tiefere Ursache für das verzerrte Bild von Wissenschaft sein, das nicht erst in den allgemeinbildenden Schulen kreierte wird, wie das z.B. T. Mayer-Kuckuk vermutet²⁶: *Eines der typischen Mißverständnisse besteht wahrscheinlich darin, daß die Physik als ein starres System von Regeln und Formeln angesehen wird, die es nur aufzufinden und anzuwenden gilt. Zu jedem Problem gibt es eine feste Lösung, ähnlich wie im Schulbuch zu jeder Aufgabe hinten eine Lösung steht. Es ist denn vermutlich auch der Schulunterricht, in dem diese Vorstellung geboren wird.*

Diese Vorstellung wird nicht erst im Schulunterricht geboren, aber offenbar nachhaltig sowohl als „Propagandamodell“ als auch durch Darstellungsart verbreitet. Genau dieses Muster formt auf informelle Weise das weit verbreitete Bild von Wissenschaft in der Öffentlichkeit. Aufbau und Stil der Argumentation in fast allen Schulbüchern orientieren sich immer noch an jenem „traditionellen Selbstverständnis“, das an dem (sicher einst ganz hilfreichen) Baconschen Propagandamodell ausgerichtet ist. Nur mühsam finden Darstellungen Anklang, die nicht nur den >Text< referieren und „elementarisieren“, sondern bewußt im Inhalt und vor allem durch den Stil den >Kontext< mitleben lassen.

Im Dialog könnte die ursprüngliche Verfassung von Wissenschaft auch im Unterricht wiederhergestellt werden. Dabei sollten wir an die Vermittlung von Physik folgende Anforderung (Bildungsziele) stellen, die fast trivial erscheinen mögen, aber durch die Form des Dialogs neue Akzente setzen:

- 1) Der Unterricht sollte dazu anleiten, physikalisch (wissenschaftlich) denken und handeln zu können, im Gegensatz zu einer vordergründigen Vermittlung von physikalischem Wissen; die kognitiven Strukturen (Weltbild) sind das vorrangige Ziel.
- 2) Der Unterricht sollte befähigen, darüber reflektieren zu können, daß Wissenschaft ein (philosophisches bzw. gesellschaftliches) Programm und daher eine bestimmte Wissensform (mit Absichten und Zielen) unter anderen ist.
- 3) Intuition (ob im einzelnen zunächst falsch oder richtig) und andere informelle Strategien und Motive (Rationalität, Widerspruchsfreiheit, Harmonie, Schönheit etc.) müssen im Unterricht als bestimmende Elemente der wissenschaftlichen Problemstellung und Lösung zu ihrem Recht kommen.

²⁵H. Seifert, G. Radnitzky, Handlexikon zur Wissenschaftstheorie, München, 1989, S.15

²⁶T. Mayer-Kuckuk, Das Erscheinungsbild der Physik, Phys. Bl. 47 (1991), Nr. 4, S. 302

>Physikalisch denken< darf man nicht dahingehend mißverstehen, daß Schüler etwa die Wissenschaft produktiv vermehren sollten wie ein forschender Wissenschaftler in physikalischem Neuland. >Physikalisch denken< ist nicht dadurch charakterisiert, daß etwas Neues dem schon vorhandenen Gebäude hinzugefügt wird. >Physikalisch denken< ist gefordert, wenn nur überhaupt eine „physikalische Situation“ als solche erkannt, verstanden und womöglich als Problem formuliert und gelöst werden soll. Dies verlangt - neben dem selbstverständlich vorausgesetzten faktischen Wissen („know that“) - vor allem eine bestimmte Denkstruktur, ein bestimmtes „know how“, also eine bestimmte Form des Wissens. Den Lernenden in dieses geistige Milieu einzuführen, muß das Ziel des Unterrichts sein. Dann haben wir eine Bildungsaufgabe eingelöst, die die Person erreicht.

„Lernen im Dialog“ - eine weitere Utopie? Dialog in übergroßen Klassen? In überfüllten Hörsälen? Das Lernen im Dialog ist - im ersten Schritt - nicht eine Frage der Organisation oder der Maßnahmen zu seiner Durchführung, sondern zunächst einmal ein mentales Problem, eine Frage der Einstellung: Sieht man Physik nur als >Stoff<, den man monologisch an andere weitergeben kann, oder sieht man Wissenschaft als einen >Prozeß< an, für den man eine adäquate Darstellung und Entwicklungsmöglichkeit sucht. Es ist die Frage, ob man mit einem anderen Physik machen will, sei es Schüler oder Student, oder ob man Wissen in einer Art „Verwaltungsakt“ verordnet.

Im Dialog stößt jede (physikalische) Aussage auf einen Kontext, nämlich auf den Kontext des oder der Gesprächspartner - jeder der Gesprächspartner „repräsentiert“ sozusagen einen eigenen Kontext, in dem die Aussagen der anderen Gesprächspartner interpretiert werden und daher neue Facetten der Aussage erzeugen. Je nach dem Grad der bereits erreichten (physikalischen) Kompetenz der einzelnen Teilnehmer am Dialog werden sie mehr fragend oder mehr aufklärend zum Dialog beitragen.

Der Dialog ist kein Selbstzweck. Seine Führung dient objektiver Erkenntnis, die im Gespräch entwickelt wird, aber gerade nicht der Disposition der einzelnen Gesprächspartner anheimgestellt ist oder eine reine Konvention, über die man im wissenschaftlichen Dialog übereingekommen ist. Der Dialog ist an dem Ziel einer solchen Erkenntnis orientiert, nicht umgekehrt. Das war essentiell bei Platon so, in ähnlicher Weise bei Galilei. Der Dialog in diesem Sinne ist nicht einfach nur eine alternative Unterrichtsgestaltung, der der Auflockerung oder Psychohygiene dienen soll. Diese Form der Wissensvermittlung und -gewinnung ist in der Praxis der Wissenschaft begründet und dient dem besseren **>Verstehen von Physik<**.