

ARBEITSKREIS BAYERISCHER PHYSIKDIDAKTIKER

## **BEITRAG AUS DER REIHE:**

Werner B. Schneider (Hrsg.)

# Wege in der Physikdidaktik

Band 1

Sammlung aktueller Beiträge aus der  
physikdidaktischen Forschung

ISBN 3 - 7896 - 0090 - 3

Verlag Palm & Enke, Erlangen 1989

### 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](http://www.solstice.de)

werden noch weitere Materialien zur Verfügung gestellt.

Edgar Lüscher

## **Aspekte zur Didaktik der Physik**

Zu den wichtigen Aufgaben einer angewandten Fachdidaktik gehören folgende, essentielle Tätigkeiten:

1. Aufarbeitung der von Wissenschaftlern erforschten Gesetzmässigkeiten, Zusammenhänge (erzielte Forschungsergebnisse) und Suche nach einer Präsentation, einer Form, die auch von Nichtspezialisten verstanden und wenn nötig auch angewandt werden kann.
2. Suche nach der für die jeweilige Gruppen von Lernenden bestmöglichen Darstellung der Grundlagen – also auch alte, historische, noch gültige Forschungsergebnisse – die als Einführung in das betreffende Fachgebiet optimal dient.
3. Auf der politischen Ebene: Das moderne Leben wird weitgehend von der Technik bestimmt und wäre ohne diese nicht mehr möglich. Die Lebensfähigkeit von 6 Milliarden Menschen – bald werden es doppelt so viele sein – auf unserer Erdoberfläche wäre ohne die Technik nicht gegeben. Viele Entscheidungen, Gesetze etc. unserer Parlamente sind direkt oder indirekt mit der Technik, den Wissenschaften verknüpft und können daher nur vernünftig sein, wenn das technische Umfeld wenigstens in den Grundzügen verstanden wird; und zwar sowohl von den Parlamentariern als auch von den Stimmbürgern, die ja indirekt die eigentliche Legislative – wenigstens theoretisch – verkörpern. Damit so weit als möglich objektive Entscheidungen getroffen werden können, sind technische Kenntnisse des Sachverhalts unentbehrlich. Ein Parlamentarier kann sich noch die Mitarbeit von technischen Sachbearbeitern leisten, ein Stimmbürger jedoch in den meisten Fällen nicht. Es ist deshalb auch eine Aufgabe der Didaktik, modernes Wissen derart darzustellen, dass die grundlegenden Gedanken auch von einem Laien, von einem Menschen ohne technische und wissenschaftliche Schulung verstanden werden können.

Ein Beispiel:

Es soll im Parlament eine Entscheidung über den Bau eines photovoltaischen Sonnenkraftwerkes oder eines Windenergiekraftwerkes zur Erzeugung elektrischer Energie gefällt werden. Ein vernünftiger Entschluss kann aber nur gefasst werden, wenn die physikalischen Eckdaten dieser Kraftwerkarten bekannt sind. Es ist auch die Aufgabe eines Didaktikers, die wissenschaftlich-technischen Daten wie Wirkungsgrad, Kosten/Nutzen Verhältnis, Energieverbrauch zur Herstellung der photovoltaischen Zellen, Strahlungsdichte etc., etc. derart aufzubereiten, dass sie eine echte Entscheidungshilfe für Laien sind. Selbstverständlich müssen die bisherigen Erfahrungen mitberücksichtigt werden, wie z.B. die

dänischen Windkraftwerksdaten inklusive des Flächenbedarfs.

Bereits diese kurzen Überlegungen zeigen, dass ein naturwissenschaftlicher Fachdidaktiker – und nur um solche soll es in diesen Darlegungen gehen, da der Schreiber leider von allgemeiner Didaktik nichts versteht – als wichtigste Grundlage ein möglichst umfassendes Fachwissen auf seinem Gebiet besitzen muss, als *conditio sine qua non*. Dazu gehört, dass er auch längere Zeit in der Frontforschung gearbeitet hat, sich aber stets auch für die Lehre im weiteren Sinne interessierte und wenn möglich auch engagierte.

Die Hochschule muss die fachdidaktische Ausbildung der Lehramtskandidaten organisieren, leiten und mit inhaltlichem Stoff versehen. Naturgemäss ist die Stoffauswahl von den einzelnen Lehrplänen in den Ländern fast zu 100 % bestimmt – leider, möchte man sagen, denn ein starrer Lehrplan, der dem Lehrer keine oder nur geringe Freiheit lässt, ist aus verschiedenen sachlichen, leider nicht juristischen Gründen, falsch. Es gab vielleicht einmal Zeiten, wo der Religionslehrer auch Physik unterrichten musste, zu diesen Zeiten war vielleicht eine starre Stoffauswahl noch hinzunehmen – längst vergangene Zeiten. Ein Lehrplan für die Physik sollte im Maximum 50 % an obligatorischem Lehrstoff enthalten; die anderen 50 % sollte der freien Auswahl des Lehrers überlassen sein. Jeder Lehrer hat seine speziellen Interessen und Fähigkeiten in seinem Fachgebiet. In aller Regel kann ein guter Lehrer gerade diese Kapazitäten am besten und mit Enthusiasmus vermitteln und damit auch die Mehrzahl der Schüler begeistern. In vielen Fällen sollte die Aussage: "Oh, von Physik habe ich nie etwas verstanden" ersetzt werden durch: "Mein Physiklehrer war schlecht!" Leider ist die durchschnittliche Qualität der Physiklehrer nach der Schwemme im Gefolge der "Pichtlehre" gesunken, da ganz einfach die Zahl der Lehramtskandidaten unverhältnismässig zugenommen hat. Zudem ist im Grunde das Lehramtsstudium für Physik und Mathematik und wahrscheinlich auch für Biologie und Chemie, falsch konzipiert. Man kann heute nicht mehr Physik und Mathematik (fiktiv) gleichgewichtig nebeneinander studieren. Nebenwirkungen kann man leicht feststellen, wenn mit ausländischen Verhältnissen verglichen wird, in denen es solche Fächerkombinationen im Studium nicht gibt. Aus vielen Gründen wäre es zweckmässig, wenn ein zukünftiger Gymnasiallehrer ein naturwissenschaftliches Fach im Diplomstudiengang absolvieren würde. Die Weichenstellung, ob er ins Lehramt, in die Industrie oder in die Forschung gehen wird, fällt erst nach dem Diplomstudium oder sogar erst nach dem Doktorat. Damit wäre auch der unseligen Klassenhierarchie im Studium, hie Diplomstudium, dort Lehramtsstudium, die Wurzeln entzogen. Während heute ein Diplomierter sich seine Sporen die ersten paar Jahre in der Industrie verdienen muss, würde ein Lehramtsorientierter sich während dieser Zeit die wenigen allgemeinen, didaktischen Kunstgriffe, die fachspezifischen, didaktischen Anschauungen und vor allem die praktische

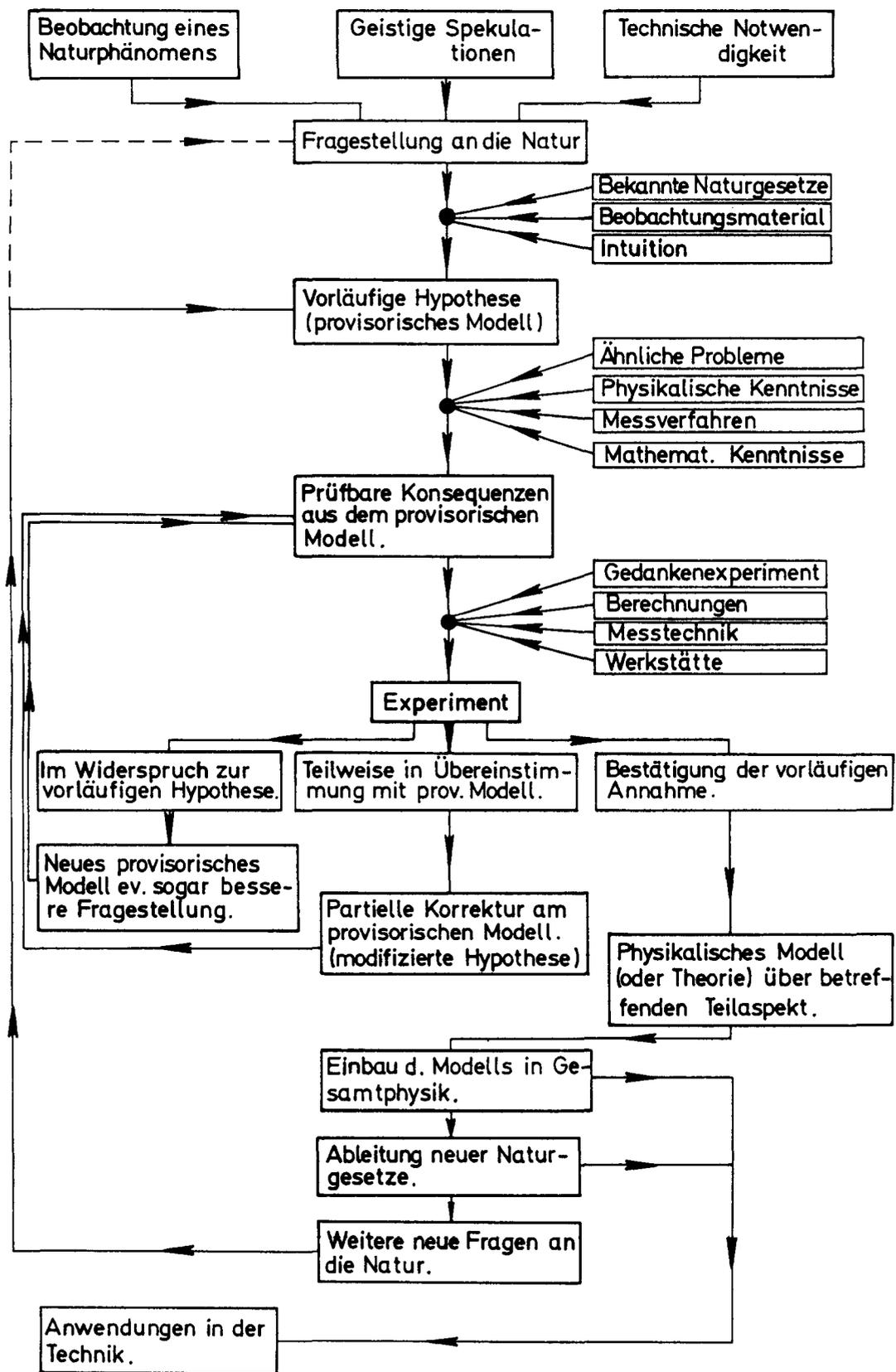


Abb. 1: Schema eines Arbeitsablaufs in der physikalischen Forschung

Unterrichtserfahrung aneignen. Da das Grundlagenstudium für beide im grossen und ganzen identisch ist, wäre ein eventueller Wechsel fast problemlos, mit Ausnahme von juristischen Hürden. Dass ein Wechsel nicht von Schaden sein kann, kennt man in der Bundesrepublik seit den Ausnahmeregelungen bei Physiklehrermangel. Die Nichtlehramtsstudenten haben sich in der Gymnasialpraxis als die nicht schlechtesten erwiesen. Auffallend und dabei typisch ist ihre relativ hohe Anzahl bei den Fortbildungsveranstaltungen für Physiklehrer in Dillingen. Die wenigsten der Gymnasialphysiklehrer nehmen an Veranstaltungen, Tagungen etc. der Deutschen Physikalischen Gesellschaft teil, weil sie in ihrem Studium zu früh von der fortgeschrittenen Physik abgekoppelt werden und natürlich auch, weil sie als Lehrer allzuviel wirklich überflüssigen Papierkram erledigen müssen. In der Schweiz, in Österreich oder Frankreich ist die aktive Teilnehmerzahl der Lehrer an solchen Veranstaltungen wesentlich höher, was letztlich auch dem Unterricht zugute kommt. Wieviel mehr horchen die Schüler auf, wenn ihr Lehrer berichtet, dass er auf der Frühjahrstagung 1988 den Alex Müller persönlich erlebt habe. Einzelne ausländische Physiklehrer sind sogar noch in der Forschung tätig, unterstützt von DFG-ähnlichen Organisationen mit zum Teil beachtlichen Erfolgen, trotz Unterrichtsbelastungen von mehr als 20 Wochenstunden.

Zurück zu den Aufgaben eines Fachdidaktikers allgemein. Wie bereits erwähnt, ist die Aufarbeitung des Wissensstoffes für die entsprechende Schulstufe einer der wichtigsten Aufgaben. Obschon es eine Menge von Vorarbeiten gibt, vor allem in Form von entsprechenden Lehrbüchern, muss jeder Lehrer diese Arbeit nachvollziehen, dabei findet er eventuell auch noch bessere Wege. Vom Fachdidaktiker auf der Universität erwartet der zukünftige Lehrer eine Anleitung, wie dieses Aufarbeiten zu geschehen hat. Diese Arbeit kann nur jemand leisten, der selbst das Fach Physik überblickt, beherrscht und auch verstanden hat. Dazu gehört auch die Kenntnis der Struktur und der methodische Ablauf der Forschung in dem betreffenden Fach. In den Naturwissenschaften allgemein steht die Beobachtung von Naturvorgängen und das Experiment im Mittelpunkt. Für die Physik sind die prinzipiellen Arbeitsschritte in folgendem Schema in Abb. 1 dargestellt.

Der Ausgangspunkt ist eine Fragestellung an die Natur, wobei der einzubringende Erfahrungsschatz die bereits bekannten sogenannten Naturgesetze samt Daten und Modellen umfasst. Daraus entwickelt sich eine vorläufige Hypothese, und aus den bisherigen Kenntnissen können mögliche experimentelle, prüfbare Konsequenzen gefolgert werden, d.h. die messtechnische Planungsphase wird eingeleitet, ein Experiment aufgebaut. Erst wenn die erwarteten Konsequenzen des provisorischen Modells voll und ganz durch die experimentellen Daten erfüllt werden, kann dieses Modell in den Bestand der Physik aufgenommen werden. Zwei Dinge sind dabei von allgemeiner Bedeutung: Erstens die

zentrale Stellung des Experiments und der Modellcharakter der Physik. Die ganze Physik ist eine herrliche Sammlung von Modellen, eben von Modellen der Natur; eine Tatsache, der zu wenig Beachtung geschenkt wird. Dies bedeutet aber auch, dass der Physiker keinen direkten Zugang zu absoluten Wahrheiten hat. Damit sind wir mitten in den Grundlagenproblemen der Physik angelangt, was man auf englisch mit "philosophy of science" bezeichnet und die zweite Bedeutung von philosophy, nämlich die grundlegenden Prinzipien eines Wissensgebiets meint. Dies ist ein wichtiges, wenn auch noch sehr vernachlässigtes Feld der Physikdidaktiker.

Das Bild der Physik, das noch weitgehend in unseren Schulen vermittelt wird, ist nicht korrekt. Man hat in den letzten Jahrzehnten gelernt, dass die grösste Zahl der Naturerscheinungen und der Abläufe nichtlinear, komplex ist und nicht durch einfache, integrierbare Differentialgleichungen beschrieben werden kann. Die Probleme, Beispiele und Aufgaben, die in den meisten Lehrbüchern behandelt werden, bilden eine sehr kleine Klasse, verglichen mit der Menge der nicht geschlossen lösbaren Problemata. Aus einsichtigen, didaktischen Erwägungen demonstriert man dem Lernenden zunächst lösbare Aufgaben, jedoch wird meistens unterlassen, auch an der Universität, Hinweise auf mathematisch nicht lösbare Beschreibungen von Naturabläufen und technischen Prozessen zu geben und zu erwähnen, dass diese in der überwiegenden Mehrzahl sind. Dieses nicht profilierte "Wissen um das Nichtwissen" war ein Grund für den Glauben an die "Alles-Machbarkeit" der Naturwissenschaften und die unkritische Technikgläubigkeit vieler Menschen. Dass auf dieser Euphorie eine Katharsis folgen musste, war unvermeidlich, was sich heute in einer weitreichenden Wissenschaftsfeindlichkeit niederschlägt, wobei Grün eine der Symbolfarben darstellt. Diese Wissenschafts- und Technikfeindlichkeit, die sich geographisch auf die wohlhabenden, gesättigten Industriestaaten beschränkt, kann für die Zukunft der Menschheit äusserst gefährlich werden. Die Probleme unseres überbevölkerten Planeten können nur noch mit Hilfe modernster Technik einigermaßen angegangen werden, sonst müssen wir mit dem Untergang von Milliarden von Menschen rechnen. Eine Rückkehr in eine romantische, pastorale, chemie- und technikfreie Welt ist eine Illusion.

Einen weiteren, wichtigen Gegenstand der "philosophy of physics" und somit der Didaktik bilden die physikalischen Meßsysteme. Über die menschlichen Sinnesorgane und der Verarbeitung der Signale im Gehirn erfahren wir die Vorgänge in der Natur. Die physikalischen Messapparate stellen eine enorme Erweiterung unserer Sinnesorgane dar. Der optische Sinn hat wohl die grösste Erweiterung erfahren. Ist dem menschlichen Auge nur der sichtbare Teil des elektromagnetischen Spektrums zugänglich, so erfassen entsprechende Detektoren fast den ganzen Bereich. Mit Hilfe moderner Mikroskopien (Elektronenmikroskop, Tunnel-Raster Mikroskop etc.) dringt man in die atomaren

Grössenordnungen vor. Quasare in 12 Milliarden Lichtjahren Entfernung können noch "optisch" abgebildet werden.

Ein grosse Erweiterung hat auch der akustische Sinn erfahren. Sowohl die untere Grenze um 20 Hz als auch die obere Grenze von 15 bis 20 kHz des Hörbereichs des menschlichen Ohres wurden um viele Grössenordnungen ausgedehnt. Schallwellen von  $10^{-3}$  bis  $10^{13}$  Hz können erzeugt und gemessen werden.

Die physikalische, direkte Erweiterung des Tastsinnes ist noch relativ wenig entwickelt. Indirekt allerdings wurde dieser z.B. durch die Arbeiten von H. Rohrer und G. Binning (Nobelpreis 1986) bis in atomare Dimensionen erweitert. Die optischen und elektronenmikroskopischen Untersuchungsmethoden sind in gewissem Sinne Ersatz für den Tastsinn. Noch sehr wenig entwickelt ist der olfaktorische und der Geschmackssinn. Arbeiten auf dem Gebiet der Sensorik lassen weitere Entwicklungen erhoffen. Biosensoren für die Drogenfahndung ermöglichen bereits einen Nachweis von Kokain in Verdünnungen von  $1:2 \cdot 10^{10}$ . Das ist aber noch ein Unterschied von vielen Grössenordnungen zu der Nachweisempfindlichkeit z.B. des Hundes. Beim Seidenspinnermännchen genügt ein einziges Molekül des weiblichen Sexuallockstoffes, um eine Rezeptorzelle zu erregen. Bis man mit künstlich erzeugten Sensoren solche Empfindlichkeiten erreicht, wird noch viel Arbeit zu leisten sein. Zur umweltgerechteren Prozess-Steuerung, inklusive in Verbrennungsmotoren, sind jedoch solche Sensoren von grösster Wichtigkeit, was ein grosses Stimulans für die Forschung und Entwicklung bedeutet.

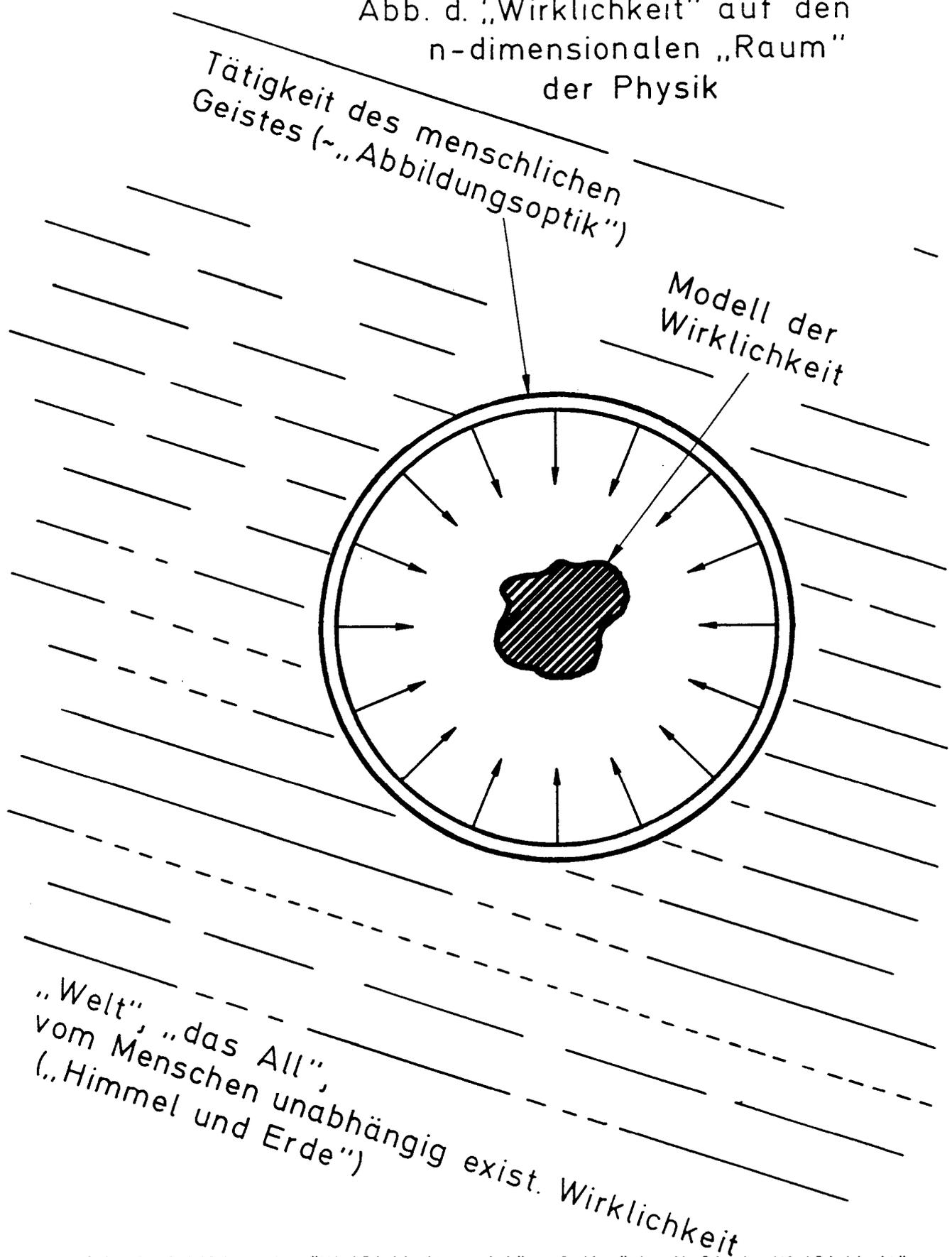
Der Zeitsinn des Menschen, für den (noch) kein typisches Organ bekannt ist, versteht man noch nicht. Die Zeit, wie sie in der Physik universell definiert ist, hat keinen Bezug mehr zur psychologischen Zeit.

Mit dem eindrücklichen, jedoch noch unvollständigen Instrumentarium der erweiterten menschlichen Sinne werden naturwissenschaftliche Ereignisse studiert. Naturphänomene teilt man in zwei Klassen ein:

1. Klasse: Einmalige Ereignisse
2. Klasse: Reproduzierbare Ereignisse

Da man das wesentlich Einmalige kaum mit naturwissenschaftlichen Methoden behandeln kann, beschränkt man sich in der Physik auf die 2. Klasse, also die reproduzierbaren oder sich selbst – periodisch oder unperiodisch – wiederholbaren Erscheinungen und versucht, diese zu verstehen und in einem Modell oder einer Theorie auszudrücken.

Abb. d. „Wirklichkeit“ auf den  
n-dimensionalen „Raum“  
der Physik



„Welt“, „das All“,  
vom Menschen unabhängig exist. Wirklichkeit  
(„Himmel und Erde“)

Abb. 2: Abbildung der "Wirklichkeit ansich" auf die "physikalische Wirklichkeit"

Nach Wolfgang Pauli versteht man unter einem physikalischen Modell oder einer naturwissenschaftlichen Theorie, ein aus empirischem Material inspiriertes Verstehen durch ein zusammenhängendes, mathematisches Gedankensystem. Die Frage nach der physikalischen Wirklichkeit drängt sich auf und Überlegungen dazu gehören zum Pflichtpensum einer Fachdidaktik. Das Problem der Objektivität spielt dabei eine zentrale Rolle. Für eine grosse Zahl von Menschen waren physikalische Aussagen Musterbeispiele für Sachlichkeit, Wertfreiheit, absolute Objektivität. Heute würde man eher Wertfreiheit als Maximalforderung an die Wissenschaftler betrachten, die von ihnen in bester Approximation zu erfüllen sind. Die naturwissenschaftlichen Aussagen müssen kompromisslos zwei wichtige Bedingungen, nämlich Reproduzierbarkeit und Universalität erfüllen. Die damals spektakulären Messresultate über Gravitationswellen von Joe Weber (1972) oder die 1982 von Cabrera und Fairbank vermeintlichen, magnetischen Monopole oder die kalte Fusion in jüngster Zeit erfüllen die Bedingung der Reproduzierbarkeit nicht und gehören deshalb nicht zum Wissensstand der Physik.

Umfassend und direkt mit der Fachdidaktik verknüpft ist die Definition für "objektiv" von Wolfgang Pauli (1954), die aus vielen Diskussionen mit Nils Bohr entstanden ist:

"Jede Betrachtungsweise, die man andere lehren kann, die andere mit den nötigen Vorkenntnissen verstehen und wieder anwenden können, über die man sich mit anderen besprechen kann, soll objektiv genannt werden."

Betrachten wir nun das Problem der Wirklichkeit. Wir setzen voraus, dass eine Wirklichkeit unabhängig vom Menschen existiert, ein Etwas, das sich unserer Willkür entzieht. Dies ist ein Postulat, das wir nicht beweisen können, sich aber als vernünftig erwiesen hat. Wir bilden diese Wirklichkeit auf einen Raum mit geometrischen und zeitlichen Dimensionen ab. In diesem Raum untersuchen wir die reproduzierbaren Geschehnisse der Natur. Physikalische Aussagen sind Bildbeschreibungen dieses Raumes oder wir können die Bilder auch mit Modellen von Vorgängen in der Wirklichkeit identifizieren, wenn wir die Abläufe mathematisiert haben. Die Tätigkeit des forschenden menschlichen Geistes kann mit einem Abbildungsprozess verglichen werden, indem ein Modell eines Naturphänomens gebildet wird, schematisch in Abb. 2 dargestellt. Jeder einzelne Forscher entwickelt für ein bestimmtes Phänomen ein solches Modell. Der Kongruenzgrad der Modelle ( $\cong$  Bilder) von verschiedenen Physikern kann als ein Kriterium für das Maß an Objektivität betrachtet werden. Diese Modelle müssen eine wichtige Bedingung erfüllen, nämlich reproduzierbaren Messungen zugänglich sein. Die Weite des Rahmens, in dem sich die physikalischen Erkenntnisprozesse abspielen, ist vor allem durch Beschränkung auf reproduzierbare (oder sich wiederholende) Erscheinungen und durch das Abbildungsprinzip, das wir übrigens bereits bei Plato im siebten Band seines Staates als

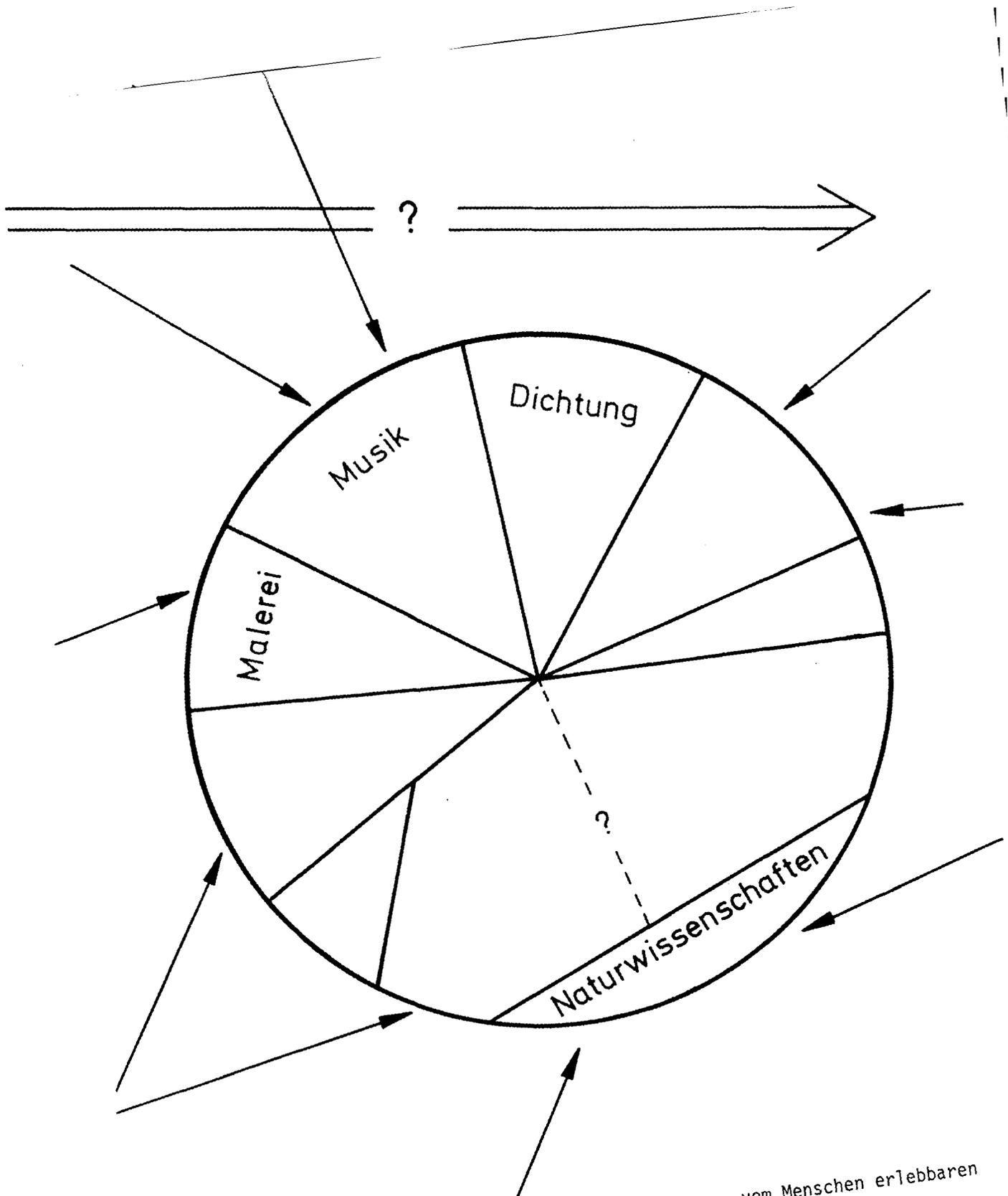


Abb. 3: Schematische Darstellung des abgebildeten, vom Menschen erlebbaren Wirklichkeitsraumes

das sogenannte Höhlengleichnis finden, sehr eingeschränkt. Dies lässt vermuten, dass die physikalische Wirklichkeit nur eine Teilmenge der dem Menschen zugänglichen, d.h. abgebildeten Wirklichkeit darstellt. Von den Naturwissenschaften verschieden, benutzen andere Gebiete menschlicher Tätigkeiten, also z.B. Musik, Tanz, Dichtung, Prosa, Malerei, Bildhauerei etc., andersartige Abbildungsverfahren für den Brückenschlag zwischen der Wirklichkeit an sich und der menschlichen Wirklichkeit. Der Künstler kann andere Aspekte der Wirklichkeit aufzeigen (abbilden), die prinzipiell den Naturwissenschaften verschlossen bleiben. Der Versuch einer schematischen Darstellung ist in Abb. 3 wiedergegeben. Es ist sogar wahrscheinlich, dass in der Wirklichkeit ansich Dinge, Zusammenhänge existieren, die durch keine menschliche Aktivität auf die dem Menschen zugängliche Wirklichkeit abgebildet werden können, von denen wir vielleicht höchstens eine Ahnung haben können. Die Gretchenfrage "wie hältst Du es mit der Religion" kann deshalb aufgrund wissenschaftlicher Erkenntnis nicht beantwortet werden.