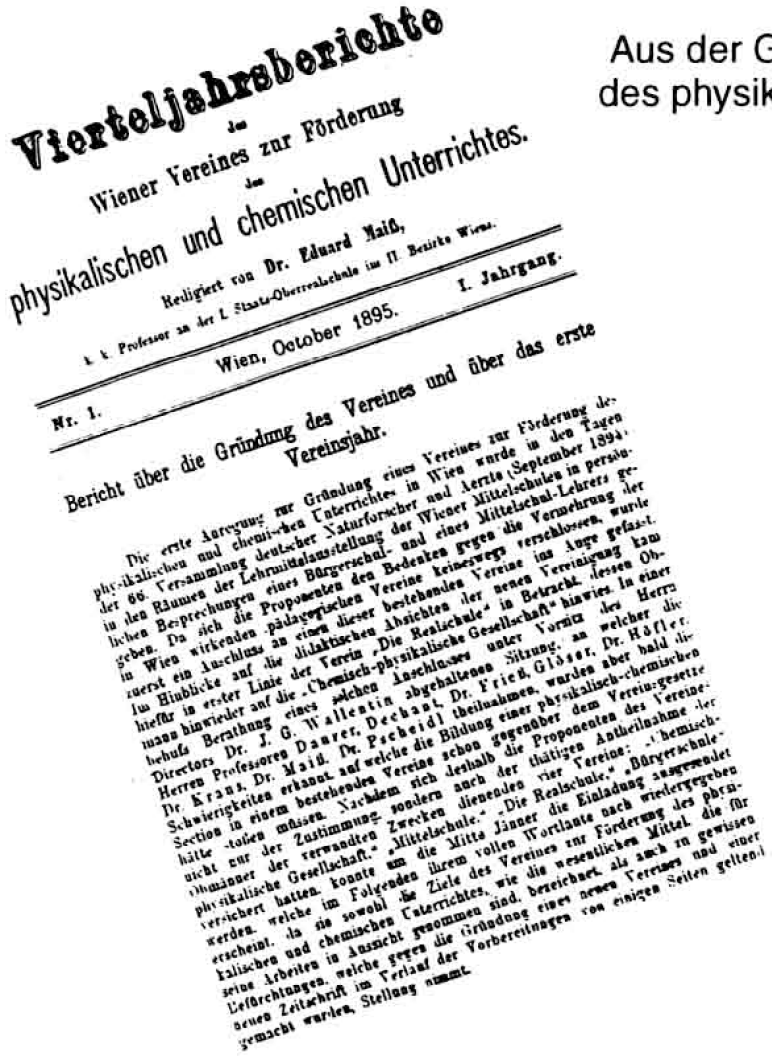
PLUS LUCIS 2/94

VEREIN ZUR FÖRDERUNG DES PHYSIKALISCHEN UND CHEMISCHEN UNTERRICHTS
ÖSTERREICHISCHE PHYSIKALISCHEN GESELLSCHAFT - FACHAUSSCHUSS LEHRER AN HÖHEREN SCHULEN



Vierteljahrsberichte
des
Wiener Vereines zur Förderung
des
physikalischen und chemischen Unterrichtes.

Redigiert von Dr. Eduard Maiß,
k. k. Professor an der I. Staats-Oberrealschule im II. Bezirke Wiens.

Nr. 1. Wien, October 1895. I. Jahrgang.

Bericht über die Gründung des Vereines und über das erste Vereinsjahr.

Die erste Anregung zur Gründung eines Vereines zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichtes in Wien wurde in den Tagen der 66. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte (September 1894) in den Räumen der Lehrmittelausstellung der Wiener Mittelschulen in persönlichen Besprechungen eines Bürgerschul- und eines Mittelschul-Lehrers gegeben. Da sich die Proponenten den Bedenken gegen die Vermehrung der in Wien wirkenden pädagogischen Vereine keineswegs verschlossen, wurde zuerst ein Anschluss an einen dieser bestehenden Vereine ins Auge gefasst. Im Hinblicke auf die didaktischen Absichten der neuen Vereinigung kam hiefür in erster Linie der Verein „Die Realschule" in Betracht, dessen Obmann hinwieder auf die „Chemisch-physikalische Gesellschaft" hinwies. In einer behufs Berathung eines solchen Anschlusses unter Vorsitz des Herrn Directors Dr. J. G. Wallentin abgehaltenen Sitzung, an welcher die Herren Professoren Daurer, Dechant, Dr. Frieß, Glöser, Dr. Höfler, Dr. Kraus, Dr. Maiß, Dr. Pscheidl theilnahmen, wurden aber bald die Schwierigkeiten erkannt, auf welche die Bildung einer physikalisch-chemischen Section in einem bestehenden Vereine schon gegenüber dem Vereinsgesetze hätte stoßen müssen. Nachdem sich deshalb die Proponenten des Vereines nicht nur der Zustimmung, sondern auch der thätigen Antheilnahme der Obmänner der verwandten Zwecken dienenden vier Vereine: „Chemisch-physikalische Gesellschaft," „Mittelschule," „Die Realschule," „Bürgerschule" versichert hatten, konnte um die Mitte Jänner die Einladung ausgesendet werden, welche im Folgenden ihrem vollen Wortlaute nach wiedergegeben erscheint, da sie sowohl die Ziele des Vereines zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichtes, wie die wesentlichen Mittel, die für seine Arbeiten in Aussicht genommen sind, bezeichnet, als auch zu gewissen Befürchtungen, welche gegen die Gründung eines neuen Vereines und einer neuen Zeitschrift im Verlauf der Vorbereitungen von einigen Seiten geltend gemacht wurden, Stellung nimmt.

Aus der Geschichte des Vereins zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts

Boltzmann und die Evolutionäre Erkenntnistheorie

Projektunterricht

Ist die Erde wirklich eine Kugel?

Lehrplanentwurf Physik/Chemie

Freihandexperimente

Victor Franz Hess

Schwarzes Loch in M87?

Komet Shoemaker-Levy

Kosmische Strings

Idas Mond

Bücherecke

ÖPG-Jahrestagung in Innsbruck

21.-23. 9. 1994

Physik Chemie

Impressum

PLUS LUCIS, Mitteilungsblatt des Vereins zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts und des Fachausschuß LHS der Österreichischen Physikalischen Gesellschaft.

Erscheint viermal jährlich.

Medieninhaber und Herausgeber: Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts, p. Adr. Institut für Theoretische Physik der Universität Wien, Strudlhofgasse 4, 1090 Wien.

Redaktionsteam dieser Ausgabe: H. Kühnelt, W. Haslauer, W. Rentzsch und Helga Stadler.

Preis des Einzelhefts: S 40,-, für Mitglieder S 20,- (ist im Mitgliedsbeitrag enthalten). Die jährliche Abonnementgebühr für Nichtmitglieder beträgt S 150,-

Offenlegung nach § 25 des Mediengesetzes:

Grundlegende Richtung: Fortbildung und fachliche Information für Physik- und Chemielehrer, organisatorische Mitteilungen, Vereinsinterna.

Beiträge werden erbeten an:

Dr. H. Kühnelt, Institut für Theoretische Physik der Universität Wien, Strudlhofg. 4, 1090 Wien, Telefon: 0222-31367-3415

HOL W. Haslauer, Wienerstr. 21, 3250 Wieselburg

Mag. H. Stadler, Institut für Theoretische Physik der Universität Wien, Strudlhofg. 4, 1090 Wien

Es wird gebeten, Beiträge nach Möglichkeit auch auf Diskette (MS-DOS, Windows oder Macintosh) einzureichen. Bevorzugtes Dateiformat: MS-Word.

Inhalt

Vorwort: Trends in Science Education 1

Lehrplan

Die Schüler sollen 2

Lehrplanentwurf Physik/Chemie - 3. und 4. Klasse 4

Reaktionen 8

Projekt 2000+ 9

Vorträge

Reflexionen über die hundertjährige Geschichte des Vereins 11

Boltzmann und die Evolutionäre Erkenntnistheorie 14

Kosmische Strings 22

Für die Praxis

Projektunterricht am Beispiel "Wohnhaus" 28

Ist die Erde wirklich eine Kugel? 33

Freihandexperimente 32

Wissenschaft auf Briefmarken

Victor Franz Hess 35

Aktuelles

Schwarzes Loch in M87? Komet. Idas Mond 27

Bücherecke 37

Umschlagbild:

Faksimile der ersten Ausgabe der Vierteljahrsberichte des Vereins zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts aus dem Jahre 1895

Der Druck dieser Ausgabe wird durch eine Subvention des BMWF gefördert.

Trends in Science Education

Kurzbericht über den Vortrag von Prof. Dr. M. Atkin am 25.5.1994

In der Diskussion über die Entwicklung des österreichischen Schulwesens ist ein Blick über die Grenzen nützlich. Es traf sich daher bestens, daß Prof. M. Atkin, Chemiker und Erziehungswissenschaftler sowie Inhaber eines Lehrstuhls für Didaktik der Naturwissenschaften an der Universität von Stanford, im Anschluß an eine einwöchige Gastvorlesung an der Universität Klagenfurt auch in Wien einen Vortrag halten konnte. Prof. Atkin ist Mitglied des National Committee on Science Education Standards and Assessment der National Academy of Sciences. Im Rahmen des OECD-Projekts "Science, Mathematics and Technology Education", in dem die Evaluation von Schulinnovationen in USA and 12 europäischen Ländern mittels Fallstudien zu einer vertieften Einsicht in Schulinnovationen und zu einem internationalen Erfahrungsaustausch führen soll, ist Prof. Atkin als Berater tätig.

Im folgenden seien einige seiner Aussagen kurz und unkommentiert dargestellt:

In USA herrscht zwischen den beiden politischen Parteien Übereinstimmung, daß der naturwissenschaftlichen Ausbildung verstärkte Aufmerksamkeit zu schenken sei. Hauptgrund ist die gefährdete wirtschaftliche Position auch im Bereich der Hochtechnologie. Daher wird Geld in beträchtlicher Höhe zur Verfügung gestellt - nach einer Aussage von Präsident Bush soll das amerikanische Schulsystem bis zum Jahr 2000 das weltbeste sein. Diesem Ziel soll die Entwicklung von Weltklasssestandards dienen. Nicht nur der "Technologieschock" beunruhigt den Präsidenten, weitere Faktoren sind Umweltprobleme, das Drogenproblem, AIDS u.a. - all dies erfordert sicherlich eine verbesserte naturwissenschaftliche Grundbildung der Bevölkerung. Dem steht gegenüber, daß Naturwissenschaft und Naturwissenschaftler in der Öffentlichkeit nicht mehr den Stellenwert besitzen, den sie nach dem 2. Weltkrieg hatten.

Ein starker Trend geht dahin, Naturwissenschaft in der Schule stärker anwendungs- und handlungsorientiert zu unterrichten und den Bedürfnissen und Interessen der Schüler, wie auch der Gesellschaft Rechnung zu tragen. Dies kontrastiert zur Reformbewegung der 60er Jahre, in der die Prinzipien der Disziplinen, wie sie von den hervorragendsten Vertretern ihres Faches gesehen wurden, im Vordergrund standen. Verstärkt wird die Notwendigkeit zur Reform auch dadurch, daß ein immer größerer Anteil der Jugendlichen bis zum 18. Lebensjahr die High School besucht: Das Begabungsspektrum ist "breiter" geworden - wie kann diesem Umstand Rechnung getragen werden?

Die American Chemical Society unterstützt mit Materialien und Personal diesen Trend: "Chemistry in the Community" stellt Chemie in der Anwendung für Fragen des Alltags dar. Von der Verschmutzung der Gewässer zum Studium der Chemie der Verunreinigungen!

Gemeinsame, über die Disziplingrenzen hinausgreifende Ordnungsprinzipien wie Gleichgewicht, Symmetrie,... sollten herausgearbeitet werden. Damit lassen sich überholte Barrieren zwischen den Disziplinen abbauen.

Forschung als menschliche Tätigkeit - Forscheralltag. Die Entwicklung der wichtigsten Ideen in der Gegenüberstellung mit ihren jeweiligen Konkurrenten zeigt, daß naturwissenschaftlicher Fortschritt keineswegs zielgerichtet ist, sondern in einem steten Prozeß der Kritik sich entwickelt, wobei die Kritiker einer neuen und letztlich erfolgreichen Idee genauso ernst zu nehmen sind wie ihre Verfechter. Auch sollte sichtbar werden, in welchem Ausmaß Einzelleistungen doch wieder vom Umfeld abhängig sind.

Stark gefördert wird durch das Department of Energy der Schulkontakt zu staatlichen und privaten Forschungseinrichtungen. Beispielsweise können Lehrer, die meist nur für ihre Unterrichtstätigkeit bezahlt werden, und daher in den Ferien unbezahlt sind, gegen Bezahlung in den Sommermonaten in Forscherteams mitarbeiten. Es wird eine Umsetzung der Erfahrungen für die Schule gewünscht. Klassen kommen in Betriebe und Labors, Experten gehen in die Schulen. Die durch die Ferialtätigkeit gewonnenen Erfahrungen werden in interessanten Unterrichtsprojekten umgesetzt.

In England, Schottland, in den Niederlanden und in Australien wird das Fach Technik gefördert: "Wie funktioniert...?" Ein Schwerpunkt liegt im Entwurf von Gebrauchsgegenständen.

Eine rege Diskussion schloß den anregenden Vortrag ab.

Die Fortbildungswoche 1994 ist lange vorbei, die Planung für das nächste Jahr im Anlaufen. Schreiben Sie uns Ihre Wünsche und Vorschläge zum Programm! Wenn Sie aktiv zur Fortbildungswoche im Jubiläumsjahr 1995 beitragen wollen, melden Sie sich bitte.

Allen Mitgliedern des Vereins zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts und des ÖPG-Fachausschusses LHS wünscht erholsame Ferien

Ihr Helmut Kühnelt

Bitte vormerken:

49. Fortbildungswoche: 27. 2. - 3. 3. 1995

Die Schüler sollen ...

Warum gelangen die Lernziele des Lehrplans nicht in den Physikunterricht?

Gerhard Rath

In den neuen Lehrplänen für Physik an AHS sind verbindliche Lernziele formuliert. Ein lernzielorientierter Unterricht ist also gesetzlich vorgeschrieben, etwas überspitzt formuliert stellt somit ein stofforientierter Unterricht einen Gesetzesbruch dar.

Ich behaupte nun, daß dieser lernzielorientierte Unterricht bisher nicht in die Schulpraxis gedrungen ist und auch in Zukunft nicht so ohne weiteres dorthin gelangen wird. "Die Lehrer sollen ..." bleibt ebenso unerfüllt wie "Die Schüler sollen ...". Dazu vorerst eine grundsätzliche Überlegung zur Analyse von Unterricht, aus der dann die Begründung der obigen Behauptung folgt.

Es geht nicht zielorientiert

Die Kopenhagener Deutung der Quantenmechanik benutzt für ihre Beschreibung der Mikrowelt einen fundamentalen Widerspruch: Jenen zwischen Raum-Zeitlichem Geschehen und Kausalität. Ein ähnlicher Widerspruch scheint mir das Spannungsfeld zu beschreiben, in dem ein Lehrer grundsätzlich steht:

Raum-Zeitliches Geschehen	Kausalität
Tatsächlich ablaufender, ganzheitlich erlebter Unterricht, veränderlich	Im Kopf des Lehrers anwesende kausale Strukturen
Räumlicher Zusammenhang (Schüler, Klasse), Zeitlicher Ablauf	System der Physik, "Stoff", feststehend, beständig
Aktuelle Praxis	Unterrichtstheorie

Die einzige brauchbare kausale Struktur, an der sich Physikunterricht orientieren kann, ist das System der Fachphysik. Diese gewaltige, über Jahrhunderte gewachsene Konstruktion gibt Lehrern und Schülern Sicherheit und stellt damit die jeden Physikunterricht steuernde Instanz dar. Dies ergibt den stofforientierten Unterricht, gegen den sich die neuen Lehrpläne wandten. Sie versuchten, ein anderes kausales System an die Stelle des alten zu setzen, und zwar eine Hierarchie von Zielen:

Allgemeines Bildungsziel - Fachübergreifende Ziele - Fachspezifische Ziele - Lernziele einzelner "Module"

Dieses System stellt meiner Meinung nach höchstens eine Kosmetik des bisherigen Unterrichts dar, es gelangt nicht in die Praxis.

- Es gibt keine logisch konsistente Hierarchie von Lernzielen, keinen eindeutigen Weg von den allgemeinen zu den speziellen Zielen. Die Struktur bleibt vage, schwammig und hat gegen jene der Physik keine Chance.

Mag. Dr. Gerhard Rath, BRG Keplerstraße Graz
Aframerstr. 3, 8410 Wildon

- Die Lehrer haben sich jahre-, oft jahrzehntelang mit dem System der physikalischen Inhalte beschäftigt, sie sind es gewohnt, fühlen sich dort sicher. Der lernzielorientierte Lehrplan stellt dagegen nur ein Stück Papier dar, nicht mehr.
- Die Lehrbücher als eine oftmals bestimmende Instanz des Unterrichts sind nach wie vor am Lehrstoff orientiert. Ich behaupte, sie können gar nicht an Lernzielen orientiert sein, da jedes Lernziel aus zwei Teilen besteht: Dem des Inhalts und dem des Schülerverhaltens (z.B.: das Induktionsgesetz anwenden können). Nun kann ein Schülerverhalten niemals Teil eines Lehrbuchs sein.
- Die Autoren dieses Lehrplans, wohl selbst Physiker, sind jedoch mit dem theoretischen Anspruch ohnehin nicht zurechtgekommen und haben mühevoll Inhalte als Ziele umformuliert. Der Lehrplan ist also eigentlich immer noch inhaltsorientiert, auffrisiert durch von Lehrern ungeliebte Ziele.
- Die *Lerntheoretische Didaktik*, deren Absicht die Erstellung von Lernzielhierarchien ist, hat ihren Höhepunkt innerhalb der Didaktischen Diskussion längst überschritten. Sie stellte in den sechziger Jahren den Gegenpol zur *Bildungstheoretischen Didaktik* (W. Klafki) dar, welche sich vor allem an den Inhalten orientierte, und war vom Behaviourismus beeinflußt. Schon seit den siebziger Jahren verwendet man zur Theorie der Planung und Analyse von Unterricht eher vielschichtige, netzwerkartige Modelle, zum Beispiel jenes der "Berliner Schule", das die Wechselwirkungen von vier Faktoren untersucht: Inhalte, Methoden, Ziele und Medien. Der Physiklehrplan baut also auf einer überholten Didaktik auf.

Wie könnte es sonst gehen?

Und so kam es, daß ein ganzes Volk von Physiklehrern zu Gesetzesbrechern wurde. Sollen wir uns damit abfinden?

Unbestritten ist, daß Zielüberlegungen für die Qualität eines Unterrichts sehr wichtig sein können, etwa indem man sich Fragen folgender Art stellt:

Was sollen die Schüler am Ende der Stunde können, was sie zu Anfang noch nicht konnten, und warum? Wozu sollen sie diesen Inhalt eigentlich lernen? Ist es wichtig, daß sie das Wissen ständig verfügbar haben? Brauchen sie es für jetzt, für später? Genügt es, wenn sie wissen, wo sie nachsehen müssen? Würden sie in irgendeiner Hinsicht schlechter leben, wenn sie dieses Wissen nicht hätten? Was sollen sie mit dem Wissen anfangen, was tun sie eigentlich in der Stunde? ...

Um eine Chance zu haben, in die Unterrichtsrealität einzudringen, müßte ein theoretisches System erstellt werden, das dem physikalischen Kanon gleichwertig ist. So ein System läßt sich meines Erachtens aus irgendeinem didaktischen Konzept allein überhaupt nicht ableiten. Man muß auf jeden

Fall von dort ausgehen, wo die Lehrer stehen, und diese stehen in der Physik. Doch halt - Physik ist ja nicht nur ein System von Inhalten, von "toten" Fakten, Gesetzen, Anwendungen, Physik ist auch das, was Physiker tun, es ist auch ein System von Handlungen und Fertigkeiten. Auch mit diesen ist jeder Lehrer vertraut!

Ich meine, daß ein handlungsorientierter Lehrplan mittelfristig die einzige Möglichkeit darstellt, von einem einseitigen Stofflehren zu einem sinnvoll zielorientierten Arbeiten zu kommen. Dazu ist es allerdings zuerst nötig, ein System von Handlungen zu erstellen, das möglichst viele Verhaltensweisen abdeckt, die in der Physik wichtig sind. Außerdem müssen diese in eine kausale Abfolge gebracht werden, von einfachen zu komplexen Handlungen fortschreitend. Zum Dritten müßten in dieses System Fähigkeiten eingebunden sein, die auch außerhalb der Naturwissenschaft wichtig sind (Kreativität, Arbeit im Team etc.).

So ein System existiert meines Wissens nach nicht. Doch es existieren viele kleine Teile, in jedem Unterricht, meist wohl unorganisiert, es wird beobachtet, nachgedacht, experimentiert, gefolgert, gerechnet usw. Daher erscheint es mir nicht so utopisch, aus vielen Puzzlestücken ein Bild zu entwikkeln, das dann der Stoffphysik gleichwertig zur Seite stehen kann.

Notwendige Schritte:

- Um ein gewisses Basiswissen kommt man auf keinen Fall herum. Jedes Handeln vollzieht sich an bestimmten Inhalten. Der Lehrplan müßte einen Vorschlag der notwendigsten Kenntnisse jedes Jahrgangs enthalten.
- In der (fachlichen) Ausbildung der Physiklehrer sollte dem inhaltsorientierten Bereich (Vorlesungen) ein ungefähr gleich gewichteter handlungsorientierter Bereich (Praktika, Projektarbeit) zur Seite gestellt werden.
- Die Konzeption der Lehrbücher müßte geändert werden: Nur ein Buch für die Oberstufe mit zwei Funktionen: erstens ein Nachschlagwerk, das die wesentlichen Inhalte der ganzen Physik in knapper Form enthält, zweitens Anregungen, Fragen, Probleme, Vorschläge für Versuche, Aufgaben, Vorschläge für Projekte - alles ohne Lösungen.

Wie könnten entsprechende Lehrpläne aussehen?

Als erstes müssen die vielen relevanten Handlungsmöglichkeiten in ein didaktisch sinnvolles hierarchisches System gebracht werden, etwa wie im folgenden Vorschlag skizziert:

- Beschreiben von Naturbeobachtungen oder von technischen Geräten (mündlich oder schriftlich)
- Stellen von Fragen, Entdecken von Problemen (z.B.: Warum fällt der Regen nicht auf einmal herunter?)
- Formulieren von Ideen, Spekulieren, Lösungen vorschlagen
- Verschiedene Hypothesen diskutieren
- Abstrahieren, meßbar machen, notwendige Begriffe definieren
- Experimente planen, durchführen, auswerten
- Ergebnisse festhalten, überprüfen, bewerten, Grenzen diskutieren
- Lösungen in der Literatur suchen
- Ergebnisse zusammenfassen, einordnen
- Anwenden, Aufgaben lösen, technische Geräte erklären
- Im Rahmen einer Theorie Zusammenhänge herstellen, mathematisch ableiten
- Neue Anwendungen suchen, innovativ sein (allein oder im Team)
- Forschungsprozesse (im Kleinen) als Ganzes durchlaufen ("Entdeckendes Lernen")
- Komplexe Problemstellungen projektartig behandeln (Energie, Umwelt, Frieden, Technisierung, ...)

So eine Hierarchie sollte in jedem Schuljahr durchlaufen werden - in den unteren Schulstufen mehr qualitativ, umgangssprachlich, Lehrer-gesteuert, stärker die einfacheren Handlungen betreffend, in den höheren Klassen sich zu den komplexeren Handlungen hin entwickelnd.

Der eingangs erwähnte Widerspruch zwischen Raum-Zeit und Kausalität bleibt aber in jedem Fall bestehen. Doch statt ihn zu ignorieren, kann man ihn zum Ausgangspunkt konkreter Lehrplangestaltung nehmen. Er äußert sich nun als Widerspruch zwischen dieser Hierarchie der Handlungen und der nach wie vor bestehenden Hierarchie der Lehrstoffe - hier angedeutet am Beispiel des Oberstufenlehrplans:

Handlungen	Lehrstoff
Beobachten	Grundgrößen: Länge, Zeit, Masse
Fragen stellen	Geschwindigkeit, Beschleunigung
Lösungen vorschlagen	Einfache Bewegungen
Experimentieren	Trägheitsprinzip
...	...

Ich meine, daß die Lösung des Widerspruchs jeweils an konkreten, möglichst interessanten Problemen und Aufgabenstellungen erfolgen muß. An einer Fragestellung werden immer mehrere Handlungsformen erprobt, - vor allem die komplexeren enthalten bereits die einfachen. So ein Lehrplan würde aus drei Teilen bestehen - und sollte möglichst knapp gefaßt sein:

- Handlungen
- Problemstellungen
- Lehrstoff (Basiswissen)

Die allgemeinen Ziele der gültigen Lehrpläne könnten im Prinzip beibehalten werden und den Rahmen dieses Vorschlags bilden.

Lehrplanentwurf

HS Physik und Chemie
AHS Physik (Gymnasium und Realgymnasium)
3. Klasse

1. Wärme als eine Form der Energie - Erscheinungen in Umwelt und Alltag

Lernziele

Erarbeiten des Begriffs Wärmeenergie durch Beobachten und Einordnen von Wärmephänomenen im Alltag.

Planen und Durchführen von experimentellen Untersuchungen zu grundlegenden Zusammenhängen.

Deuten dieser Zusammenhänge mit Hilfe des Teilchenmodells.

Modellartiges Erklären verschiedener Formen des Wärmetransports und deren gleichzeitigen Auftretens.

Erkennen der Bedeutung des Wärmeaustauschs für Lebewesen.

Modellartiges Erklären von Zustandsänderungen.

Erkennen deren praktischer Bedeutung.

Verstehen der dabei auftretenden Energieumsetzungen.

Einsicht gewinnen in die Zusammenhänge zwischen beobachteten Wettervorgängen und globalen Klimaerscheinungen durch die Einwirkung der Sonne.

Lerninhalte:

Reibungswärme. Verbrennungswärme. Stromwärme.

Heizsysteme, Wärmedämmung, Kleidung.

Wärmehaushalt von Lebewesen.

Bedingungen für die Änderung der Zustandsformen (Temperatur, Druck). Löten, Schweißen.

Anomalie des Wassers. Druckkochtopf. Zustandsänderungen bei der Zubereitung von Speisen.

Schmelz- und Verdampfungswärme.

Wiederverwertung von Materialien.

Die Sonne als Motor für das Wettergeschehen und als Energiequelle: Tag und Nacht, Jahreszeiten, Wasserkreislauf, Meeresströmungen, Windsysteme, Nebel- und Wolkenbildung, Niederschläge.

2. Ströme im täglichen Leben - Erfahrungsbereich Elektrizität

Lernziele:

Planen und Durchführen von experimentellen Untersuchungen zu grundlegenden Zusammenhängen.

Verstehen von elektrischen Erscheinungen aus dem Erfahrungsbereich der Schüler durch Erweiterung des Teilchenmodells.

Anwenden dieser Erkenntnisse auf die Struktur der Materie.

Verstehen der unterschiedlichen elektrischen Leitfähigkeit von Stoffen.

Wissen der Gesetzmäßigkeiten einfacher Stromkreise.

Qualitatives Verstehen verschiedener Spannungsquellen als Energieumformer.

Lerninhalte:

Stromkreise in Alltag und Schülerexperiment.

Phänomene der Elektrostatik.

Atomaufbau aus Kern und Hülle (neutrales Atom, Ion, Elektron). Moleküle. Einfache Summenformeln.

Prinzipieller Aufbau von Leitern, Halbleitern, Elektrolyten und Nichtleitern mit Beispielen praktischer Anwendungen.

Stromstärke. Spannung. Widerstand. Größenordnungen in Natur und Technik (z.B. EKG, Elektrofahrzeuge, elektrisches Spielzeug, Haushaltsgeräte, Blitz).

Gefährdung des Menschen durch elektrischen Stromfluß.

Energieumformung in galvanischen Zellen, Batterien, Akkumulatoren, Solarzellen, Thermoelementen und im Fahrraddynamo.

3. Elektrizität in Haushalt und Technik - Schutz- und Sparmaßnahmen.

Lernziele:

Planen und Durchführen von Untersuchungen zu grundlegenden Zusammenhängen.

Qualitatives Erkennen von unterschiedlichen Bewegungen elektrischer Ladungsträger.

Sicherheitsbewußtes Umgehen mit Elektrogeräten.

Verstehen von Energieumformung, Arbeitsverrichtung und Wirkungsgrad elektrischer Geräte.

Unterscheiden, Anwenden und Verallgemeinern der Begriffe Arbeit und Leistung.

Erkennen der Notwendigkeit von Energiesparmaßnahmen.

Gewinnen von Einsichten in die ökologische Bedeutung von Energiesparmaßnahmen.

Erarbeiten sinnvoller Möglichkeiten von Energiesparmaßnahmen.

Lerninhalte:

Gleichstrom. Wechselstrom.

Spannungsbereiche. Isolation. Berührschutz.

Sicherungen als Anlagenschutz. Schutzfunktion des FI-Schalters.

ÖVE-Kennzeichnung. Leistungsschild.

Umformung von elektrischer Energie in Wärmeenergie, Lichtenergie, bzw. mechanische Energie.

Stromzähler. Elektrische Arbeit.

Elektrische Leistung. Leistungsbedarf von Elektrogeräten.

Grundlast, Spitzenbedarf in der öffentlichen Stromversorgung.

HS Physik und Chemie
AHS Physik (G und RG) - 4. Klasse

1. Elektrizität in Haushalt und Technik - Erzeugung und Transport von elektrischer Energie

Lernziele:

Einsicht gewinnen in die magnetischen Wirkungen elektrischer Ströme.
Prinzipielles Verstehen des ursächlichen Zusammenhanges zwischen der Änderung eines Magnetfeldes und dem Auftreten einer elektrischen Spannung.
Prinzipielles Verstehen der Kraftwirkungen eines Magnetfeldes auf einen stromdurchflossenen Leiter.
Erkennen der Bedeutung des Elektromagnetismus in Alltag und Technik.
Planen und Durchführen einfacher Experimente.
Grundlegendes Wissen über Transport und Verteilung elektrischer Energie.
Erkennen der Gefahren des elektrischen Stroms.
Verstehen der Bedeutung wichtiger elektrotechnischer Sicherheitseinrichtungen.

Lerninhalte:

Permanentmagnet. Elektromagnet. Magnetfeld. Magnetische Influenz. Praktische Anwendungen.
Phänomene der Induktion an Hand einfacher Experimente.
Wirkungsweise von Elektromotor, Generator und Transformator. Praktische Anwendungen.
Transport elektrischer Energie. Nationale und internationale Elektrizitätsversorgung.
Grundlagen des Elektroschutzes.

2. Wie Geräte funktionieren - Erfahrungsbereich technischer Alltag.

Lernziele:

Einsicht gewinnen in Prinzip und Funktionsweise von technischen Geräten aus dem Interessensbereich der Schüler.
Erarbeiten von Prinzipien der Informationsübertragung und Informationsspeicherung mittels Schüleraktivitäten.

Lerninhalte:

Prinzip und Funktionsweise von Elektrogeräten (z.B. Fernsehapparat, Telefon, Kassettenrecorder, CD-Player, Waschmaschine).
Analoge und digitale Signale. Beispiele für praktische Anwendungen.

3. Licht und Farben - Erfahrungsbereich Sehen

Lernziele:

Erkennen der Voraussetzungen für die Sichtbarkeit von Körpern.
Wissen um die geradlinige Lichtausbreitung und die Schattenbildung.
Unterscheiden können der verschiedenen Reflexionsarten.
Einsicht gewinnen in die grundlegenden Vorgänge bei der Lichtbrechung.
Verstehen der Bildentstehung in optischen Systemen.
Erkennen der Entstehung von Körperfarben.

Lerninhalte:

Scheinwerfer. Tag und Nacht. Mondphasen, Mond- und Sonnenfinsternisse. Camera Obscura.
Reflexionsverhalten unterschiedlicher Körper.
Ebene und gekrümmte Spiegel. Bildentstehung.
Brechung zum Lot. Brechung vom Lot. Totalreflexion. Optische Prismen.
Sammel- und Zerstreuungslinsen. Bildentstehung.
Funktionsweise ausgewählter optischer Geräte.
Zerlegung des weißen Lichtes: Spektrum.
Körperfarben durch Reflexion und Absorption.

4. Kräfte und ihre Wirkungen - Erfahrungsbereich Kurvenfahrt

Lernziele:

Unterscheiden und Anwenden der physikalischen Größen Geschwindigkeit und Beschleunigung (qualitativ und quantitativ).
Erkennen und Verstehen des Zusammenhanges zwischen Beschleunigung und Kraft.
Verstehen einer Bewegung längs einer gekrümmten Bahn als Folge der Einwirkung einer Querkraft.
Deuten der Gewichtskraft als Gravitationskraft.
Einsicht gewinnen in die Bewegungen von Planeten und Satelliten.

Lerninhalte:

Geschwindigkeiten und Beschleunigungen einfacher Bewegungsabläufe in Schülerexperimenten.
Kräfte in einfachen Bewegungsabläufen in Alltag und Sport. Sicherheitsaspekte.
Zentralkraft.
Qualitative Abhängigkeit der Gravitationskraft von den Massen und ihrem Abstand.
Bahnen von Planeten und Satelliten.

5. Strahlung und Energie - Radioaktivität in Umwelt und Technik

Lernziele:

Einsicht gewinnen in die Veränderungen im Atomkern als Ursache für Radioaktivität.
Verstehen der Radioaktivität als ständig auftretender Vorgang.
Einsicht gewinnen in die Energieumsetzung in Sonne und in Kernreaktoren.

Lerninhalte:

Alpha-, Beta-, Gammastrahlung. Zeitliche Abnahme der Aktivität. Abschirmung.
Radioaktivität in der Umwelt. Hintergrundstrahlung.
Auswirkung ionisierender Strahlung. Qualitativer Vergleich von Hintergrundstrahlung und technisch verursachter Strahlung. Strahlenschutz.
Anwendung radioaktiver Stoffe in Forschung, Medizin und Technik.
Kernverschmelzung. Kernspaltung.

AHS Chemie (G und RG)
HS Chemie
4. Klasse

1. Chemie, die Welt der Stoffe - Erklärung von Stoffeigenschaften

Lernziele:

Einsicht gewinnen in die unterschiedlichen Eigenschaften von Gemengen und Reinstoffen und in physikalische Trennverfahren.

Einsicht gewinnen in die chemische Natur der Reinstoffe als Verbindungen oder Elemente.

Erkennen der Notwendigkeit von Energieumsetzungen für chemische Reaktionen.

Qualitatives Verstehen der Bedeutung elektrostatischer Kräfte für den Atombau und für die chemische Bindung.

Kennenlernen der Symbolschreibweise für Elemente bzw. Atome, Verbindungen bzw. Moleküle und für chemische Reaktionen.

Verstehen des Ordnungsprinzipes der Elemente.

Lerninhalte:

Experimentelle Durchführung einiger Trennverfahren. Hinweise auf deren technische Bedeutung.

Wasserelektrolyse. Nachweisreaktionen für Wasserstoff und Sauerstoff. Sicherheitsaspekte beim Umgang mit brennbaren Gasen.

Atomaufbau aus Kern und Hülle.

Periodensystem der Elemente.

Gegenüberstellung der chemischen Bindungsarten und deren Bedeutung für die Eigenschaften von Stoffen.

2. Die Lebensräume Luft und Wasser - wie rein sollten sie sein?

Lernziele:

Erkennen der Dosis als Kriterium für die Schädlichkeit von Stoffen und der Notwendigkeit eines verantwortungsvollen Umgangs mit Chemikalien.

Verstehen der Bedeutung des Sauerstoffs für Lebensvorgänge und in der Industrie.

Verstehen der Bedeutung des Wassers für Lebensvorgänge.

Einsicht gewinnen in die Entstehung, Ausbreitung und Wirkungsweise von Schadstoffen sowie in die Möglichkeiten zu deren Verminderung.

Lerninhalte:

Dosis. MAK, MIK, ppm, ppb.

Gefahrensymbole und Aufbewahrungsrichtlinien für Chemikalien in Labor und Haushalt. Entsorgungsmöglichkeiten.

Experimentelle Bestimmung der Hauptbestandteile der Luft.

Oxidation als Aufnahme und Reduktion als Abgabe von Sauerstoff.

Rasch und langsam ablaufende Oxidationen. Flammpunkt. Reaktionen von Oxiden mit Wasser.

Wasserstoff als Reduktionsmittel.

Schadstoffe der Luft durch Verbrennungsvorgänge und aus natürlichen Quellen. Ozon, Smog.

Katalysatorwirkung.

Wasser als Lösungsmittel. Beispiele für Schadstoffe im Wasser.

3. Säuren und Basen im Alltag - Eigenschaften und Nachweis.

Lernziele:

Einsicht gewinnen in wichtige Eigenschaften von Säuren und Basen.

Sicherheitsbewußtes Umgehen mit Haushaltschemikalien.

Erkennen der Eigenschaften von Salzen wichtiger Salzgruppen.

Lerninhalte:

H^+- und OH^--Ionen als Merkmale saurer und basischer Lösungen; Nachweis durch Indikatoren. pH-Wert als Meßgröße.

Typische Eigenschaften von Salzsäure, Schwefelsäure, Salpetersäure, Essigsäure.

Typische Eigenschaften von Natronlauge, gelöschtem Kalk, Ammoniak.

Neutralisation. Beispiele für wichtige Salzgruppen.

4. Die Natur als Rohstoffquelle - Spannungsfeld zwischen Ökonomie und Ökologie

Lernziele:

Wissen um die Bedeutung von Salzen als Rohstoffe zur Herstellung von großtechnisch wichtigen Zwischen- und Endprodukten sowie von Materialien des Alltags.

Erkennen der umweltrelevanten Aspekte bei Erzeugung, Verwendung und Wiederverwertung von industriellen Produkten.

Lerninhalte:

Reduktionsverfahren in der chemischen Industrie: Kochsalzelektrolyse, Gewinnung von Aluminium, Eisen und Stahl.

Eigenschaften und Bedeutung der technischen Zwischen- und Endprodukte.

Beispiele für Salze als Rohstoffe (Düngemittel, Baustoffe, Glas und Porzellan).

Umweltrelevante Aspekte und Möglichkeiten der Wiederverwertung.

5. Bausteine organischer Verbindungen - Bedeutung des Kohlenstoffs

Lernziele:

Verstehen der Strukturformen von Kohlenwasserstoffen als Grundstrukturen organischer Verbindungen.

Erkennen des Einflusses von Molekülgröße und zusätzlichen Atomen bzw. Atomgruppen für die Eigenschaften organischer Stoffe.

Verstehen der unterschiedlichen Eigenschaften von Alkoholen und Carbonsäuren aufgrund ihres unterschiedlichen Aufbaus.

Lerninhalte:

Experimenteller Nachweis von Kohlenstoff und Wasserstoff in organischen Verbindungen.

Einfach- und Mehrfachbindungen in ketten- und ringförmigen Verbindungen. Verwendung von Molekülbaukästen.

Entstehung, Förderung und Verarbeitung von Erdöl, Erdgas und Kohle.

Strukturmerkmale von Alkoholen und Carbonsäuren.

Methanol. Ethanol, alkoholische Gärung. Glycerin. Essigsäure, Essiggärung. Höhere Fettsäuren.

Bedeutung von Alkoholen und Carbonsäuren in der Technik und für Lebensvorgänge. Gesundheitsgefährdung.

6. Fette, Kohlenhydrate und Eiweißstoffe - Erfahrungsbereich Ernährung

Lernziele:

Einsicht gewinnen in den Aufbau der Fette, Kohlenhydrate und Eiweißstoffe sowie in deren Bedeutung für die Ernährung.

Verstehen von Kreislaufsystemen in der Natur am Beispiel des Kohlenstoffkreislaufs.

Verstehen von Umweltproblemen als Störungen in Kreislaufsystemen.

Gewinnen einer gesundheitsbewußten Einstellung zur Ernährung.

Lerninhalte:

Fette als Produkte der Veresterung.

Vergleich des Aufbaus und der Eigenschaften von tierischen und pflanzlichen Fetten.

Kohlenhydrate. Traubenzucker, Fruchtzucker, Rohrzucker, Stärke: Vergleich des Aufbaus und der Eigenschaften. Nachweisreaktionen.

Fotosynthese als Teil des Kohlenstoffkreislaufs. Kohlendioxidproblem.

Proteine; Aufbau aus Aminosäuren. Nachweisreaktionen. Vielfalt der Kombinationsmöglichkeiten beim Proteinaufbau.

Informationen über das Lebensmittelgesetz.

Konservierungsmöglichkeiten von Nahrungsmitteln.

7. Stoffe für Reinigung und Hygiene

Lernziele:

Verstehen von Aufbau und Wirkungsweise von Seifen und Waschmitteln.

Verstehen des Einflusses der Wasserhärte auf die Waschwirkung.

Erreichen einer ökologisch sinnvollen, sicherheitsbewußten Verhaltensweise als Konsument.

Lerninhalte:

Verseifung; Seifen als Salze höherer Fettsäuren. Beispiele für Arten von Seifen.

Hartes und weiches Wasser.

Belastung der Gewässer durch Wasch- und Reinigungsmittel. Wirkungsweise von Kläranlagen.

Sicherheitsaspekte beim Umgang mit Wasch- und Reinigungsmitteln.

8. Synthesen in Natur und Industrie - Riesenmoleküle

Lernziele:

Einblicke gewinnen in die Vielfalt und Bedeutung von Textilfasern und Kunststoffen in verschiedenen Lebensbereichen.

Einsicht gewinnen in die geringe Anzahl von Reaktionsmöglichkeiten und Strukturunterschieden, die in Natur und Technik zur Bildung von Riesenmolekülen führt.

Unterscheiden können zwischen natürlichen, halbsynthetischen und synthetischen Produkten.

Einsicht gewinnen in die Möglichkeiten der Entsorgung und der Recyklierung von Textilfasern und Kunststoffen.

Lerninhalte:

Durchführung einfacher Experimente zur Unterscheidung von Textilfasern bzw. Kunststoffen.

Polymerisation von Alkenen.

Bildung unterschiedlicher Produkte aufgrund verschiedener Atome oder Atomgruppen im Molekül.

Pflanzliche und tierische Naturprodukte als Rohstoffe für die chemische Industrie; Zellulose.

Zellstoff als Zwischenprodukt für die Herstellung von Papier und Textilfasern.

Möglichkeiten der Müllvermeidung. Mülltrennung.

Nachbemerkung

Der Lehrplan Physik 2. Klasse tritt im Herbst 1994 in Kraft. Bis auf kleine Korrekturen in den didaktischen Grundsätzen und einer Erläuterung zur Rolle von Lernzielen und Lerninhalten stimmt er mit dem in PLUS LUCIS 2/93 vorgestellten Entwurf überein.

Die hier abgedruckten Entwürfe für den Physik- und Chemielehrplan der 3. und 4. Klasse sollen im Herbst in Begutachtung gehen. Schreiben Sie uns, auch Ihre Meinung ist wichtig.

Reaktionen

Betrifft: Leserbrief der Kollegin Ulrike Wieder in "Plus Lucis" 1/94 zum neuen Lehrplan 1994/95

Lassen Sie mich Ihnen und Ihren Mitarbeitern zum gelungenen Heft 1/94 meinen Dank aussprechen. Besonders der Beitrag zur Wiederkehr des 150. Geburtstag von Boltzmann hat mich sehr angesprochen.

Einige Bemerkungen und Gedanken zum Leserbrief der Kollegin Ulrike Wieder betreffs des neuen Lehrplans für Physik und Chemie möchte ich anfügen.

Wenn ich die einschlägige Literatur der vergangenen Jahre zum Thema Physik- und Chemieunterricht etwas kritisch betrachte, scheint mir die Rolle des Schülerexperiments für einen effektiven Unterricht doch als etwas zu wichtig genommen zu werden. Im Hauptschulbereich, in dem ich seit 15 Jahren unterrichte, stellen sich wie im genannten Leserbrief richtig dargestellt wurde, einer Durchführung von Schülerexperimenten mehrere, teilweise gravierende Hindernisse entgegen. Einige davon sind:

1. Die Ausstattung vieler Hauptschulen mit erforderlichen Räumlichkeiten (Arbeitsplätzen) und Geräten ist meist nicht gegeben und es ist auch durch die finanziell gespannte Lage vieler Schulerhalter (Gemeinden) auf absehbare Zeit keine Besserung zu erwarten.

2. Leistungsfähigkeit und Disziplin vieler Schüler in der Hauptschule lassen Schülerversuche nur sehr begrenzt und auf einfachstem Niveau zu. Der zeitliche und organisatorische Aufwand steht meiner Erfahrung nach oft im krassen Gegensatz zum späteren Wissen und Können. Ein gutes Lehrerexperiment, das bei Bedarf auch schnell wiederholbar ist, bringt gerade schwächeren Schülern oft mehr an Verständnis als ein mehr oder minder gelungenes Schülerexperiment.

3. Bei Klassen mit bis zu 30 Schülern ist eine sinnvolle Organisation und Kontrolle eines Schülerexperiments nicht möglich. Der Wunsch nach Einführung einer Teilung der Klasse in Gruppen bis etwa 15 Schüler, wie sie in anderen Fächern sei Jahren selbstverständlich ist, wird für die Hauptschule wohl ein frommer Wunsch bleiben. (Man denke daran, daß bis heute - im Gegensatz zur AHS - nicht einmal der Mehraufwand der 4 Stunden Physik in der 4. Klasse mit einer ganzen Abschlagstunde finanziell abgegolten wird!)

So scheint mir das Schülerexperiment, soweit es überhaupt an einer Schule durchführbar ist, *eine* Möglichkeit zur Motivation zu sein und/oder *eine* Möglichkeit zu sein, die Arbeitsmethode der Naturwissenschaften exemplarisch zu zeigen.

Lassen Sie mich noch einige allgemeine Gedanken zum derzeitigen Lehrplan anfügen. Leider wurde meiner Ansicht nach bei der Einführung des derzeitigen Lehrplans (fast) nur auf die Bedürfnisse der AHS-Unterstufe Rücksicht genommen. Der Abstraktionsgrad der Schulbücher wurde zwangsläufig für unsere Schultype viel zu hoch angesetzt (Beispiel: Berechnungen von Konzentrationen). Weiters wurde einfach eine PC-Stunde von der 3. in die 4. Klasse verlegt. Das meiner Erfahrung nach große Interesse der "kindlicheren" Schüler der 3. Klasse an Chemie wurde somit zugunsten einer formalen Angleichung der Stundentafel der AHS "geopfert". Entwicklungspsychologische Unterschiede in diesen Schulstufen wurden dabei in keiner Weise berücksichtigt. In der Hauptschule findet man aber andere Schüler als in der AHS-Unterstufe! (Die Stichworte sind Ausländeranteil in den Klassen, zunehmende Verhaltensauffälligkeiten, Disziplinprobleme, mangelnde Lese- und Schreibkenntnisse).

Zum Abschluß kann ich mich nur noch einmal den von Kollegin Ulrike Wieder geäußerten Wünschen anschließen und hoffe, daß sie beim neuen Lehrplan 1994/95 berücksichtigt werden:

1. Möglichkeiten zur Teilung von Klassen bzw. Einführung von Übungen mit maximal 15 Schülern in Physik und Chemie.
2. Verlegung einer PC-Stunde von der 4. in die 3. Klasse der Hauptschule.
Und noch ein Wunsch an unsere Interessenvertreter:
3. Finanzielle Abgeltung der Mehrbelastungen für die Vorbereitung zum Unterricht in der 4. Klasse der Hauptschule.

Mit freundlichen Grüßen Rainer Gabriel, Bürs

Stellungnahme

ad 1) Für viele einfache Schülerexperimente ist es nicht notwendig, teure und komplizierte Gerätekästen anzukaufen. Zahlreiche Versuche können mit sehr einfachen Mitteln kostengünstig durchgeführt werden.

ad 2) Was spricht gegen Versuche auf einfachstem Niveau? Natürlich spricht nichts gegen ein gutes Lehrerexperiment, bei dem ja auch Schülerinnen und Schüler direkt eingebunden werden können.

ad 3) Unterstütze ich voll und ganz. Auch hilft einBegleitlehrer - wenn vorhanden.

Im Rahmen der Schulautonomie ist die Verschiebung einer Chemiestunde von der 4. in die 3. Klasse möglich.

Werner Rentzsch, HS Wien 20, Staudingergasse

Projekt 2000+

Das internationale Forum über naturwissenschaftliche und technische Grundbildung für Alle (UNESCO, Paris, Juli 1993) versammelte rund 400 naturwissenschaftliche Lehrer und Vertreter von Unterrichtsbehörden. Ziel war einerseits das Aufzeigen von Problemen und äußeren Hemmnissen und die Erarbeitung von Empfehlungen, sowie die Planung regionaler Kooperationen. Die Empfehlungen mündeten in eine Resolution, die dankenswerterweise vom BMUK übersetzt wurde und an die Landesschulräte geschickt wurde. Im Sinne einer weiten Verbreitung sei sie im folgenden abgedruckt.

Deklaration

Wir, die Teilnehmer des Projekt 2000+ Forums, das vom 5. - 10. Juli 1993 in Paris, Frankreich, am Sitz der UNESCO stattfand, erklären:

1. Eingedenk der Weltdeklaration über Bildung für Alle, im besonderen der darin enthaltenen Feststellung, daß eine "solide Grundausbildung für die Festigung höherer Bildungsniveaus und die Verbesserung eines naturwissenschaftlich-technischen Wissens- und Kenntnisstandes und somit für eine eigenständige Entwicklung wesentlich ist", ferner eingedenk der jüngsten, weltweit geäußerten und im besonderen unter Punkt 21 der Ergebnisse der Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung (Rio de Janeiro, 3. - 14. Juni 1992) zum Ausdruck gebrachten Besorgnis um die Umwelt und die Qualität des menschlichen Lebens,

2. In der Überzeugung, daß eine naturwissenschaftlich-technische Bildung die Grundlage für eine verantwortliche und nachhaltige Entwicklung darstellt.

3. Unterstützen uneingeschränkt die Förderung der naturwissenschaftlich-technischen Bildung für alle im Sinne der Weltdeklaration über Bildung für Alle, und erklären uns bereit, im Wege des Projektes 2000+ zu den gemeinsamen, im Handlungsrahmen zur Befriedigung grundlegender Lernbedürfnisse angeführten Maßnahmen beizutragen;

4. Appellieren an die Regierungen, die Wirtschaft, öffentliche und private Interessensvertretungen, sowie an die für Unterrichts- und Bildungswesen zuständigen Behörden und andere weltweit:

   a) die bestehenden Bestimmungen für die naturwissenschaftlich-technische Ausbildung auf allen Ebenen und in allen Formen kritisch mit dem Ziel zu prüfen, der Entwicklung und ständigen Umsetzung von Lernprogrammen, welche den Bedürfnissen einzelner und der Gemeinschaft gerecht werden, entsprechende Aufmerksamkeit zu schenken;

   b) die Erarbeitung und Einführung von Programmen, welche zu mehr naturwissenschaftlich-technischer Bildung für alle mit dem Ziel einer verantworteten und nachhaltigen Entwicklung führen, vorrangig zu betrachten;

   c) alle erforderlichen Maßnahmen zu setzen, welche einen gerechten Zugang zu naturwissenschaftlich-technischer Ausbildung für alle sicherstellen, im besonderen für Frauen und Mädchen, jüngere Kinder und andere unterrepräsentierte Gruppen;

   d) entsprechende schulische und außerschulische Möglichkeiten, Programme, Lehrpläne und Beurteilungsverfahren für den naturwissenschaftlich-technischen Unterricht zu schaffen, welche den Bedürfnissen des Menschen in einer von Wissenschaft und Technik geprägten Gesellschaft gerecht werden;

   e) entsprechende Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen zugunsten der für die naturwissenschaftlich-technische Ausbildung in allen Formen Verantwortlichen sicherzustellen und zu unterstützen:

   f) die Bewertung, Forschung und Entwicklung im Bereich des naturwissenschaftlich-technischen Unterrichtes im Regelschulwesen und anderen Ausbildungsformen zu fördern und zu unterstützen:

   und zu diesem Zweck:

   g) Arbeitsgruppen einzurichten und zu fördern, welche mit öffentlichen und privaten Behörden und Einrichtungen des Unterrichts- und Bildungswesens partnerschaftlich zusammenarbeiten; dazu zählen unter anderem Universitäten und andere Einrichtungen der höheren Bildung und Weiterbildung, Forschungseinrichtungen, Bibliotheken, interaktive wissenschaftliche Zentren, Umwelt- und Naturschutzgebiete sowie öffentliche und private Stellen aus den Bereichen Landwirtschaft, natürliche Ressourcen, Umwelt, Gesundheit, Wirtschaft, Handel und Medien, ferner auch Organisationen und Einzelpersonen, die besonders mit naturwissenschaftlich-technischer Bildung befaßt sind;

   h) die zentrale Funktion des Lehrers in der Erlangung eines naturwissenschaftlich-technischen Bildungsstandards für alle anzuerkennen und Berufe im wissenschaftlich-technischen Unterrichtswesen auf allen Ebenen aufzuwerten;

   i) die grundlegende Funktion der nichtschulischen Bildungseinrichtungen, wie Museen und wissenschaftlichen Zentren, der Medien (Radio, Fernsehen und Presse) und aller anderen außerschulischen Kanäle der naturwissenschaftlich-technischen Wissensvermittlung in der Förderung einer naturwissenschaftlich-technischen Bildung für alle anzuerkennen; sowie

   Maßnahmen zu erarbeiten, welche die Wissenschaft und ihre praktischen Anwendungen in einem weiter gesteckten gesellschaftlichen und kulturellen Umfeld situieren:

   j) die hinlängliche Verfügbarkeit von Ressourcen zur Erfüllung dieser Zielsetzungen sicherzustellen;

5. Fordern die Behörden der Vereinten Nationen und andere zwischenstaatliche Organisationen zur Zusammenarbeit auf, um Programme ins Leben zu rufen und zu fördern, welche die Möglichkeiten der Staaten und Völker stärken, ihre eigene Zukunft in einer wissenschaßlich-technischen Gesellschaft zu gestalten, und die Staaten besser befähigen, Programme zur Förderung der wissenschaftlich-technischen Bildung zu konzipieren, planen und umzusetzen;

6. Fordern die nicht-staatlichen Organisationen, welche im Bereich der naturwissenschaftlich-technischen Bildung tätig sind, sowie die Sozialwissenschaften und die berufsständischen Vereinigungen der Lehrer und Erzieher und die Organisationen des Erziehungs- und Bildungswesens auf allen Ebenen auf:

   mit den Vereinten Nationen und anderen zwischenstaatlichen Stellen partnerschaftlich zusammenzuarbeiten und ihren Wissens- und Erfahrungsschatz diesen zur Verfügung zu stellen, sowie innovative Programme in dem gemeinsamen Bemühen ins Leben zu rufen, einen naturwissenschaftlich-technischen Bildungsstand für alle zu erreichen; und

   an nationalen, regionalen und internationalen Programmen teilzunehmen mit dem Ziel, den naturwissenschaftlich-technischen Bildungsstand aller im Sinne einer verbesserten Lebensqualität aller Gesellschaften und einer nachhaltigen Entwicklung zu fordern;

7. Empfehlen der UNESCO, in ihrem Mittelfristigen Plan (1996-2001) für das Erziehungs- und Bildungswesen und im Rahmen des Projektes 2000+ ein internationales Programm zur Förderung der Zusammenarbeit aller Staaten im Bereich der naturwissenschaftlich-technischen Ausbildung zu verankern, unter besonderem Hinweis auf die Förderung der naturwissenschaftlich-technischen Bildung für alle;

   Diese in partnerschaftlicher Zusammenarbeit mit den betroffenen und verantwortlichen staatlichen und nichtstaatlichen Organisationen und Barden ausgeführten Programme sollten sich auf Kooperation auf regionaler und subregionaler Ebene konzentrieren, und auf den Ausbau bestehender Verbindungen für den Austausch von Gedanken, Informationen, sowie personeller und materieller Ressourcen im Bereich der naturwissenschaftlich-technischen Bildung; derber hinaus sollten weltweit aktive Bemühungen einsetzen, um:

   a) ein Verständnis für das Wesen der naturwissenschaftlich-technischen Bildung und ihrer Notwendigkeit im Zusammenhang mit lokalen Kulturen und Werthaltungen und mit den sozialen und wirtschaftlichen Bedürfnissen und Bestrebungen aller Länder und Völker in Übereinstimmung mit den allgemeinen Zielsetzungen der Erziehung und Bildung im Sinne einer umfassenden Persönlichkeitsentwicklung des Menschen und der Menschenrechte und Grundfreiheiten zu fördern;

   b) Fragestellungen betreffend die praktischen Anwendungsmöglichkeiten von Naturwissenschaft und Technik aufzudecken, welche für die persönliche, lokale und nationale Entwicklung von besonderer Bedeutung sind, sowie deren Verankerung in Bildungsprogrammen;

   c) ein geeignetes Umfeld für Lehrende und Lernende und unterstützender Einrichtungen zu schaffen, die die Verwirklichung eines naturwissenschaftlich-technischen Bildungsstandards für alle begünstigen;

   d) Richtlinien für die Ausbildung und laufende berufliche Weiterbildung der im naturwissenschaftlich-technischen Bildungswesen Tätigen und Verantwortlichen zu formulieren und Hilfestellung an Länder bei deren praktischer Durchsetzung zu leisten;

   e) wirksame verbale und visuelle Kommunikationsmechanismen, Beurteilungsstrategien und Bewertungsprogramme zur Hebung des allgemeinen naturwissenschaftlich-technischen Bildungsstandards zu entwickeln;

   f) den außerschulischen und außerinstitutionellen Sektor als eigenständigem Bereich zu fordern und die Erarbeitung von Entwicklungsstrategien voranzutreiben, welche zu einer Anregung und Wahrung lebenslanger naturwissenschaftlich-technischer Bildung beitragen;

8. Empfehlen die Einrichtung entsprechender Strukturen und Maßnahmen in allen Ländern bis zum Jahre 2001 zur Förderung der naturwissenschaftlich-technischen Bildung für alle.

Reflexionen über die hundertjährige Geschichte des Vereins

Karl Lintner

Im folgenden soll versucht werden, eine historische Darstellung der Geschichte des Vereins zu geben. Als Quellen dafür dienten die Vereinszeitschriften, Mitteilungsblätter, Protokolle der Sitzungen und der Schriftverkehr von Frau Prof. Seidl. Die Darstellung erfolgt natürlich aus persönlicher Sicht des Autors, der die Hälfte dieser Zeit mit dem Verein in Verbindung stand und die Auszeichnung hatte, auch einige Jahre dessen Geschicke zu leiten. Drei Abschnitte der Vereinsgeschichte sollen dargestellt werden.

Die Gründung und die ersten 50 Jahre

In der ersten Nummer der neuen Zeitschrift des Vereins Plus Lucis ist schon bei der kurzen Darstellung des Vereins auf Seite 35 darauf hingewiesen worden, daß der Verein hundert Jahre alt wird. Die Gründung erfolgte in drei Schritten im Schuljahr 1894/95, ein Jahr, das als erstes Vereinsjahr bezeichnet wurde.

Die erste Anregung zur Gründung eines neuen Vereins erfolgte anläßlich der 66. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte in Wien im September 1894.

Dazu aus der ersten Seite der "Vierteljahresberichte des Wiener Vereins zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichtes":

Bericht über die Gründung des Vereins und über das erste Vereinsjahr.

Die erste Anregung zur Gründung eines Vereines zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichtes in Wien wurde in den Tagen der 66. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte (September 1894) in den Räumen der Lehrmittelausstellung der Wiener Mittelschulen in persönlichen Besprechungen eines Bürgerschul- und eines Mittelschul-Lehrers gegeben. Da sich die Proponenten den Bedenken gegen die Vermehrung der in Wien wirkenden pädagogischen Vereine keineswegs verschlossen, wurde zuerst ein Anschluss an einen dieser bestehenden Vereine ins Auge gefasst. Im Hinblicke auf die didaktischen Absichten der neuen Vereinigung kam hiefür in erster Linie der Verein "Die Realschule" in Betracht, dessen Obmann hinwieder auf die "Chemisch-physikalische Gesellschaft" hinwies. In einer behufs Berathung eines solchen Anschlusses unter Vorsitz des Herrn Directors Dr. J. G. Wallentin abgehaltenen Sitzung, an welcher die Herren Professoren Daurer, Dechant, Dr. Frieß, Glöser, Dr. Höfler, Dr. Kraus, Dr. Maiß, Dr. Pscheidl theilnahmen, wurden aber bald die Schwierigkeiten erkannt, auf welche die Bildung einer physikalisch-chemischen Section in einem bestehenden Vereine schon gegenüber dem Vereinsgesetze hätte stoßen müssen. Nachdem sich deshalb die Proponenten des Vereines nicht nur der Zustimmung, sondern auch der thätigen Antheilnahme der Obmänner der verwandten Zwecken dienenden Vereine: "Chemisch-physikalische Gesellschaft", "Mittelschule", "Die Realschule", "Bürgerschule" versichert hatten, konnte um die Mitte Jänner die Einladung ausgesendet werden, [...]

Auf den folgenden Seiten wird dann der Wortlaut dieser Einladung zu einer vorbereitenden Versammlung am 15. Februar 1895 wiedergegeben. Der Ausschnitt von Seite 4 gibt die Namen der Unterzeichner dieser Einladung wieder.

Hofrath Dr. Victor von Lang, k.k.o.ö. Universitätsprofessor, Obmann der "Chemisch-physikalischen Gesellschaft"; Professor Feodor Hoppe, Obmann des Vereines "Mittelschule"; Professor Moriz Glöser, Obmann des Vereines "Realschule"; Bürgerschullehrer A. Mayer, Obmann des Vereines "Bürgerschule"; Dr. Alois Höfler, Professor am Gymnasium der k.k. Theresianischen Akademie; Dr. Eduard Maiß, Professor an der k.k. Staats-Oberschule im II. Bezirke; Dr. J. Kraus, Fachlehrer an der Bürgerschule II., Staudingergasse 6.

Das "Idealbild" der Lehrer und die Charakterisierung der künftigen Mitglieder soll ebenfalls wiedergegeben werden.

Der physikalische Unterricht an allen, namentlich aber an den mittleren Schulen erfordert Lehrer, die einerseits geübt sind im Schülerexperimente und bekannt mit den Fortschritten der Experimentierkunst und dem Stand der Apparatentechnik, die andererseits gewandt sind in der logischen Behandlung der naturwissenschaftlichen Grundbegriffe und Sätze und eingeweiht in die neueren Erkenntnisse der Forschung: sie sollen in ihrem praktischen Berufe sich stets angeregt fühlen, nachzudenken über die Auswahl der grundlegenden Versuche, über deren Verwertung zum Aufbau des Lehrgebäudes und über die zweckmäßigste Ausnützung der elementar-mathematischen Kenntnisse der Schüler. Für den einzelnen scheint nun die Orientierung in all den angedeuteten Richtungen am leichtesten zu erreichen im Zusammenarbeiten mit gleichstrebenden, aber in verschiedenen Richtungen thätigen Männern.

Der Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichtes in Wien solldemnach alle umfassen, die an der Ertheilung des Physikunterrichtes unmittelbar mitzuwirken berufen sind, aber auch solche, denen die Entwicklung des genannten Unterrichtszweiges aus irgendeinem Grunde am Herzen liegt. Er soll nicht bloß die Professoren der Physik und Chemie an den Wiener Hoch- und Mittelschulen, an den militärischen Bildungsanstalten, an den Gewerbeschulen, an den Lehrer- und Lehrerinnenbildungs-Anstalten und die Fachlehrer an den Bürgerschulen in Wien zu Mitgliedern zählen, sondern auch die Collegen in der Provinz; er soll ferner nicht auf den Lehrerstand beschränkt sein, es werden vielmehr auch Erzeuger physikalischer Lehrmittel, Fabrikanten von Präcisionsintrumenten, Angestellte in physikalischen oder chemischen Laboratorien und andere, soweit sie Interesse an der Förderung des physikalischen Unterrichtes haben, heranzuziehen sein. Von den Vertretern der hohen Unterrichtsverwaltung hoffen die Unterzeichneten, dass sie ebenfalls dem Vereine ihre wertvolle Unterstützung leihen werden.

Zur Erreichung des "vorgestreckten" Zieles wird vorgeschlagen, alle drei bis vier Wochen "Wanderversammlungen" an den verschiedenen Wiener Lehranstalten abzuhalten, so daß die Mitglieder Gelegenheit bekommen, alle Wiener Lehrmittelsammlungen kennen zu lernen. Wie aus den Berichten der nächsten Jahre immer wieder hervorgeht, dürfte damals der Mangel an Lehrmitteln eine große Sorge gewesen sein. Daher wurde auch schon in dieser Einladung mitgeteilt, daß die Firma Rohrbeck eine "Normalsammlung" physikalischer Apparate in ihren Räumen "bleibend zur Ausstellung" bringen würde. Alle in einer Vollversammlung des Vereins beschlossenen Veränderungen oder Verbesserungen sollten aufgenommen werden, wenn der Kapitalwert 11.000 Gulden nicht überschreitet. Um die Höhe dieser Summe verstehen

---

em. Univ.-Prof. Dr. Karl Lintner, langjähriger Obmann und Ehrenobmann, hielt diesen Vortrag im Rahmen der Fortbildungswoche 1994

zu können, soll die Höhe des Mitgliedsbeitrags von 1 Gulden angeführt werden.

Vierteljährlich erscheinende "Berichte des Vereins zur Förderung des physikalischen Unterrichts in Wien" sollten in erster Linie die Aufgabe haben, von den sich in der Normalsammlung vollziehenden Änderungen zu berichten und ausführliche Sitzungsberichte zu bringen. Administration und Kosten der Vierteljahresberichte wird ebenfalls die Firma Rohrbeck übernehmen.

Der Einladung zur vorberatenden Sitzung sind über siebzig Interessenten gefolgt. Es wurde daher bereits für den 30. März 1895 zu einer konstituierenden Sitzung in das Staatsgymnasium in der Amerlingstraße eingeladen, bei der Prof. Karl Haas einen Demonstrationsvortrag gehalten hat, bei dem er selbst erdachte Apparate (Präzessionsglobus, Standfestigkeitsmodelle, Versuche mit einem Linsenkasten mit vertauschbaren Medien) vorführte.

In dieser konstituierenden Sitzung mußten auch die Satzungen vorgelegt werden, von denen nur der erste Paragraph wiedergegeben werden soll, in dem der Zweck des Vereins sowie die Wege zur Erreichung dieses Zieles festgelegt werden.

Satzungen des "Vereines zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichtes in Wien"

§1

Der "Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichtes" mit dem Sitze in Wien hat den Zweck, an der stetigen Vervollkommnung des physikalischen und chemischen Unterrichtswesens mitzuwirken. Er verfolgt diesen Zweck durch regelmäßige Vorträge, durch Vorführungen und Versuche, durch Excursionen, durch Herausgabe einer Vierteljahrsschrift, durch Ferialcurse und durch alle sonstigen Maßnahmen, die geeignet sind, das Vereinsinteresse zu fördern.

In der jetzt gültigen Fassung entspricht dies den Paragraphen 2 und 3. Laut Satzung muß auch die Vereinsleitung in einer Hauptversammlung gewählt werden. Die Wahl erfolgte daher auch in der konstituierenden Sitzung und erbrachte folgendes Ergebnis:

Gewählt erscheinen: zum Obmann Hofrath Prof. Dr. Victor Edler von Lang, zu Obmannstellvertretern die Professoren Moriz Glöser und Dr. C. Haas, zu Schriftführen Prof. F. Daurer und Bürgerschullehrer Dr. J. Kraus, zum Cassier Prof. H. Huber, zum Redacteur der Vierteljahrsbericht Prof. Dr. E. Maiß.
In der ersten Sitzung des Ausschusses am 6. April wurden cooptirt: Prof. Dr. A. Höfler, Prof. M. Kuhn, Bürgerschuldirector J. Schweighofer und Oberst N. Ritter v. Wuich.

Soweit über die Gründung des Vereins. Im ersten Heft ist auch ein kurzer Bericht über das erste Vereinsjahr 1894/95 enthalten. Die Mitgliederzahl ist auf 98 angestiegen. Von der Tätigkeit des Vereins wird berichtet, daß es drei Vollversammlungen mit dem schon erwähnten Vortrag von Prof. Haas, einem von Prof. Viktor von Lang (Quantenelektrometer) und einem von Prof. Glöser (Kautschuk) sowie zwei Exkursionen (Bauten am Donaukanal bei Nußdorf und militäraeronautische Anstalt) gegeben hat. Wichtig war auch die Tatsache, daß in der Vollversammlung am 25. Mai die Verträge bezüglich der Errichtung der Mustersammlung und der Herausgabe der Zeitschrift genehmigt wurden und neben der Firma Rohrbeck drei weitere Wiener Firmen (Hauck, Lenoir & Forster und Steflitschek) und die Prager Firma Kreidl diese Verträge unterzeichnet haben.

Bei der Zehnjahresfeier des Vereins wurde ein sehr positiver Rückblick gehalten. Es wurden insgesamt 77 Versammlungen mit Vorträgen gehalten und 53 Exkursionen durchgeführt. Besonders betont wird aber der Erfolg bei der Verbesserung der experimentellen Möglichkeiten im Unterricht. So führte z.B. ein schon im zweiten Vereinsjahr gestellter Antrag an den "löblichen Bezirksschulrat", in dem die Notwendigkeit der Errichtung von Physiksälen an Bürgerschulen betont wird, zum vollen Erfolg. Allgemein wird der Erfolg mit folgenden Worten geschildert: "... Ein Hauptziel unseres Vereins war vom Momente seiner Gründung angefangen die Hebung und Vervollkommnung der experimentellen Seite des naturlehrlichen Unterrichtes, also desjenigen Momentes, welches den hohen Bildungs- und Erziehungswert unserer Unterrichtsdisziplinen begründet. Denn kein anderer Gegenstand vermag es, die Jugend besser zum planmäßigen Beobachten und zu schärferer Denkarbeit zu erziehen als die Naturlehre..."

Von der 20. Jahreshauptversammlung im Jahre 1914 ist die genaue Aufschlüsselung der Mitglieder interessant und aufschlußreich.

Der Verein zählt derzeit 388 Mitglieder (gegen 371 im Vorjahre). Hievon sind 336 männliche und 52 weibliche; 380 gehören dem Zivil-und 8 dem Militärstande an. In Wien wohnen 317, außerhalb 71 Mitglieder. Dem Stande nach sind Hochschulprofessoren und Dozenten 21 (hievon 7 außer Wien), Landes- und Bezirksschulinspektoren 9 (4 außer Wien), Direktoren und Professoren an Mittelschulen, Lehrerbildungsanstalten, Lyzeen 131 (hievon 5 weibliche, 48 außer Wien), Direktoren und Lehrer, bzw. Lehrerinnen an Bürger- und Volksschulen 178 (hievon 46 weibliche, 7 außer Wien); Ingenieure, Beamte, Doktoren der Medizin 18 (hievon 1 weibliches, 2 außer Wien); Geschäftsleute 23 (hievon 2 auswärts).

Univ.-Prof. Lang war bis 1920 Obmann des Vereins, ihm folgte von 1920 bis 1925 Hofrat Univ.-Prof. Dr. Ernst Lecher, Ordinarius am I. Physikalischen Institut der Universität Wien, der gemeinsam mit Prof. Exner den Neubau der physikalischen Institute, der 1913 erfolgt ist, betrieb. Sein Name ist jedem Schüler durch die "Lecher-Drähte" wohl vertraut.

Bis 1929 war dann Hofrat Univ.-Prof. Dr. Gustav Jäger, ebenfalls von der Universität Wien, Obmann. Es folgte bis 1934 Hofrat Prof. Dr. Heinrich Mache, Ordinarius an der Technischen Hochschule in Wien und schließlich bis 1938 der analytische Chemiker der Universität Wien, Prof. Dr. Adolf Franke.

Zu Beginn der Obmannschaft von Prof. Lecher wurden die Vierteljahresberichte eingestellt und erst 1925 konnte durch Beihilfe des Unterrichtsamtes eine neue Zeitschrift "Physik und Chemie" erscheinen.

Im ersten Heft dieser neuen Zeitschrift ist auch ein Bericht über die 30jährige Vereinstätigkeit gegeben, der wieder die Verdienste für die experimentellen Wissenschaften hervorhebt:

...Werden heute in Deutschland und in Österreich Schularten geschaffen, die die experimentellen Wissenschaften zum Mittelpunkt der Erziehung machen, wenn diese naturwissenschaftlichen, induktiven Lehrgegenstände in ihrem Bildungswerte den Geisteswissenschaften gleichgestellt werden, dann ist dies zum nicht geringsten Teile der Tätigkeit der in Berlin und Wien in gleichem Sinne arbeitenden beiden Vereine zu danken. Die Förderung des physikalischen und chemischen

Unterrichtes hat den experimentellen Wissenschaften ihre gebührende Stelle unter den Erziehungs- und Bildungswissenschaften gebracht.

Diese neue Zeitschrift wurde zu Beginn der nationalsozialistischen Herrschaft eingestellt.

Durch die Machtübernahme des Nationalsozialismus in Österreich entstanden für den Verein auch turbulente Zeiten.

Am 5. April 1938 wurde Hofrat Dr. Karl Bruno, der seit 1912 Obmannstellvertreter war, zum "Unterbevollmächtigten des kommissarischen Leiters der kulturellen Verbände und Organisationen", d.h. praktisch zum kommissarischen Leiter des Vereins bestellt. Am 9. Juni endete das Vereinsjahr 1937/38 mit einer Exkursion in das Zementwerk in Kaltenleutgeben.

Im Sommer 1938 wurde der Verein neuerlich angemeldet. Fast ein Jahr später, am 3. April 1939 teilte der "Stillhaltekommissar für Vereine, Organisationen und Verbände" mit, daß beabsichtigt sei, den Verein selbständig bestehen zu lassen, wenn die vorgeschlagenen Satzungsänderungen durchgeführt würden. Wichtige Punkte dieser Satzungsänderung wären: a) Einführung des Arierparagraphen, b) Umstellung auf das Führerprinzip und c) die Ernennung des jeweiligen Leiters des Vereins abhängig zu machen von der Zustimmung des zuständigen Hoheitsträgers der NSDAP. Weiters wird mitgeteilt, daß das Vortragsprogramm zur Genehmigung beim Leiter des Kreisringes für Volksaufklärung und Propaganda einzureichen und Hauptversammlungen beim Polizeipräsidenten (Vereinswesen) anzumelden sind.

Am 5. April beschließt eine Ausschußsitzung die Durchführung der vorgeschlagenen Satzungsänderung. Am 12. April wird die endgültige Freistellung des Vereins vorbehaltlich der Zustimmung des Reichministeriums für Wissenschaft, Erziehung und Volksbildung in Berlin mitgeteilt und gleichzeitig Regierungsrat Dr. Karl Müllner, seit 1908 Kassier des Vereins, unter denselben Voraussetzungen zum Leiter bestellt sowie Frau Dozent Dr. Franziska Seidl zum Leiterstellvertreter.

Im Juni 1940 wird Univ.-Prof. Dr. Georg Stetter, Ordinarius am II. Physikalischen Institut der Universität Wien, gewählter Vereinsführer, im August 1940 erfolgte dann die Bestätigung dieser Wahl durch die NSDAP-Kreisleitung. Die Bestätigung von Frau Doz. Seidl erfolgte erst im April 1941.

Am 6. Juni 1941 wurde die Vereinstätigkeit nach längerer Pause mit einem Vortrag von Dipl.-Ing. Josip Sliskovic über "Moderne Röhren und Rundfunkempfänger (mit Vorführungen und Lichtbildern) wieder aufgenommen.
Es ist wohl unbestritten, daß Doz. Seidl für die Erstellung des Vortragsprogramms und damit für die Tätigkeit des Vereins in dieser Zeit verantwortlich war.

Eine Schwierigkeit soll noch erwähnt werden. Seit 1938 wurde vom NS-Lehrerbund (NSLB) und zwar vom Gausachbearbeiter für Mathematik und Naturlehre, Dr. Bauer, der vor l938 Ausschußmitglied des Vereins war, gegen die Selbständigkeit des Vereins gekämpft. Bauer fühlte sich als Vertreter des NSLB übergangen und wollte, daß der Verein eine Sektion des NSLB und damit seiner Leitung unterworfen würde. Damit wären aber auch alle Mitglieder, die nicht Lehrer waren, ausgeschlossen worden. Dr. Bauer selbst stellte es sogar als fraglich hin, ob Hochschullehrer Mitglieder sein sollten. Mit Schreiben vom 1. Juni 1941 (der Zeit, in der der Verein seine Tätigkeit wieder aufnahm) warnte Bauer alle Lehrer vor den Aktivitäten des Vereins. Prof. Stetter kämpfte auf der Seite des Vereins energisch für die Selbständigkeit. Er verlangte, daß Bauer dieses Schreiben zurücknähme. Bauer wäre dazu bereit gewesen, wenn er stellvertretender Leiter des Vereins geworden wäre. Stetter war dazu nicht bereit, da er dann Doz. Seidl, deren Verdienste für den Verein sehr groß waren, als gewählte Vertreterin ihrer Funktionen entheben müßte. Er erreichte schließlich durch ein Schreiben an den Kreisleiter der NSDAP, in dem er Bauers Vorgehen kritisierte und sogar als Erpressung bezeichnete und hervorhob, daß die von der NSDAP bewilligte Selbständigkeit nicht durch eine Teilorganisation aufgehoben werden kann, daß Bauer am 20. 6. 1942 die Warnung vor dem Verein zurücknahm.

Dieser letzte Absatz sollte zeigen, wie sehr das Schicksal des Vereins wie so vieles andere von persönlichen und politischen Handlungen abhängig war. Als Schüler und Mitarbeiter von Stetter drängt es mich zu zeigen, daß Stetter sich bedingungslos für eine Sache oder eine Person eingesetzt hat, wenn er von der Richtigkeit bzw. der Leistung überzeugt war.

Boltzmann und die Evolutionäre Erkenntnistheorie

Erhard Oeser

Während man sich über Ludwig BOLTZMANNS große und grundlegende Leistungen auf dem Gebiet der theoretischen Physik durchaus einig ist, ist seine Erkenntnistheorie bei den Philosophen und Wissenschaftstheoretikern weitgehend unbekannt geblieben oder völlig abgelehnt worden. Zwei Zitate sollen das belegen. So schreibt der kürzlich verstorbene Paul Feyerabend in der Encyclopedia of Philosophy:

"Es ist bedauerlich, daß Boltzmanns allgemeine Philosophie, die in unmittelbarer Verbindung mit seiner Physik steht, praktisch unbekannt ist, denn seine Überlegungen sind auch für die gegenwärtige Diskussion relevant und bilden ein vielversprechendes Feld für weitere Untersuchungen."
(Feierabend, P. 1972)

Die Meinung der Wiener Philosophen nach dem Abgang des Wiener Kreises läßt sich durch folgende Worte kennzeichnen, die ehrlich ausdrücken, was sonst zumeist unausgesprochen geblieben ist:

"Die Geschichte der Philosophie der Wiener Universität ist voll von großen und kleinen Skandalen. Einer dieser Skandale ist die Berufung des Physikers und A-Philosophen Ernst MACH auf eine philosophische Lehrkanzel unmittelbar nach dem erzwungenen Abgang von Franz BRENTANO aus Wien 1895. Diese Provokation wird nur noch übertroffen durch die Berufung des Physikers und Anti-Philosophen Ludwig Boltzmann als Nachfolger von Ernst Mach 1902. Mit dieser Aussage möchte ich keineswegs die Bedeutung Machs für die Wissenschaftstheorie der Naturwissenschaften in Frage stellen und auch nicht den Mathematiker und Physiker Boltzmann diffamieren. Aber ihre Berufung auf eine philosophische Lehrkanzel und noch dazu in der damaligen Situation ist und bleibt eine Ungeheuerlichkeit."
(Schmied-Kowarzik, W. 1993)

Eine geradezu kurios anmutende Umkehr dieser unter den Philosophen üblichen Meinung über Boltzmann als schlechten Philosophen und guten Physiker ist die Haltung Poppers zu Boltzmann. Denn Popper vermutet in Boltzmann einen guten Philosophen, weil er mit ihm übereinstimmt, aber einen schlechten Physiker, der seine realistische Philosophie geopfert hat, um sein subjektivistisch-tautologisches physikalisches Theorem zu retten:

"Boltzmann ist als Philosoph kaum bekannt; bis vor ganz kurzer Zeit wußte auch ich sehr wenig über seine Philosophie, und ich weiß noch immer viel weniger darüber, als ich eigentlich wissen sollte. Doch mit allem, was ich davon weiß, stimme ich überein; vielleicht mehr noch als mit irgend einer anderen Philosophie ..."

"Boltzmann führte eine subjektivistische Theorie des Zeitpfeils ein und gleichzeitig eine Theorie, die den Entropiesatz auf eine Tautologie reduzierte. ... Das Opfer, das er seiner realistischen Philosophie brachte, um sein Theorem zu retten, war also vergeblich." (Popper 1982)

Sieht man von diesem sicherlich unzutreffenden Vorwurf Poppers (vgl. Lebowitz 1993) ab, so fragt sich, worauf nun diese realistische Philosophie Boltzmanns gegründet ist und worin diese Übereinstimmung mit Poppers Auffassung besteht. Die keineswegs unproblematische Antwort lautet: in der sogenannten "evolutionären Erkenntnistheorie".

Wenn man den Namen Boltzmanns mit der "evolutionären Erkenntnistheorie" in Beziehung bringt, weiß man zunächst nicht, ob man dem Andenken Boltzmanns damit etwas Gutes tut. Vor allem dann, wenn man der Meinung ist, daß Boltzmann selbst ein philosophisch ernst zu nehmender Erkenntnistheoretiker war. Denn das, was heutzutage unter der Bezeichnung evolutionäre Erkenntnistheorie läuft, ist ein ziemlich breitgetretener und von der philosophischen Kritik breitgeklopfter erkenntnistheoretischer Komplex von Aussa-

Univ. Prof. Erhard Oeser, Institut für Wissenschaftstheorie und Wissenschaftsforschung der Universität Wien.
Dieser Beitrag wurde als Vortrag am Internationalen Boltzmann-Symposium in Wien am 25. Februar 1994 gehalten.

Ludwig Boltzmann, im Jahre 1898
(Bildrechte: Österr. Nationalbibliothek)

gen, der abgesehen von zum Teil überzogenen und nicht eingelösten Ansprüchen in sich mehr und mehr widersprüchlich geworden ist und sich von den ursprünglichen Intentionen Boltzmanns weit entfernt hat.

Andererseits ist unübersehbar, daß Boltzmann selbst seine gesamte erkenntnistheoretische Position, die für ihn der Leitstern bei der Entwicklung und Ausarbeitung seiner physikalischen Theorien war, auf die Grundlage der Darwinschen Evolutionstheorie stellt und in diesem Sinne wie kaum ein anderer in der Geschichte der Naturwissenschaft nach Darwin als "evolutionärer Erkenntnistheoretiker" bezeichnet werden muß. Das ist schon mehrfach ausdrücklich festgestellt worden. Am frühesten vielleicht von Broda (1955), der auch Konrad Lorenz davon überzeugen konnte, in Boltzmann einen Vorläufer seiner Ideen zu sehen. Inzwischen ist schon längst klar geworden, daß die Grundidee der evolutionären Erkenntnistheorie, daß es ein im biologischen Sinn angeborenes Wissen vor aller Erfahrung gibt, von Darwin selbst stammt. Er hat diese Auffassung, wie aus seinen nachgelassenen Notizbüchern eindeutig hervorgeht, bereits auf Platons Ideenlehre angewendet, wenn er sagt, daß man an Stelle der metaphysischen Präexistenz, in der die Seele vor dem Leib die Ideen angeschaut hat, die Präexistenz des Affen vor dem Menschen annehmen muß. Und nicht nur Darwins philosophischer Zeitgenosse Spencer, von dem Darwin den berühmt gewordenen Ausdruck "survival of fittest" übernommen hat, sondern auch eine Reihe von Neokantianern haben sich auf Darwins Evolutionstheorie berufend eine phylogenetische Interpretation des Kantischen Apriori, d.h. der sogenannten Anschauungsformen Raum und Zeit und der Denkkategorien wie z.B. der "Kausalität" vorgeschlagen.

Auch bei Boltzmann ist die Berufung auf Darwins Evolutionstheorie unübersehbar. Er hat jedoch selbst keineswegs in dieser Angelegenheit einen Prioritätsanspruch erhoben. Vielmehr zögert er auch nicht, wie bereits Dieter Flamm (1987) ausführlich gezeigt hat, Ernst Mach zu zitieren, der ja noch vor ihm die Vorstellung einer der biologischen Evolution analogen Evolution der menschlichen Erkenntnis vertreten hat.

Umso erstaunlicher ist die gar nicht wegzuleugnende Diskrepanz in der Auffassung über die erkenntnistheoretischen Grundlagen der Physik bei Mach und Boltzmann. Während Boltzmann ein Vertreter der mechanistischen Erklärungsmodelle war, war Mach ein strikter Vertreter der phänomenologischen Physik, der jede anschauliche hypothetische Erklärung, die über die bloß mathematische Beschreibung bzw. ökonomische Zusammenfassung der Sinnesdaten hinausging, abgelehnt hat.

Damit ergibt sich die Frage: Welchen Wert hat eine Erkenntnistheorie, die zu so unterschiedlichen methodologischen Auffassungen in der physikalischen Forschung führt?

Diese Frage verschärft sich noch für die gegenwärtige Situation, wenn man die endlosen internen Kontroversen innerhalb der sogenannten evolutionären Erkenntnistheorie über grundlegende methodologische Fragen wie etwa über das Induktionsproblem berücksichtigt - ganz abgesehen von jenen höchst unterschiedlichen Auffassungen über den Realitätsgehalt wissenschaftlicher Begriffe und Modellvorstellungen, wie überhaupt über die sogenannte "Realität" selbst und über die erkenntnistheoretische Position, die man ihr gegenüber einnimmt. Hier reicht innerhalb der evolutionären Erkenntnistheorie die Skala von einem metaphysischen Realismus, gekoppelt mit einer naiven Abbildtheorie der Erfahrung bis hin zu konstruktivistischen Überlegungen solipsistischer Art. Angesichts solcher fundamentaler Diskrepanzen kann daher die Antwort auf die Frage nach dem Wert der evolutionären Erkenntnistheorie nur lauten: daß es sich bei der Berufung auf den phylogenetischen Ursprung unserer menschlichen Erkenntnisfähigkeit noch gar nicht um eine Erkenntnistheorie im eigentlichen Sinn handelt, sondern lediglich um die notwendigen, aber nicht hinreichenden Bedingungen menschlicher Erkenntnis, in der selbstverständlich die wissenschaftliche Erkenntnis und insbesondere die naturwissenschaftlich-physikalische Erkenntnis mit eingeschlossen werden muß. Wobei wissenschaftliche Erkenntnis, wie Boltzmann übrigens selbst hervorhebt, eine artspezifische Hirnleistungspotenz darstellt und das Charakteristische an der Erkenntnisfähigkeit des Menschen ausmacht, in dem er sich von allen anderen Lebewesen unterscheidet. Kein Evolutionsbiologe oder Verhaltensforscher würde heute bezweifeln, daß es weder Schweinen noch Affen gelingen kann, die Integralrechnung oder die Quantenphysik zu entwickeln oder poetische Leistungen in der Art von Homers Odyssee oder Goethes Faust zu vollbringen.

Für Lorenz selbst war es klar, daß die auf der Darwinschen Evolutionstheorie aufbauende vergleichende Verhaltensforschung, die ähnliche Verhaltensweisen von unterschiedlichen Lebewesen auf gemeinsame Abstammung und somit echte Verwandtschaft zurückführt, von einer abgestuften Ähnlichkeit ausgehen muß, die auch die artspezifischen Unterschiede und letzten Endes auch die Sonderstellung des Menschen anerkennt. Diese Sonderstellung des Menschen ist eine biologische Tatsache. Denn sie beruht auf der einzigartigen Struktur und Funktion des Menschenhirns als eines "Weltbild-Apparates", wie Lorenz unabhängig von Boltzmann - aber völlig konform mit ihm - sich ausgedrückt hat. In diesem Sinne ist daher der bekannte Ausspruch von Popper: "Von der Amöbe zu Einstein ist, sozusagen, nur ein Schritt" (1972, S. 375) als eine Metapher zu verstehen, die sich bloß auf den allgemeinen Mechanismus von "Versuch und Irrtumsbeseitigung" bezieht, aber noch keine Erklärung der artspezifischen kognitiven Fähigkeiten des Menschen enthält.

Wie wichtig jedoch die allgemeinen Grundlagen menschlicher Erkenntnis auch für Mach und Boltzmann waren, geht daraus hervor, daß beide selbst, in intensiver und durchaus ernst zunehmender Weise, Verhaltensforschung ganz im Lorenzschen Sinn betrieben haben. Mach hat sogar eine wissenschaftliche Veröffentlichung auf dem Gebiet der Vergleichenden Verhaltensforschung aufzuweisen. In seinem Todesjahr 1916 erschien in der *Naturwissenschaftlichen Wochenschrift*, Band 31 in Jena eine Arbeit von ihm unter dem Titel "Einige vergleichende Tier- und Menschenpsychologische Skizzen". Zwischen Mach und Boltzmann gibt es aber auch in dieser Hinsicht einen Unterschied. Auf eine etwas boshafte doppeldeutige Weise, wie Boltzmann gerne selbst seine Gegner kritisierte, kann man sagen:

Mach hatte einen Vogel, Boltzmann hatte einen Hund.

Tatsächlich hatte Mach, der ähnlich wie Lorenz der Meinung war, "daß das Leben mit Tieren unvergleichlich mehr wert ist wie bloße Beobachtung" (Mach, *Populär-wissenschaftliche Vorlesungen*, S. 626) acht Jahre lang mit einem Sperling zusammengelebt, den er wegen seiner schwächlichen Statur "Krepaunzl" nannte und mit dem er tagtäglich Versuche anstellte. Boltzmann dagegen hatte, wie seine Enkelin Ilse Fasol-Boltzmann berichtet, in Graz einen Schäferhund, der täglich um die Mittagszeit von zu Hause in die Stadt gelaufen kam, vor dem Institut wartete und seinen Herrn in ein nahegelegenes Gasthaus begleitete. Mag das nun ein Zufall sein oder nicht: Während man in den Schriften von Mach immer wieder Bezüge zum Verhalten von Insekten und Vögeln findet, tauchen bei Boltzmann häufig auch an höchst abstrakten Fragestellungen Hinweise auf das Verhalten von Hunden auf.

Der sachliche Hintergrund ist der, daß Mach als sensualistischer, positivistischer Erkenntnistheoretiker und Vertreter einer phänomenologischen Physik Darwins Lehre auf die Physiologie der Sinne anwenden wollte, während Boltzmann als theoretischer Physiker an der Konstruktion von internen Weltbildern mit Hilfe des zentralen Verarbeitungssystems interessiert war.

Als Endergebnis liefert Mach eine eindrucksvolle Theorie des physikalischen Experimentes, das er bis in den vormenschlichen Bereich ausdehnt, indem er an vielen Beispielen tierischen Verhaltens nachweist, daß das "Experiment nicht ausschließlich Eigentum des Menschen" ist (Mach, *Erkenntnis und Irrtum*, 1905)

Boltzmann dagegen liefert eine Theorie der Evolution der wissenschaftlichen Methode, die für ihn - wie er selbst sagt - "das Skelett ist, das den wissenschaftlichen Fortschritt trägt." In diesem Zusammenhang macht aber auch Boltzmann eine zunächst nur als polemische Metapher erscheinende Bemerkung über den unabweisbaren metaphysischen Drang nach der Erkenntnis der letzten Ursachen. In seiner Vorlesung vom 10. November 1903 sagt er (zitiert nach der Mitschrift eines Mitarbeiters, vgl. I. Fasol-Boltzmann 1990, S. 173) "Ein Hund ist gewohnt, einen besonders großen Bissen heimlich in einen Winkel zu tragen und dort zu verzehren, oder vor dem Schlafengehen sich ein Loch zu graben, auch auf glatten Boden kratzt er erst längere Zeit, bevor er einschläft; es ist ihm angeboren. So könnte uns gewissermaßen das Wühlen in den Erkenntnisgrund angeboren sein. Wir wühlen immer, bis wir die Wahrheit finden, eben in den Fällen, wo wir durch unsere Anstrengungen wirklich etwas zutage fördern, aber auch wo nichts zu finden ist, haben wir das Streben fortzuwühlen..."

Ernst Mach
(Bildrechte: Österr. Nationalbibliothek)

Und in seinen eigenen stenographischen Notizen schreibt er: "Hund, der auf fremdem (glattem) Boden mit den Füßen scharrt. Graben wir nicht auch nach Wahrheit, wo fremder Boden ist? Welch große Zeit, wenn die Gespenster verschwinden würden." (I. Fasol-Boltzmann 1990, S. 88) Die Gespenster, die er meint, sind die Kantischen Antinomien, die für ihn in der heutigen Terminologie der Ethologie ausgedrückt auf einen angeborenen endogen ausgelöster Leerlauf unserer komplexen Maschinerie des Menschenhirns beruhen, der zu keinem Ergebnis führen kann. Das einzige, was man tun kann und wozu wir auch fähig sind, ist eine Veränderung oder Modifikation der angeborenen Denkgewohnheiten. Daß dies möglich ist, zeigt nach Boltzmanns Auffassung die Geschichte der Physik und seine eigentliche auf die Physik bezogene Erkenntnistheorie, die auf der Idee der Freiheit des menschlichen Denkens beruht, die auch unsere angeborenen Beschränkungen überwinden kann, ist die systematische Begründung für diese Ansicht.

Welche Bedingungen hat daher eine solche, die biologischen Grundlagen überschreitende Erkenntnistheorie zu erfüllen?

9. Sie muß den konkreten wissenschaftlichen Erkenntnisprozeß leiten können .

10. Sie muß verallgemeinerungsfähig sein, d.h. sie darf nicht nur ad hoc gültig für besondere Theorien zu einem besonderen historischen Zeitpunkt sein. Das bedeutet nicht, daß

sie allgemeingültig sein muß im Sinne mancher philosophischer Absolutheitsansprüche, d.h. ewig für alle Zeiten gültig, sondern sie muß nur fortsetzbar sein, indem sie sich ständig modifizierend dem jeweiligen wissenschaftlichen Erkenntnisprozeß anpaßt.

Nur in dieser verallgemeinerungsfähigen Gestalt kann eine aus der praktischen physikalischen Forschung entstandene erkenntnistheoretische Reflexion mit dem in Kontakt gebracht werden, was in der Geschichte der Philosophie seit jeher in systematischer Weise unter dem Titel Erkenntnistheorie abgehandelt worden ist. Daß Boltzmann diese Verbindung von systematisch-philosophischer Erkenntnistheorie angestrebt hat, geht eindeutig aus seinen eigenen Bemerkungen hervor, wenn er z.B. in einem seiner letzten Vorträge über statistische Mechanik aus dem Jahre 1904 sagt: "Ich bin hier philosophischen Fragen nicht aus dem Weg gegangen in der festen Hoffnung, daß ein einmütiges Zusammenwirken der Philosophie und Naturwissenschaft jeder dieser Wissenschaften neue Nahrung zuführen wird, ja daß man *nur auf diesem Wege* zu einem wahrhaft konsequenten Gedankenausdruck gelangen kann." (*Populäre Schriften*, S. 363)

Ein solches Zusammenwirken von Philosophie und Naturwissenschaft in erkenntnistheoretischen Grundfragen setzt natürlich, wie Boltzmann selbst genau weiß, auch ein gegenseitiges Verständnis und eine gewisse Arbeitsteilung voraus.

Manche Aussagen, die Boltzmann gegenüber zeitgenössischen Philosophen wie z.B. Schopenhauer gemacht hat, scheinen dieser Vorstellung einer fruchtbaren und notwendigen Kooperation von Philosophie und Naturwissenschaft zu widersprechen und die weitverbreitete Vorstellung zu unterstützen, daß Boltzmann nicht nur ein philosophischer Dilettant oder Autodidakt (Broda 1955), sondern sogar ein Antiphilosoph (Schmied-Kowarzik 1993) war. Die Auflösung dieses scheinbaren Widerspruchs liegt in einem einzigen kurzen Satz aus der fragmentarischen Aufzeichnung zur Naturphilosophie, der da lautet:

Ich ehre Philosophie, ich hasse Philosophen.

Geht man nun von dieser Vorstellung einer notwendigen Kooperation von Philosophie und Naturwissenschaft aus und wendet man sie auf Boltzmanns eigene erkenntnistheoretisch-naturphilosophischen Ideen an, dann ist auch die Aufgabenstellung der Philosophie in diesem Punkt klar: Sie besteht weder in einer philosophischen Kritik, noch in einer Apologie der Boltzmannschen Ideen, noch in dem Versuch Boltzmann als einen Vorläufer für irgend eine geläufige Richtung der Philosophie in Anspruch zu nehmen, sondern sie besteht in einer systematischen Rekonstruktion, die auch eine Form der Aktualisierung und nicht nur eine rein historische Beschreibung ist, sondern selbstverständlich eine Bewertung enthält. Und zwar nach jenen Anforderungen, die man von jeder Form der Erkenntnistheorie erwarten kann. Konkret heißt das nun:

1. Auf welcher Grundlage beruht die Boltzmannsche Erkenntnistheorie und läßt sich diese Grundlage auch rechtfertigen?
2. Kann die Boltzmannsche Erkenntnistheorie konkret nachweisbar den wissenschaftlichen Erkenntnisprozeß auf erfolgreiche Weise leiten. In diesem Fall bezogen auf die physikalischen Theorie, die Boltzmann selbst vertreten hat, insbesondere die mechanische Theorie der Wärme, die auf der molekularen Struktur der Materie beruht?
3. Ist die Boltzmannsche Erkenntnistheorie verallgemeinerungsfähig in dem Sinne, daß sie nicht nur für physikalische Erkenntnisse zu einer bestimmten Zeit gültig ist?

Alle diese drei Fragen lassen sich rekonstruktiv, d.h. im Nachhinein allein durch Kenntnis der historischen Wirksamkeit dieser Theorie beantworten, ohne daß man sich auf einen "höheren Standpunkt" eines philosophischen Besserwissers stellt, der sie von oben herab sozusagen mit den Augen Gottes betrachtet und sein Urteil darüber fällt. Es ist vielmehr die Geschichte der wissenschaftlichen Erkenntnis selbst, die auch über den Wert und Unwert einer Erkenntnistheorie entscheidet, genauso wie sie zu Gunsten der Boltzmannschen Atomistik und der mechanischen Wärmetheorie entschieden hat.

Auf die *erste Frage* nach dem Fundament seiner erkenntnistheoretischen Auffassungen hat Boltzmann eine klare Antwort gegeben. Sie lautet:

"Nach meiner Ansicht ist alles Heil für die Philosophie zu erwarten von der Lehre Darwins" (*Populäre Schriften*, S. 396)

Solange man den menschlichen Geist, die menschliche Erkenntnisfähigkeit und die sogenannten Denkgesetze unabhängig von ihrer evolutionären Entstehung betrachtet, bleiben sie in ihren Funktionen und Leistungen unerklärlich. Erst wenn man sie als angeborene und vererbte Fähigkeiten ansieht, die sich in einer Jahrmillionen dauernden Auseinandersetzung mit einer reichhaltigen Umwelt ausgebildet haben, wird man sowohl ihr Funktionieren als auch ihr Versagen verstehen können. Gerechtfertigt ist diese Ansicht vom genetischen Apriori, wie immer man es auch zum Kantischen Apriori in Beziehung setzen mag (auch Kant hat zumindest einen "angeborenen Grund" der Kategorien angenommen), als eine logische Konsequenz der Darwinschen Evolutionstheorie. Das heißt, wer die Evolutionstheorie akzeptiert, muß auch die evolutionäre Erkenntnistheorie als notwendige, aber nicht hinreichende Grundlage menschlicher Erkenntnisfähigkeit akzeptieren. Nicht hinreichend ist diese Erklärung menschlicher Erkenntnisfähigkeit deswegen, weil sie zwar das unmittelbare, dem Überleben dienende kognitive Verhalten aus den angeborenen Erkenntnismechanismen erklären kann, nicht aber deren Modifikationen und Überschreitungen, wie sie die wissenschaftliche Erkenntnis selbst zeigt.

Diese Modifikationen sind nicht einfach Weiterentwicklungen oder Fortsetzungen der auf der Entwicklung der Sinnesorgane beruhenden angeborenen Anschauungsformen und Denkgewohnheiten, welche die bloßen Wahrnehmungen miteinander verknüpfen, sondern arbeiten diesen sogar entgegen.

Die Frage ist, wie das überhaupt mit der biologischen Grundlegung der menschlichen Erkenntnisfähigkeit im Rahmen der Evolutionstheorie zu vereinbaren ist, die doch nahelegt, daß die genetisch determinierten Erkenntnismecha-

nismen absolute Begrenzungen für die biologische Art homo sapiens sind oder wie ein Kritiker der evolutionären Erkenntnistheorie aus der jüngsten Gegenwart gesagt hat, "eine Brille darstellt, die man nie abnehmen kann." (Frey 1980)

Die Antwort auf diese Kritik, die bereits Boltzmann vorweggenommen hat, lautet: Die Evolution hat mit dem Menschenhirn ein artspezifisches Extremorgan ausgebildet, das die Möglichkeit der Selbstüberwindung und Selbstmodifikation in sich trägt und trotzdem nicht aus dem Rahmen des Mechanismus der Evolution fällt. Denn das Gehirn des Menschen dient der Herstellung von Weltbildern, die für die Erhaltung der Art von ebenso großer Nützlichkeit ist wie die ungewöhnliche Länge des Giraffenhalses oder Storchenschnabels (*Populäre Schriften*, S. 179)

In dieser Betonung der Entwicklung des zentralen Verarbeitungssystems gegenüber der Entwicklung der Sinnesorgane besteht auch der entscheidende und für den Aufbau einer speziellen Erkenntnistheorie der Physik gravierende Unterschied zu Ernst Mach, der selbst ausdrücklich betont hat, daß er die Darwinsche Lehre auf die Theorie der Sinnesorgane anwenden wollte und daher in den Sinnesdaten selbst das einzig Reale gesehen hat, während für ihn Gesetze und Theorien der Physik ausschließlich nur Instrumente einer Denkökonomie sind, die nichts anderes als Arbeitsersparnis bewirken.

Für Boltzmann dagegen ist der zentrale Verrechungsapparat des menschlichen Gehirns der Träger des Mechanismus der menschlichen Erkenntnisfähigkeit. Er spricht daher ausdrücklich von einen "Mechanismus im Menschenkopf", der es erlaubt, in unbegrenzter Weise über die Sinneserfahrung hinauszugehen und immer neue Weltbilder zu konstruieren, deren Realitätsgehalt allein darauf beruht, "daß man präzise Anweisungen zu zweckentsprechendem Eingreifen in die Ereigniswelt erhält." (I. Fasol-Boltzmann 1990, S. 401)

Damit läßt sich nun die *zweite Frage* nach der erfolgreichen Anwendung der Boltzmannschen Erkenntnistheorie auf den wissenschaftlichen physikalischen Erkenntnisprozeß beantworten: Boltzmanns eigentliche evolutionäre Erkenntnistheorie ist eine die biologisch-evolutionären Grundlagen überschreitende Theorie der Entwicklungsfähigkeit der menschlichen Erkenntnis, die ihre organische Grundlage in der nicht nur phylogenetischen, sondern auch ontogenetisch einzigartigen Entwicklungsfähigkeit des Menschenhirns und ihre historischen Grundlagen in der Entwicklungsgeschichte der physikalischen Theorien hat, die bereits zu Boltzmanns Zeiten einen faktisch-realen Beweis für die Modifikation und Überwindung unserer angeborenen Anschauungs- und Denkformen geliefert hat.

Das zeigt sich für Boltzmann nicht nur an der Entwicklung des Kopernikanischen Weltbildes oder der Gravitationstheorie Newtons, die die bisher für unmöglich gehaltene Vorstellung der Gegenfüßler an den entgegengesetzten Punkten der Erdkugel erst akzeptabel gemacht hat, sondern auch an der von ihm selbst immer präziser und allgemeiner entwickelten atomistischen Theorie, ebenso, wie er prophetisch sagt, auch an dem "Schwinden der Vorurteile gegen den nichteuklidischen und vierdimensionalen Raum" (I. Fasol-Boltzmann 1990, S. 402), dessen physikalische Bedeutung er damit schon vorausgeahnt hat.

Was sind nun die Grundelemente der speziellen, auf die Entwicklung der Physik ausgerichteten Erkenntnistheorie Boltzmanns?

Ausgangspunkt und Streitpunkt zugleich unter den zeitgenössischen Physikern ist die Auffassung von der Aufgabe der physikalischen Theorie. Während für Mach diese Aufgabe allein in der Arbeitsersparnis besteht, liegt sie für Boltzmann in der Konstruktion "eines existierenden Abbildes der Außenwelt, das uns in allen unseren Gedanken und Experimenten als Leitstern zu dienen hat." (*Populäre Schriften*, S. 77) Jede Theorie ist eine Art von komplexer Gesamtvorstellung oder eine Vorstellung im Großen, was sich bei der Bildung jeder Vorstellung im Kleinen in uns vollzieht. Auch in einer mathematisch formulierten physikalischen Theorie ist daher nicht das Wesentliche die Formel, sondern die interne Repräsentation der realen Außenwelt. Der wahre Theoretiker sagt Boltzmann, "spart mit Formeln und drückt vielmehr in Worten aus, was sich in Worten sagen läßt. Das bloße Wohlgefallen am Formalen ist in der Naturwissenschaft genauso gefährlich für den Fortschritt wie in der Mathematik, in der Logik und in der Erkenntnistheorie. Denn auch dort bedeutet diese Haltung nichts anderes, als die Mathematik vor lauter algebraischen Formeln, die wahre Logik vor lauter anscheinend schulgerecht gebauten Syllogismen, die wahre Philosophie vor lauter philosophisch sich herausputzendem Krimskrams, kurz: den Wald vor lauter Bäumen nicht sehen zu wollen" (*Populäre Schriften*, S. 378).

Diese nachträglich so plausibel klingende Auffassung stand jedoch damals in einem krassen Gegensatz zur Erkenntnistheorie einer phänomenologischen Physik, die nicht nur jede anschauliche Vorstellung, sondern jedes auch noch so abstrakte Erklärungsmodell für absolut überflüssig, ja irreführend angesehen hat. Die deutsche Physik, allen voran so bedeutende Vertreter wie Kirchhoff und Mach waren entweder Anhänger eines positivistischen Beschreibungsideals im Sinne der phänomenologischen Physik oder forderten zumindest wie Heinrich Hertz, daß die Bilder oder Erklärungsmodelle, die wir konstruieren, den Denkgesetzen entsprechen müssen, die er als a priori unabhängig und vor aller Erfahrung für gültig hält.

Genau an diesem Punkt setzt die Kritik Boltzmanns ein. Für seine evolutionistische Auffassung von den Denkgesetzen gibt es keine a priori gültigen und somit unabänderlichen Denkgesetze, die als "unbedingt oberste Richter" anzuerkennen sind. Sie sind selbst nur Produkte der Evolution und gültig nur dort, wo sie sich bereits bewährt haben. Es geht daher nicht um die Zulässigkeit von physikalischen Theorien als Erklärungsmodelle im Hinblick auf ihre Übereinstimmung mit den Denkgesetzen, sondern die letzte und alleinige Entscheidung über ihre Richtigkeit und Zweckmäßigkeit liegt darin, daß sie die Erfahrung möglichst einfach und durchaus treffend darstellen. Und gerade darin liegt wieder die Probe für die Richtigkeit der Denkgesetze. Treten Widersprüche auf, sind nicht die passenden Erklärungsmodelle, sondern die Denkgesetze oder die Logik selbst zu ändern. Oder noch schärfer ausgedrückt: "Nicht die Logik, nicht die Philosophie, nicht die Metaphysik entscheidet in letzter Instanz, ob

etwas wahr oder falsch ist, sondern die Tat." Deshalb hält auch Boltzmann die Errungenschaften der Technik nicht für nebensächliche Abfälle der Naturwissenschaften, sondern, wie er ausdrücklich sagt, "für logische Beweise". (I. Fasol-Boltzmann 1990, S. 394)

In der heutigen Terminologie der Wissenschaftstheorie ausgedrückt handelt es sich bei Boltzmann nicht um einen simplen Pragmatismus, sondern um eine Technologie des wissenschaftlichen Erkenntnisfortschrittes, die sich heutzutage am eindeutigsten in dem Konzept einer "Computational Philosophy of Science" ausdrückt, deren Grundprinzip die Modellierung eines Realitätsausschnittes und die "Effektivität" der Lösungsstrategie ist, welche durch eine bestimmte Programmarchitektur vorgegeben wird. In diesem Sinne ist nun auch Boltzmanns "Bild"-Konzeption der physikalischen Theorie zu verstehen, die grundlegend für die Entwicklung seiner eigenen mechanischen Wärmetheorie war, und in heutiger Terminologie ausgedrückt die Repräsentation eines konkreten, in diesem Fall mathematisch ausgearbeiteten Modells der physikalischen Realität ist.

Über die Bild-Konzeption gibt es in der Boltzmann-Literatur bereits eine ausgedehnte Kontroverse, die sich im angloamerikanischen Bereich vor allem auch in den Übersetzungschwierigkeiten des deutschen Wortes "Bild" ausdrückt, worüber bereits Salvo D'Agostino am internationalen Boltzmann Symposium in Rom 1989 referiert hat. Die Skala reicht von den englischen Begriffen "image" über "internal picture" bis zu "representation", wobei sich auch im Bezug auf Hertz ein Unterschied ergibt, der bei der Umschreibung des Ausdrukkes "Bild" den Ausdruck "Darstellung" bevorzugt im Unterschied von Boltzmann, der immer von "Vorstellungen" spricht. Hinter diesem scheinbaren Begriffschaos steht jedoch eine ausgefeilte Repräsentationstheorie, die auf Kant selbst zurückzuführen ist und einen untrennbaren Zusammenhang von Wahrnehmen, Vorstellung und abstrakten Denken postuliert.

Zunächst einmal ist festzuhalten, daß die erkenntnistheoretische Auffassung vom "Bild"- oder Modellcharakter einer physikalischen Theorie die leitende Grundidee für die Entwicklung seiner atomistisch-mechanischen Wärmetheorie war, deren Durchsetzung er nicht mehr erleben konnte. Boltzmann, der selbst niemals den Narren spielen wollte, der auf eigene Faust philosophiert, weder im Bezug auf die traditionelle Philosophie noch in der speziellen, die physikalische Theoriebildung leitenden Erkenntnistheorie, wie sie in der Geschichte der neuzeitlichen Physik seit Galilei entwikkelt worden ist, hat sich selbst sehr genau in eine bestimmte Entwicklungsrichtung eingeordnet.

Ausgangspunkt ist die von Faraday und Maxwell begründete Elektrodynamik. Es ist viel zu wenig bekannt, daß Boltzmann selbst zwei wichtige frühe Schriften von Maxwell übersetzt und in Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften veröffentlicht hat. In der ersten dieser beiden Schriften von Maxwell, die über Faradays Kraftlinien handelt, hat Maxwell seine Erkenntnistheorie dargestellt, die von Boltzmann in Anmerkungen kommentiert und der zu seiner Zeit im deutschen Sprachraum vorherrschenden positivistischen Erkenntnistheorie gegenübergestellt wird. Boltzmann stellt fest, daß diese neue Erkenntnistheorie der Physik, wie sie mit dem Mach-Kirchhoffschen Beschreibungsideal vertreten wird, genau zu jenem Zeitpunkt einen bedenklichen Schwenk vollzogen hat, als sich die Biologie durch Darwins Evolutionstheorie gerade zu einer theoretischen Erklärung erhoben hat, die über die bloße Beschreibung oder bestenfalls Klassifizierung der Phänomene, wie sie bisher in Zoologie und Botanik üblich war, hinausgeht. Boltzmann sieht daher in der, wie er sagt, "modernen Erkenntnistheorie" seiner Physikerzeitgenossen einen Rückschritt. Und in der Tat hat sich ja auch diese erkenntnistheoretische Grundhaltung, die am starrköpfigsten von Mach vertreten worden war, als großes Forschungshindernis im Bezug auf die atomistische Theorie erwiesen, deren Durchsetzung Boltzmann nicht mehr erleben konnte. Und selbst Max Planck, der an dieser Durchsetzung maßgeblich beteiligt und Boltzmann einen unbeugsamen wissenschaftlichen Optimismus bescheinigte, hatte Bedenken gegen das freie Gedankenspiel hypothetischer, die Erfahrung weit überschreitende Modelle, die ja auch die Brücke bildeten für die Erkenntnis Boltzmanns über den Zusammenhang von Entropie und Wahrscheinlichkeit.

Wenn aber Planck den warnenden Satz ausspricht, daß man, je kühner und enthusiastischer sich die himmelstürmenden Phantasien betätigen, umso nüchterner man sich des Umstandes bewußt sein muß, daß neben der höchsten Vernunft der größte Unsinn lauert und man daher seine Gedankenflüge stets nach dem mathematisch Zulässigen, wie auch experimentell Erfaßbaren ausrichten muß, (Planck, *Wege zur physikalischen Erkenntnis*, Bd.II, S. 121) dann hat er sowohl die erkenntnistheoretische Grundhaltung als auch die tatsächliche Forschungspraxis von Boltzmann selbst getroffen. Denn Boltzmann war weit davon entfernt, seine hypothetischen Modelle unabhängig von der Mathematik zu sehen. Vielmehr war ihm die Mathematik selbst - sowohl die Zahlenlehre als auch die Geometrie - eine Quelle der streng geregelten menschlichen Intuition, insbesondere für die physikalischen Grundhypothesen über Raum und Zeit, wie vor allem seine bisher unbekannt gebliebenen naturphilosophischen Vorlesungen im Wintersemester 1903/04 zeigen, die fast zur Gänze diesen Themen gewidmet waren.

Die formale Logik dagegen vergleicht er immer wieder mit einem zu groß geratenen Gewand, in das man sich ständig die Füße verwickelt und stolpert. Mit dieser Auffassung steht er nicht nur im krassen Gegensatz zum Logizismus des späteren Wiener Kreises (Carnap), sondern auch zur rein logischen Begründung der Mathematik und der vollständigen Ablehnung der Anschauung als Erkenntnisquelle durch Hans Hahn (1932).

Ich komme damit zum *dritten* und letzten Punkt der Frage nach der philosophischen Verallgemeinerungsfähigkeit der Boltzmannschen Erkenntnistheorie. Im Sinne der Boltzmannschen Kooperationsthese zwischen Naturwissenschaft und Philosophie möchte ich nun im folgenden nicht Boltzmann als den großen Philosophenfresser darstellen, was man natürlich auch tun kann nach seinem eigenen Motto: Ich ehre Philosophie, ich hasse Philosophen. Boltzmann wußte übrigens genau aus seinen Hegel- und Schopenhauer-Studien, daß sich auch die Philosophen untereinander hassen, und war sogar der Meinung, daß die Philosophen nur dort

am besten sind, wo sie sich gegenseitig beschimpfen und widerlegen. Er war auch nicht der Auffassung, daß Philosophie eine "Geisteswissenschaft" ist, wie er überhaupt dem Ausdruck "Geisteswissenschaft" ablehnte mit der Begründung: "Es sieht [so] aus, als ob die Naturwissenschaft geistlos wäre." (I. Fasol-Boltzmann, S. 81) Für ihn war Philosophie, zumindest die Erkenntnistheorie, ein Teil der Naturwissenschaft, wie sich überhaupt in den grundlegenden Fragestellungen der theoretischen Physik nach seiner Auffassung, die künstlich errichteten disziplinären Grenzen notwendigerweise verwischen müssen. Und er scheut sich auch nicht, Robert Mayer, Maxwell, Helmholtz, Kirchhoff, Ostwald und schließlich sich selbst als Philosophen zu bezeichnen, trotz seines bekannten Ausspruches in der Antrittsvorlesung zu seinem philosophischen Lehrauftrag, daß man damit "den Bock zum Gärtner gemacht hat". (I. Fasol-Boltzmann, S. 154)

Andererseits hatte er keineswegs die Absicht, ein eigenes selbstgestricktes System einer Privatphilosophie zu errichten, in dem die alten Hüte der traditionellen Philosophie samt ihren ungelösten und zum Teil auch unbemerkten Aporien wieder auftauchen. Was Boltzmann ausdrücklich im Sinn hatte, war der Ausbau und die Erweiterung des Systems der traditionellen Philosophie und die Beseitigung ihrer inneren Widersprüche mit den Mitteln einer an den Grundfragen der theoretischen Physik orientierten Erkenntnistheorie.

Das geht ganz eindeutig aus den nun veröffentlichten Vorlesungsmanuskripten zu seiner Naturphilosophie hervor, von denen bisher nur die spektakuläre, aber sehr allgemein gehaltene Antrittsvorlesung bekannt war. Der weitere gut dokumentierte Verlauf seiner Vorlesungen, vor allem seiner ersten im Wintersemester 1903/04 gehaltenen Vorlesung zeigt, wie ernst er seinen philosophischen Auftrag genommen hat. Er zeigt auch, daß die bereits auf Grund seiner ausgezeichneten Prüfungsergebnisse im Philosophicum bei Zimmermann und Lott (die um Grade besser waren als die von Mach bei den gleichen Prüfern) geäußerte Vermutung, daß sich Boltzmann schon in seiner Gymnasialzeit weit über das zwangsmäßig verordnete Pensum hinaus mit Philosophie beschäftigt hat, richtig ist.

Durch die eingehende Studie von Wilson (1993) ist auch bekannt geworden, daß Zimmermann, der in der Nachfolge von Herbart eine realistische Kant-Interpretation vertreten hatte, in diesem Rahmen auch eine sehr differenzierte erkenntnistheoretische Konzeption von komplexen Vorstellungen entwickelt hat, die auf Boltzmann vielleicht einen noch größeren Einfluß hatte als die aprioristische Version des Bildes, wie sie Hertz geliefert hat. Daß Boltzmann sehr viel an der Meinung seines alten Lehrers im Philosophicum gelegen war, zeigt die Bemerkung aus seinen fragmentarischen Aufzeichnungen zur Naturphilosophie "Ich gebe Zimmermann ein Manu[skript]".

Boltzmann jedenfalls erweitert und verallgemeinert seine Bildkonzeption der physikalischen Theorie, indem er sie auf die Philosophie und Wissenschaftstheorie überträgt und dort zumindest metaphorisch-gleichnishaft anwendet. Die Philosophie erschien ihm wie das Innere eines großen gotischen Domes: "Es ist da alles ehrwürdig, alles erhaben, alles großartig, aber auch alles finster und voll von Dunkelheit, die Gegenstände scheinen sich alle bis ins Endlose zu erweitern und zu vergrößern, die Gegenstände, welche man sieht, und noch mehr die, welche man nicht sieht, welche man in den dunklen Winkeln zu ahnen glaubt." (I. Fasol-Boltzmann, S. 202) Und in einer späteren Vorlesung vom 6. Feber 1905 benützt er das gleiche Bild von einem Gebäude, dessen äußere Fassade von den Naturwissenschaften aufgebaut ist, die aber nicht das eigentliche Wesen der Dinge der Natur wiedergeben: Damit schildert er zunächst seine eigene Situation, wie er von einer naturwissenschaftlichen Position aus ins Innere des Gebäudes vordringen kann: "Ich will in ein Gebäude, gehe nur (her)um und zeichne die Fassade." Und dann folgt an dieser Stelle das entscheidende evolutionäre Argument, das für Boltzmann den einzig zu rechtfertigenden Zugang zu den prinzipiellen Fragestellungen der Philosophie nach dem Wesen der Welt an sich darstellt. Denn er sagt: "Wenn wir Engelköpfe mit Flügeln ohne Leib wären, könnten wir nicht in das Gebäude hinein, durch den Leib wurzelt das Subjekt selbst in der Welt, ist Teil der Welt, der Objekte selbst. Das innere Wesen der anderen Erscheinungen erkennen wir nicht, aber die Handlungen des Leibes". (I. Fasol-Boltzmann, S. 128)

Wie aber lautet dann, wenn man diesen Zugang zur realen Welt über die Aktivitäten des Leibes wählt, die Lösung der Frage nach dem Wesen der Dinge an sich? Wenn die Philosophie nach Boltzmann nichts anderes sein kann als "unsere Ausdrucksweise bis an die Anfänge zurückzugelangen", wir aber ganz im Sinne Kants das Wesen der Dinge an sich prinzipiell nicht erkennen können und trotzdem mit dem angeborenen Drang zum Wühlen im Erkenntnisgrund belastet sind, dann gibt es nur eine konsequente Antwort: Nicht das Wesen der Dinge selbst kann das Ziel sein - weder für die naturwissenschaftliche Forschung noch für die Philosophie, sondern das "Bild" oder das Modell der Realität ist das alleinige Ziel. Damit ist jedoch nicht ein relativistischer agnostizistischer Standpunkt gemeint, der auch damals schon mit dem berüchtigten, aber von Hilbert mit Recht als "töricht" bezeichneten "Ignorabismus" im Schwange war, sondern das, was Boltzmann meint, ist die ständige Abänderungsmöglichkeit und Entwicklungsfähigkeit unserer wissenschaftlichen Theorien über diese Welt, die damit eine endlose Kette voneinander sich ablösenden Bildern oder Modelle der Realität hervorbringt, die einen, wie schon Kant gesagt hat, "progressus ad indefinitum" darstellen, einen ständigen und echten Fortschritt in das von uns noch nicht definierbare Unbekannte.

Literatur:

Boltzmann, L., 1905: *Populäre Schriften*. Leipzig: Joh. Ambrosius Barth.

Boltzmann, L., 1990: *Principien der Naturfilosofie*, Vorlesungen hrsg. v. I. M. Fasol-Boltzmann. Berlin: Springer-Verlag.

Broda, E., 1955: *Ludwig Boltzmann. Mensch, Physiker, Philosoph*. Wien: Franz Deuticke.

D'Agostino, S., 1993: *Boltzmann and Hertz on the Bild-Conception of Physical Theory*. In: Proceedings of the International Symposium on Ludwig Boltzmann. Wien: Österr. Akademie der Wissenschaften.

Feyerabend, P., 1972: *Ludwig Boltzmann*. In: The Encyclopedia of Philosophy, Bd. 1. Edwards (Ed.). New York: Macmillan.

Flamm, D., 1987: *Evolutionstheoretische Konzepte bei Boltzmann und Mach*. In: Entwicklung der Evolutionären Erkenntnistheorie. Riedl, R. u. Bonet, E.M. (Hrsg.). Wien: Edition S.

Frey, G., 1980: *Möglichkeit und Bedeutung einer evolutionären Erkenntnistheorie*. In: Zs. für Philosophische Forschung 34, 1 - 7.

Hahn, H., 1932: *Die Krise der Anschauung*. In: Krise und Neuaufbau in den exakten Wissenschaften. Leipzig und Wien: Franz Deuticke.

Lebowitz; J.L., 1993: *Boltzmann's Entropy and Time's Arrow.* In: Physics Today, Sept. 1993.

Mach, E., 1905: *Erkenntnis und Irrtum.* Leipzig: Joh. Ambrosius Barth.

Mach, E.,1904: *Populär-wissenschaftliche Vorlesungen*Leipzig: Joh. Ambrosius Barth.

Oeser, E., 1976: W*issenschaft und Information*, Bd. 1: Wissenschaftstheorie und empirische Wissenschaftsforschung. Oldenbourg, Wien-München.

Oeser, E., 1993: *Boltzmann's Epistemology and its Significance today.* In: Proceedings of the International Symposium on Ludwig Boltzmann. Wien: Österr. Akademie der Wissenschaften

Oeser, E., 1993: *Die naturalistische Neubegründung der Erkenntnistheorie durch Mach und Boltzmann im Wien der Jahrhundertwende*. In: J. Nautz u. R. Vahrenkamp (Hrsg.), Die Wiener Moderne. Einflüsse. Umwelt. Wirkungen. Wien, Köln, Graz.

Planck, M., 1943: *Wege zur physikalischen Erkenntnis. Reden und Vorträge*. 3. Aufl., Berlin.

Popper, K., 1983: *Ausgangspunkte*. 2. Aufl. Hamburg: Hoffmann und Campe.

Schmied-Kowarzik, W., 1993: *Vergessene Impulse der Wiener Philosophie um die Jahrhundertwende*. In: J. Nautz u. R. Vahrenkamp (Hrsg.), Die Wiener Moderne. Einflüsse. Umwelt. Wirkungen. Wien, Köln, Graz.

Wilson, A.D., 1993: *Boltzmann's Philosophical Education and its Bearing on his Mature Scientific Epistemology.* In: Proceedings of the International Symposium on Ludwig Boltzmann. Wien: Österr. Akademie der Wissenschaften.

Kosmische Strings

Franz Embacher

Einleitung

Wir wissen heute über das Universum, daß sein Inhalt an sichtbarer Materie klumpig ist. Galaxien treten manchmal in Haufen, und Galaxienhaufen in Superhaufen auf, wobei die größten beobachteten Strukturen eine Ausdehnung von etwa 100 Mpc haben. (Abb. 1)

Abb. 1: Schematische Skizze der großräumigen Strukturen in Universum.

Das ist zu vergleichen mit der Größe des heute sichtbaren Teils des Universums (etwa 3000 Mpc). Andererseits datiert die kosmische Hintergrundstrahlung, ein Mikrowellenhintergrund der Temperatur 2,7 K, auf die Zeit zurück, als der Strahlungsinhalt des Universums von der Materie abkoppelte, d.h. als durch die Entstehung von Atomen das Universum "durchsichtig" wurde, etwa 10^5 Jahre nach dem Urknall bei einer Temperatur von etwa 1000 K. Die hohe Isotropie der Hintergrundstrahlung zeigt, daß damals ein sehr hoher Grad an Homogenität und Isotropie geherrscht hat. Das Satellitenexperiment COBE von 1992 hat diesen Sachverhalt genauer geklärt: Die relativen Schwankungen der Temperatur der Hintergrundstrahlung, die in verschiedenen Raumrichtungen gemessen wurde (d.h. deren Anisotropie), lassen auf die relativen Dichteschwankungen zur Zeit der Entkopplung ("decoupling") schließen:

$$\left(\frac{\delta T}{T}\right)_{heute} \approx \left(\frac{\delta \rho}{\rho}\right)_{dec} \approx 10^{-5}$$

Nun besteht aber das Problem, daß solche Schwankungen mit massiven Strukturen verbunden waren, die es nach dem Standardmodell der Kosmologie nicht gegeben haben darf: der Strahlungsdruck in dieser frühen Phase hätte jede derartige Verdichtung ausgeglättet. Andererseits war schon vor dem COBE-Experiment klar, daß das Standardszenario den zufälligen Materieverdichtungen, die nach der Entkopplung entstanden sind, nicht genug Zeit gibt, um die heute beobachteten großräumigen Strukturen aufzubauen.

Ein möglicher Ausweg besteht in der Vermutung, es habe im frühen Universum ausgedehnte Objekte gegeben, die den Strahlungsdruck nicht spürten. Eines der spannendsten Beispiele für die Verbindung, die von der Kosmologie mit der Teilchenphysik eingegangen wurde, liegt darin, daß die Spekulationen über eine mögliche große vereinheitlichte Feldtheorie (grand unified theory - GUT) Hinweise auf die Existenz gerade derartiger Objekte geliefert haben.

Die Idee einer großen vereinheitlichten Feldtheorie basiert auf der Annahme, daß alle fundamentalen Wechselwirkungen (außer der Gravitation) bei sehr hohen Temperaturen ($kT > 10^{16}$ GeV oder $T > 10^{29}$ K) auf alle Teilchensorten gleich stark wirken. Diese Symmetrie "bricht" bei fallender Temperatur einige Male, so daß sich zuletzt die Aufspaltung der Wechselwirkungen in die elektromagnetische, die schwache und die starke ergibt. Zu diesem Zweck wurde ein Higgs-Feld (oder mehrere Higgs-Felder) postuliert, das in einer Weise die Brechung von Symmetrien bewirkt, die wir gleich besprechen werden, und zusätzlich für die Massen der Elementarteilchen sorgt. Die zu den Higgs-Feldern gehörenden Teilchen werden in den großen Beschleunigern gesucht, wurden aber (noch) nicht gefunden.

Topologische Defekte

Kosmische Strings sind "topologische Defekte", die bei einer Symmetriebrechung im frühen Universum entstehen. Um diesen Mechanismus zu verstehen, wenden wir uns zunächst einem Modell zu, in dem zwar keine Strings auftreten, das aber die Mechanismen besser verdeutlicht.

Wenn ein Modell einer großen vereinheitlichten Feldtheorie ein einziges reelles Higgs-Feld ϕ enthält, so ist damit ein Potential

$$V(\phi) = \lambda(\phi^2 - v^2)^2 + bT^2\phi^2$$

verbunden. Dabei ist zu verstehen, daß das Feld in jedem Raum- und Zeitpunkt einen Wert annehmen kann. Mit einem solchen Wert ist dann eine potentielle (Feld-)Energie $V(\phi(t,x))$ verbunden. Falls ein derartiges Feld in einem Raum mit Temperatur T betrachtet wird, so ist der T-abhängige Term im Potential (die "Quantenkorrektur" - b hängt von λ und v ab) dazuzunehmen. Diese Sachverhalte werden also aus der Teilchenphysik übernommen und haben zunächst mit Kosmologie nichts zu tun.

Nun stellen wir dieses Modell in einen kosmologischen Zusammenhang. Nach dem wohl wichtigsten Paradigma der modernen Kosmologie, dem Szenario des heißen Urknalls, besteht zunächst ein extrem heißer und dichter Zustand. Der

Univ. Doz. Dr. Franz Embacher, Institut für Theoretische Physik der Universität Wien.
Dieser Beitrag wurde als Vortrag während der 48. Fortbildungswoche in Wien am 1. März 1994 gehalten.

"Radius" des Universums *a(t)* ist proportional zu $t^{1/2}$, die Temperatur *T(t)* nimmt ab wie $t^{-1/2}$. Diese Beschreibung bricht sicher zur Planck-Zeit (10^{-43} s) zusammen (und muß durch eine noch unbekannte Theorie der Quantengravitation ersetzt werden). Wir aber interessieren uns für den späteren Zeitpunkt $t = 10^{-35}$ s. Dies ist gerade jene Zeit, in der T soweit abgenommen hat, daß der temperaturabhängige Term im Potential von derselben Größenordnung wie der andere Term ist.

Eine einfache Kurvendiskussion zeigt den Verlauf des Potentials V als Funktion von ϕ (Abb. 2). Ist T größer als die kritische Temperatur

$$T_{krit} = \sqrt{\frac{2\lambda v^2}{b}},$$

so gibt es nur ein Minimum bei $\phi = 0$. Für $T < T_{krit}$ wird diese Stelle zu einem lokalen Maximum, und zwei neue Minima bilden sich aus. Ist T so klein, daß man den T-Term vernachlässigen kann, so nimmt $V(\phi)$ bei $\phi = -v$ und $\phi = v$ den Wert 0 an. Dynamisch ergibt sich also folgendes: Zunächst herrschen hohe Temperaturen, und das Higgs-Feld wird (im Mittel, d.h. bis auf thermische und Quantenfluktuationen) im ganzen Raum den Wert $\phi = 0$ annehmen. Fällt T unter die kritische Temperatur, so findet sich ϕ "on top of the hill", d.h. in einem instabilen Zustand und wird jede kleinste Fluktuation benützen, um Werte in Richtung auf eines der beiden Minima anzunehmen. Das nennt man spontane Symmetriebrechung. ("Gebrochen" wird dabei die Symmetrie $\phi \rightarrow -\phi$, also mathematisch ausgedrückt eine diskrete Gruppe).

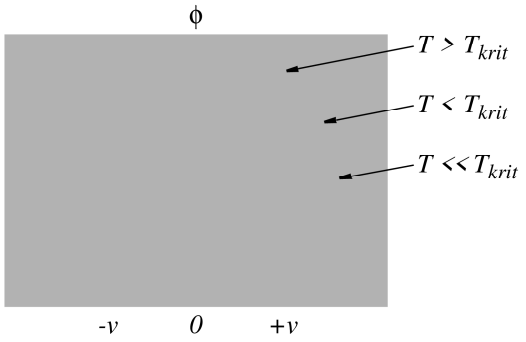


Abb. 2: Formen des Higgs-Potentials für verschiedene Temperaturen.

Der springende Punkt ist nun, daß zwei beliebige Orte zu dieser frühen Zeit nicht unbedingt kausal verbunden sind, d.h. auch keine "gemeinsame Ursache" haben müssen. Das rührt daher, daß seit dem Urknall erst kurze Zeit vergangen ist und Wirkungen sich nicht schneller als das Licht ausbreiten können. Aber auch ohne dieses Argument ist intuitiv klar, daß die thermischen Zufallsschwankungen an weit entfernten Raumpunkten weitgehend unabhängig von einander sind. In Zahlen ausgedrückt: zu dieser Zeit hat das Universum einen "Radius" a von einigen Zentimetern, während Raumgebiete, in denen das Feld ϕ sich einheitlich verhalten wird, nur etwa 10^{-25} cm groß sind (diese Größe heißt "kosmologischer Teilchenhorizont"). Wenn aber ϕ nach einiger Zeit in einer solchen Region den Wert $-v$ annimmt und in der Nachbarregion den Wert $+v$, was passiert dann an der "Grenzfläche" (Abb. 3a)?
Da das Feld insgesamt stetig sein muß (sogar differenzierbar), muß es eine Fläche geben, nahe der ϕ aus den Minima des Potentials "herausgezogen" wird, und auf der der (ehemals stabile) Zustand $\phi = 0$ angenommen wird (Abb. 3b). Dieser Zustand heißt "falsches Vakuum". In ihm ist nicht $V = 0$, wie in den beiden Minima, die auch "echte Vakua" heißen, sondern, wie aus obigem Ausdruck für das Potential leicht ersichtlich ist, $V = V(0) = \lambda v^4$. Daher ist mit so einer Grenzfläche eine lokale Energie verbunden, die gewissermaßen eingefangen ist. Diese Flächen heißen *domain walls*, sie sind die einfachsten Beispiele für topologische Defekte. Klarerweise stellen sie ausgedehnte Objekte dar, die nicht aus "Standardmaterie" bestehen, sondern aus einem Einschluß des falschen Higgs-Vakuums.

Abb. 3a: In verschiedenen Regionen kann das Higgs-Feld ϕ verschiedene Minima des Potentials annehmen (- steht für -v, + steht für +v).

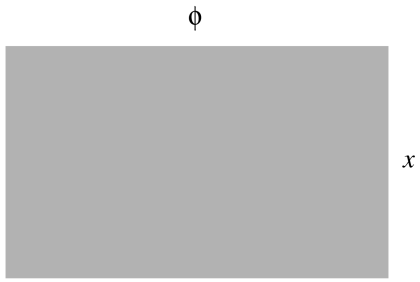


Abb. 3b: Der entsprechende Verlauf des Higgs-Feldes als Funktion einer Raumkoordinate x, die den Abstand zur Grenzfläche mißt.

In der weiteren Entwicklung können domain walls vibrationsartige Bewegungen ausführen und führen zu einem "kosmologischen Desaster": ihre Energiedichte wächst bald über die der normalen Materie hinaus, und daraus ergeben sich kosmologische Konsequenzen, die mit all unseren Beobachtungen nicht übereinstimmen. Daher muß jedes Modell der fundamentalen Wechselwirkungen, das in der eben gezeigten Weise eine Symmetriebrechung mit einem einzigen Higgs-Feld benützt und daher *domain walls* voraussagt, aus kosmologischen Gründen verworfen (oder zumindest stark abgeändert) werden. Das ist ein schönes Beispiel für das Ineinandergreifen von Teilchenphysik und Kosmologie.

Man kann sich eine ähnliche Situation leicht vorstellen: Auf einer (unendlich langen) Wäscheleine hängen nebeneinander Wäscheklammern und sind jeweils mit ihrem Nachbarn, um Unstetigkeiten zu vermeiden, durch ein elastisches Band verbunden. Wenn man dann die rechts einer gegebenen Stelle herunterhängenden Wäscheklammern ganz um die Wäscheleine herumwindet und danach die Klammern nach beiden Seiten hin "bis ins Unendliche" wieder herunterhän-

gen läßt, erhält man eine ähnliche "Feldkonfiguration" der man sogar einen Schubs geben kann, und die sich danach als "Teilchen" benimmt. Auch hier ist eine potentielle Energie "topologisch eingeschlossen", die sich nicht etwa in die Energie eines harmlosen Wellenpakets mit kleinen Auslenkungen umwandeln kann. (Man kann sich den Winkel jeder Wäscheklammer zur Senkrechten als Feld ϕ vorstellen. Das ganze System wird dann durch die "Sinus-Gordon-Gleichung"

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial t^2} + \frac{\partial^2}{\partial x^2}\right)\phi = -\sin\phi$$

beschrieben, und obige Feldkonfiguration heißt "Soliton").

Kosmische Strings

Kosmische Strings treten in Modellen mit zwei reellen Higgs-Feldern (d.h. einem komplexen = geladenen Higgs-Feld) $\phi = \phi_1 + i\phi_2$ auf. Das Potential ist hier gegeben durch

$$V(\phi) = \lambda(|\phi|^2 - v^2) + bT^2|\phi|^2,$$

wobei der T-Term wieder eine "Quantenkorrektur" ist, deren Existenz bei hohen Temperaturen (im Mittel) für $\phi = 0$ sorgt. Fällt T unter den kritischen Wert, so wird $\phi = 0$ wieder ein instabiler Zustand (das "falsche Vakuum"), und V bildet unendlich viele Minima aus, die (wenn T vernachläßigbar klein wird) in einem (ϕ_1,ϕ_2)-Koordinatensystem einen Kreis mit Radius v bilden (Abb. 4). ϕ ist nun wieder bestrebt, einen Wert auf diesem Kreis (d.h. ein "echtes Vakuum" anzunehmen).

Im kosmologischen Kontext heißt das nun wie beim vorigen Beispiel, daß diese spontane Symmetriebrechung (Brechung einer Rotationssymmetrie) in entfernten Regionen unabhängig von einander geschehen wird. Dabei ist es möglich (und wird, statistisch gesehen, auch vorkommen), daß die Werte, die das Higgs-Feld ϕ entlang einer räumlichen geschlossenen Kurve annimmt, gerade einmal die Kreislinie der Minima durchlaufen (Abb. 5a, 5b). Zieht man die räumliche geschlossene Kurve entlang irgendeiner Fläche immer mehr zusammen und betrachtet die Werte, die das Feld dort annimmt, so ist klar, daß ϕ zumindest in der Nähe eines Punktes die Menge der echten Vakua verlassen muß und irgendwo den Wert des falschen Vakuums $\phi = 0$ annimmt. Da aber die Fläche, entlang derer die ursprüngliche räumliche Kurve zusammengezogen wurde, beliebig ist, ergibt sich,

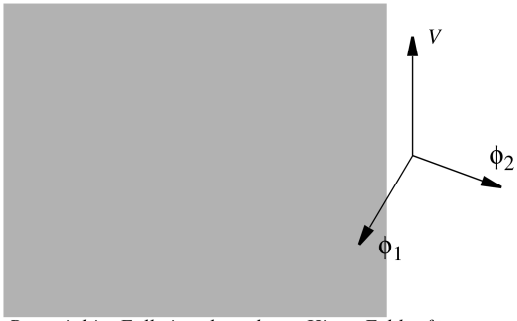


Abb. 4: Potential im Fall eines komplexen Higgs-Feldes für kleine Temperaturen. Der Graph läßt sich als Rotationsfläche aus der entsprechenden Kurve von Abb. 2 darstellen.

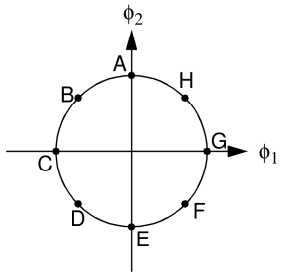


Abb. 5a

Abb. 5b

Abb. 5a: Die Minima des Potentials liegen in einem (ϕ_1,ϕ_2)-Koordinatensystem auf einem Kreis vom Radius v.

Abb. 5b: Das komplexe Higgs-Feld kann entlang einer geschlossenen räumlichen Kurve Werte annehmen, die die Menge der Potentialminima einmal "umrunden". (Windungszahl = 1)

daß der Wert $\phi = 0$ auf einer ganzen Linie angenommen wird (Abb. 5c).

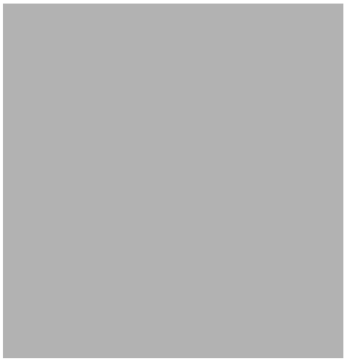


Abb. 5c: Es folgt die Existenz eines schlauchförmigen Gebiets, in dem das Higgs-Feld Werte nahe Null hat.

Solche Linien heißen kosmische Strings. Sie sind topologische Defekte so wie domain walls, nur sind die Details ihrer Entstehung unserer Anschauung etwas schwerer zugänglich. Sie bestehen aus schlauchförmigen Einschlüssen von "falschem Higgs-Vakuum", und in ihrem Inneren herrscht eine Energiedichte $V(0) = \lambda v^4$. Ohne Zweifel sind sie ausgedehnte Objekte; sie können nur entweder geschlossen oder unendlich lang sein. Ihre Dicke ergibt sich zu 10^{-30} cm (in Formeln $d \sim v^{-1}\lambda^{-1/2}$, wobei $\lambda \sim 1$ und $v \sim 10^6$ GeV die GUT-Energieskala ist). Pro Kilometer Länge wiegen diese Objekte etwa 0,2 Erdmassen. Ist μ die Energie pro Länge, so ist (setzt man c=1) $G\mu$ dimensionslos und hat ungefähr den Wert 10^{-6}. Diese Zahlen folgen aus den Größenordnungen, bei denen man die Vereinheitlichung der Wechselwirkungen erwartet.

Tatsächlich wird in einem solchen Modell ein ganzes Netzwerk kosmischer Strings vorausgesagt (Abb. 6). In numerischen Simulationen hat man errechnet, daß etwa 20% der gesamten String-Länge in Form geschlossener Schleifen (Loops) auftritt, der Rest in Form unendlich langer Strings (wobei ein String als unendlich lang zählt, wenn er den Rand des Simulationsvolumen trifft; dieses Verhältnis 20:80 ist dann unabhängig von der Größe des Volumens). Der typische Abstand zweier Loops oder eines Loops zum nächsten langen String ist dann von der Größenordnung 10^{-25} cm.

Durch die Expansion des Raumes werden diese typischen Abstände aber schnell größer.

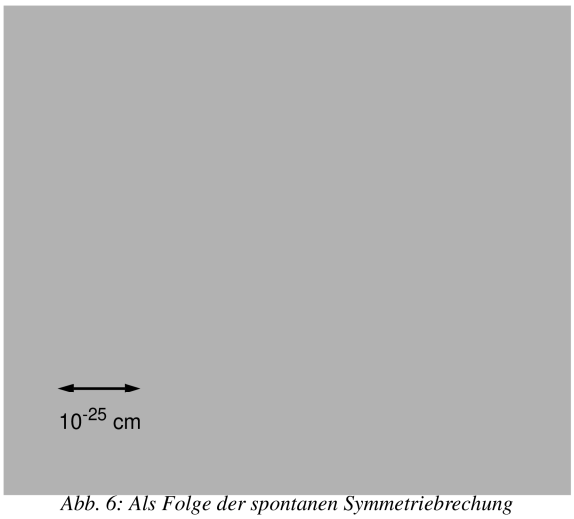


Abb. 6: Als Folge der spontanen Symmetriebrechung entsteht ein Netzwerk kosmischer Strings.

Kosmische Strings wurden zuerst 1976 von Tom Kibble als möglicherweise kosmologisch relevante Objekte untersucht. Im Unterschied zu den domain walls führen sie nicht zu einem kosmologischen Desaster. Im Gegenteil: sie sind Kandidaten für eine Erklärung der großräumigen klumpigen Struktur der Materieverteilung im Universum. Könnte man sie experimentell (durch Beobachtungen des Universums) nachweisen, so müßte man sich unter den möglichen GUT-Modellen auf solche beschränken, die sie voraussagen. Könnte man sie experimentell ausschließen, so wäre man klarerweise gezwungen, gerade diese Modelle auszuschließen. Im folgenden soll kurz dargelegt werden, wie kosmische Strings auf die Materie wirken und wie die derzeitige experimentelle Situation aussieht.

Eigenschaften und Wechselwirkungen kosmischer Strings

Kosmische Strings können sich bewegen, insbesondere führen Loops Oszillationen aus, deren Frequenz umgekehrt proportional zur Energie ist. Auf langen Strings führen unregelmäßige Strukturen zu "wellenförmigen" Bewegungen, ähnlich wie auf elastischen Bändern.

Die wichtigste Wechselwirkung kosmischer Strings untereinander ist das "Interkommutieren": Treffen zwei String-Stücke aufeinander (wie in Abb. 7), so werden die Teilstücke durchtrennt und ausgetauscht. Das führt dazu, daß lange Strings Loops produzieren, Loops ihrerseits in kleinere Loops zerfallen und schließlich (mit einer kleineren Rate) Loops sich in lange Strings wieder eingliedern oder mit anderen Loops vereinigen können. Diese Wechselwirkungsform ist die mathematisch am schwierigsten zu fassende - sie ist verantwortlich dafür, daß wir in unserer Kenntnis der Evolution des String-Netzwerks vor allem auf numerische Simulationen angewiesen sind.

Schließlich senden die oszillatorischen Bewegungen von Loops bzw. von Teilstücken langer Strings Gravitationswellen aus. Dies zusammen mit dem Interkommutieren und der

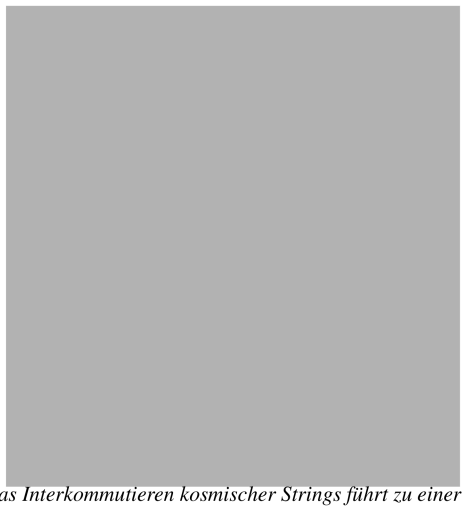


Abb. 7: Das Interkommutieren kosmischer Strings führt zu einer Reihe von Effekten, die die statistischen Eigenschaften des Netzwerks verändern.

Expansion des Raumes führt zu einem ständigen Verlust der im String-Netzwerk stekkenden Energie, so daß heute nur noch ganz wenige solcher Objekte in beobachtbarer Nähe zu erwarten sind.

Der für die Wirkung kosmischer Strings auf die Materieverteilung entscheidende Mechanismus rührt von der sogenannten "konischen Geometrie" des Raumes in ihrer Nähe her. Legt man einen Kreis mit Radius r um ein gerades String-Stück (siehe Abb. 8), so gilt für das Verhältnis von Umfang u zum Radius r dieses Kreises $u/r = 2\pi - 8\pi G\mu$. Der Zusatzterm heißt Defizitwinkel. Dies ist genau die Geometrie, die auf einem Kegel (in der Nähe der Spitze) herrscht. Mathematisch wird dieser Sachverhalt dargestellt wie in Abb. 9a: Aus einer Ebene (orthogonal zum String) wird ein Sektor herausgeschnitten und je zwei Punkte auf den entstehenden Strahlen werden identifiziert. Wie man dann Abb. 9b entnehmen kann, bewegen sich Materieteilchen, zwischen denen ein String passiert hat (oder die an einem String vorbeifliegen, indem sie ihn in ihre Mitte nehmen), aufeinander zu. Dieser Effekt heißt "gravitational lensing" und bewirkt Materieverdichtungen (sogenannte "wakes") hinter bewegten Strings. Eine andere Spielart desselben Phänomens ist die relative Ablenkung zweier ursprünglich paralleler Lichtstrahlen, nachdem sie einen String auf verschiedenen Seiten passiert haben.

Nun sind wir bei den eingangs erwähnten großräumigen Strukturen im Universum angelangt: Die Verdichtungen hinter den Strings werden immer wieder neu erzeugt, widerstehen also tendenziell dem Strahlungsdruck im frühen Univer-

Abb. 8: Konische Geometrie in der Nähe eines Strings.

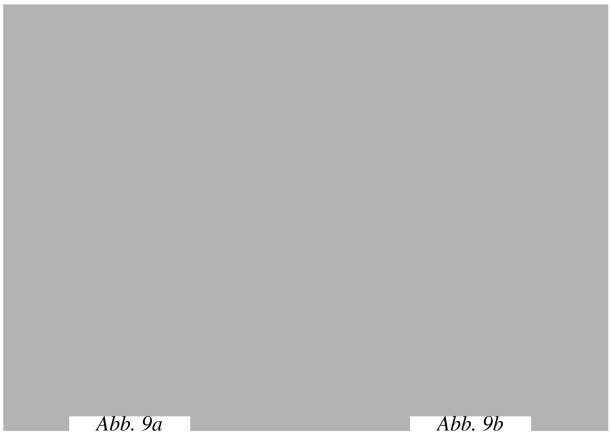


Abb. 9a Abb. 9b

Abb. 9a: Darstellung der konischen Geometrie durch Herausschneiden eines "Tortenecks" und Identifizieren entsprechender Punkte.

Abb. 9b: Zwei Teilchen, die am String vorbeifliegen und ihn dabei in ihre Mitte nehmen, erfahren danach eine relative Richtungsänderung ihrer Geschwindigkeiten. Dasselbe Phänomen tritt auf, wenn die Teilchen ruhen und der String sich

sum. Ab der Zeit der Entkopplung von Strahlung und Materie ($t = 10^5$ Jahre) stellen sie Keime für Superhaufen von Galaxien (heute etwa 100 Mpc groß) dar. Ihre heute erreichte Größenordnung hängt von vielen Details des konkreten Modells ab (insbesondere davon, ob die "dunkle Materie", von der wir hier gar nicht gesprochen haben, als heiß oder kalt angenommen wird). Ein mittlerer Wert ist $(50\ \mathrm{Mpc})^2 \times 6$ Mpc. Zerfallen solche Gebilde (z.B. durch auseinanderstrebende Bewegung der Materie, aus der sie bestehen), so bleiben immerhin noch Verdichtungen von der Größenordnung der Galaxienhaufen (5 Mpc) übrig. Auf diese Weise werden kosmische Strings zu Kandidaten zur Erklärung der größten heute beobachteten Strukturen im Universum.

Nach der Entkopplung verdünnt sich, wie oben erwähnt, das Netzwerk. Nach groben Schätzungen können wir im heute beobachtbaren Universum (der Größe 10^{28} cm oder 3000 Mpc) etwa ein langes String-Stück und an die 10^4 Loops erwarten. Letztere haben typischerweise die Größe einer Galaxie (10^{-2} Mpc). Die Entfernung bis zum nächsten Loop wird (mit statistischer Unsicherheit) 100 Mpc betragen.

Experimentelle Situation

Wie wir bereits erwähnt haben, legen die Spekulationen um eine große vereinheitlichte Theorie der fundamentalen Wechselwirkungen einen Wert $G\mu \approx 10^{-6}$ nahe. Detaillierte Studien zum Anwachsen der Verdichtungen haben ergeben, daß kosmische Strings mit $G\mu \geq 10^{-7}$ "schwer genug" sind, um die heutigen Strukturen zu erklären. Die Verträglichkeit mit den COBE-Messungen verlangt $G\mu < 10^{-5}$. Ein weiterer Effekt, die Störung der Periodendauer von Millisekundenpulsaren durch Gravitationswellen, ergibt $G\mu \leq 10^{-6}$ als bisher beste experimentelle Schranke. Kann sie durch verfeinerte Beobachtungen noch um eine Größenordnung verkleinert werden, so scheiden strukturbildende kosmische Strings aus. Wird andererseits im Zeitspektrum dieser Sterne ein Hinweis auf die von der Theorie vorhergesagten Gravitationswellen gefunden, so könnte man dies durchaus als indirekten Hinweis auf kosmische Strings als Verursacher interpretieren.

Zu den besonderen Hoffnungen zählt die angestrebte verbesserte Winkelauflösung der Anisotropie der kosmischen Hintergrundstrahlung, deren Spektrum im Falle der Existenz kosmischer Strings eine ganz charakteristische Form hätte. Eine Entscheidung über diese spannende Variante der kosmischen Strukturbildung wird innerhalb der nächsten Jahre erwartet.

Literatur:

T. W. B. Kibble, *Topology of cosmic domains and strings*, J.Phys. A 9 (1976) 1387. In dieser Publikation wurde die "theoretische Entdeckung" der kosmischen Strings vorgestellt.

A. Vilenkin, *Kinky cosmic strings*, Nature 343 (1990) 591. Kurze lesenswerte Zusammenfassung.

J. Silk, *Cosmology back to the beginning*, Nature 356 (1992) 741. Darstellung der ersten COBE-Daten.

D. N. Spergel and N. G. Turok, *Textures and cosmic structure*, Scientific American (March 1992) 36. Eine weitere Spielart topologischer Defekte wird diskutiert und den kosmischen Strings gegenübergestellt.

G. W. Gibbons, S. W. Hawking and T. Vachaspati (ed.), *The formation and evolution of cosmic strings*, Cambridge University Press, Cambridge 1990. In diesem Buch werden zahlreiche Aspekte des Themas auf wissenschaftlichem Niveau abgehandelt.

Hubble confirms existence of massive black hole

Nach einer Pressemitteilung der NASA vom 25. Mai 1994 "beweisen" (in den Worten des NASA: "seemingly conclusive evidence") kürzlich mit Hilfe des Hubble-Teleskops durchgeführte Messungen der Rotationsgeschwindigkeit der Gasmassen um den Kern der Galaxie M87 die Existenz eines massereichen Schwarzen Loches im Zentrum von M87. (M87 liegt im Sternbild Jungfrau in ca. 50 Millionen Lichtjahren Entfernung.)

M87 ist für die Astronomen eine auffällige Galaxie, die einen Strahl hochenergetischer Elektronen aus ihrem Zentrum in den Raum schießt. Als Quelle der notwendigen Energie dachte man schon länger an ein Schwarzes Loch im Zentrum. Die bei Fallen von Gas in das Schwarze Loch frei werdende Gravitationsenergie liefert nach dieser Ansicht die Energie des Elektronenstrahls.

In einer Entfernung von 60 Lichtjahren vom Zentrum haben die Gase eine Rotationsgeschwindigkeit von 550 km/s. Daraus ergibt sich eine Masse der Zentralregion von 3 Milliarden Sonnenmassen. Die Helligkeit des Zentrums ist wesentlich geringer als von der entsprechenden Anzahl von Sternen. (Die Zentralmasse ergibt sich mühelos aus dem Gravitationsgesetz.)

Komet Shoemaker-Levy 9

Bei seinem Vorbeiflug am Planeten Jupiter im Sommer 1992 wurde der Komet, der übrigens erst im März 1993 entdeckt wurde, so stark aus seiner Bahn abgelenkt, daß er eingefangen wurde und ab 17. Juli 1994 auf der Oberfläche des Planeten einschlagen wird. Gleichzeitig wurde der 5-10 km große "schmutzige Schneeball" durch die über den Kometenkern verschieden starken Graviationskräfte (Gezeitenkräfte) in über 20 Teile zerrissen, die nun wie eine Perlenschnur von Kometen durch den Raum fliegen. Diese Perlenreihe hat derzeit eine Länge von über 600000 km, so daß die Kometenbruchstücke nicht gleichzeitig, sondern im Verlauf von 5 Tagen am Jupiter - allerdings auf der erdabgewandten Seite - mit einer Geschwindigkeit von 60 km/s einschlagen werden. Dieses Ereignis hat Ähnlichkeit mit dem Meteoreinschlag auf der Erde vor 65 Millionen Jahren, als mit den Dinosaurierer 2/3 aller Tierarten verschwanden.

Der Einschlag wird von der Erde aus nicht direkt beobachtbar sein. Durch die Rotation des Jupiter kann das Einschlaggebiet jedoch relativ bald nach dem Ereignis von der Erde aus sichtbar sein. Die Raumsonden Galileo (240 Mill. km von Jupiter entfernt), Voyager 2 (6 Mrd. km) und Ulysses, die sich auf dem Weg zur Sonne befindet, können das "himmlische Feuerwerk" beobachten. (Übungsaufgabe: Wieviel Hiroshimabomben entspricht der Einschlag eines Bruchstücks von 1 km Durchmesser mit 60 km/s? 1 kt TNT entspricht 4,5 Terajoule.)

Asteroid Ida hat einen Mond

Die Raumsonde Galileo, die auf ihrem Flug zum Jupiter bereits 1991 Bilder von einem Asteroiden (Gaspra) zur Erde senden konnte, konnte am 28. August 1993 aus einer Entfernung von 2400 km sehr scharfe Bilder des Asteroiden Ida aufnehmen, die im Februar 1994 zur Erde gespielt wurden. Dabei wurde erstmals ein Begleiter eines Asteroiden entdeckt.

Während Ida etwa 58 x 24 x 21 km^3 groß ist, hat sein Mond etwa 1,5 km Durchmesser. Der Mond scheint Ida in einem Abstand von 90 km zu umkreisen. Aus den spektrographischen Daten ergibt sich, daß die beiden Himmelskörper sich in ihrer Mineralogie unterscheiden: Nur bei Ida scheint die Oberfläche vorwiegend aus Olivin zu bestehen. Man vermutet daher, daß beide Himmelskörper beim Zerbrechen eines größeren Asteroiden gemeinsam entstanden sind, und daß nicht der Mond bei einem Meteoreinschlag auf Ida herausgeschlagen wurde.

Ida bewegt sich inmitten des Asteroidengürtels zwischen Mars und Jupiter um die Sonne und dreht sich in weniger als 5 Stunden um seine Achse. Galileo wurde im Oktober 1989 auf eine Reise zum Jupiter geschickt, wo die Sonde im Dezember 1995 eintreffen soll. Die nächste Aufgabe für Galileo wird die Beobachtung des Sturzes der Trümmer eines Kometen auf den Jupiter im Juli 1994 sein.

Hinweis

An der HTBLuVA Wr. Neustadt wurde eine elektronische Nawi-Info-Box eingerichtet, in der insbesondere Informationen (Texte und Bilder) von der NASA gespeichert werden. Sie ist täglich zwischen 17:00 und 8:00 Uhr in Betrieb und ist über Modem unter der Telefonnummer 02622/87475 erreichbar.

Die "Perlenschnur" der Kometenbruchstücke in einer Aufnahme des Hubble-Teleskops

Möglichkeit eines fächerübergreifenden Projektunterrichtes am Beispiel "Wohnhaus"

Ernst Gunacker

Allgemeine Gesichtspunkte

Der folgende Bericht ist eine Dokumentation eines Projektes, das an der HS Hausmannstätten mit Schülern der 6. Schulstufe (Klasse mit technischem Schwerpunkt) durchgeführt wurde. Zu Beginn meiner Ausführungen möchte ich kurz jene pädagogischen Dimensionen aufzeigen, die die positiven Aspekte eines Projektunterrichtes hervorheben und auch gewichtige Legitimationsgründe sind, warum projektorientierter Unterricht oder Projektunterricht durchgeführt werden soll.

Was bringt Projektunterricht dem Schüler bzw. welche Wirkungen können damit erzielt werden?

1. Mehr Mitsprache und Mitbestimmung in der Planung, in der Durchführung und in der Unterrichtsgestaltung.

   Dazu möchte ich H. Mayer zitieren, der in seinem Werk *Unterrichtsmethoden* schreibt: "Projektunterricht stellt hohe Ansprüche an die Lehrerschaft. Er fordert starke LehrerInnen, die die Kraft haben, ihren Schülern einen Vertrauensvorschuß zu geben, die ihnen zutrauen, in eigener Regie, vernünftig zu lernen" [1]. D. Nachtigall schreibt in *Skizzen zur Physikdidaktik*: "Schüler sind keine leeren Flaschen, die einfach mit Wahrheit zu füllen sind" [2]. Damit meint er unter anderem auch, daß verstärkt Schüleraktivitäten den Unterricht bestimmen müssen, und der Lehrer nicht nur als Wissensvermittler agieren soll.

2. Individuelle Begabungen und Neigungen können besser berücksichtigt und gefördert werden.

3. Größere Motivation und größeres Interesse der Schüler, sich aktiv am Unterricht zu beteiligen und Unterricht zu planen bzw. sich mit Sachthemen auseinanderzusetzen, die auch größtenteils von ihnen gewählt wurden.

4. Interdisziplinarität - fächerübergreifendes Arbeiten wird ermöglicht, dadurch können größere Zusammenhänge erfaßt werden.

5. Verstärkter Aktualitätsbezug und mehr Lebensnähe wird ermöglicht.

6. Durch Projektunterricht (PU) wird
   - Selbsttätigkeit
   - Spontanität
   - Kreativität
   - Flexibilität
   - Entscheidungs- und Handlungskompetenz

   stark gefördert und erhöht.

7. Durch Projektunterricht wird die soziale
   - Kompetenz
   - Kooperation
   - Akzeptanz u. Wertschätzung
   - Integration
   - Konfliktbewältigung

   entscheidend gehoben und gefördert.

   Dies ist für mich die wesentlichste, wichtigste und zentrale pädagogische Dimension, weshalb Projektunterricht bzw. projektorientierter Unterricht - zu all den anderen Unterrichtsformen - in das Unterrichtsgeschehen aufzunehmen ist. Hinweise dazu finden sich auch im Lehrplan in den "Allgemeinen Bestimmungen", wo es heißt: "Die Umsetzung der Unterrichtsprinzipien im Schulalltag erfordert eine wirksame Koordination der Unterrichtsgegenstände unter Ausnützung ihrer Querverbindungen, den Einsatz geeigneter zusätzlicher Unterrichtsmittel und allenfalls die gelegentliche Heranziehung außerschulischer Fachleute. Für diese Umsetzung bieten sich vor allem projektorientierter Unterricht und Projekte an." sowie in den "Allgemeinen didaktischen Grundsätzen" [3]. Es wird, das liegt an der Unterrichtsarbeit eines Projektes, verstärkt in Kleingruppen gearbeitet. Dadurch wird der persönliche Kontakt unter Schülern und auch zwischen den Schülern und den Lehrern (dem Lehrer) besonders gefördert - "Lernen" passiert nicht mehr isoliert! Diese Gesichtspunkte können meiner Meinung nach nur dann wirksam werden, wenn es möglich ist, Projekte auch über längere Zeit durchzuführen. In Projektwochen kommen diese pädagogischen Dimensionen, die meiner Meinung von sehr großer Bedeutung sind, nicht im vollen Umfang zum Tragen.

8. Informationsbeschaffung: Im Zeitalter der "Explosion des Wissens" ist es nicht mehr möglich, in auch nur wenigen Bereichen über kompetentes Wissen zu verfügen. Deshalb ist es wichtig zu lernen, wie und wo man sich Informationen beschaffen kann, bzw. diese Informationen auch richtig zu nutzen.

Projektbeschreibung

Das nachfolgend beschriebene Projekt wurde im Rahmen eines Schulversuches "HS mit technischem Schwerpunkt", wie schon eingangs erwähnt, durchgeführt.

Die Unterrichtsfächer, die an der Projektarbeit vorrangig mitgewirkt haben, waren:

TG - "Technisches Gestalten"
PC - "Physik/Chemie
PCÜ - "Physik/Chemie Übungen"
Inf - "Informationstechnische Grundbildung"
BU - "Biologie und Umweltkunde"
GS - "Geschichte und Sozialkunde"
MT - "Mensch und Technik"
UB - "Umwelt und Beruf"

HOL Ernst Gunacker, HS Hausmannstätten

Durch diese breite Basis ergab sich für die mitarbeitenden KollegenInnen natürlich zusätzliche Arbeit (Belastung), da es notwendig war, in vermehrtem Maße Aussprachen zu tätigen und Planungsschritte zu besprechen. Die beiden letztgenannten Fächer (MT und UB) waren Seminarstunden, die verpflichtend in der technischen Klasse eingeführt waren.

In einer Grobplanung wurde für die Durchführung ein Zeitrahmen von einem Semester für die Gegenstände TG und PCÜ veranschlagt. (Tatsächliche Dauer: 2 Semester mit einer Unterbrechung von ca. 2 Monaten). Die zentrale und tragende Rolle übernahmen die Unterrichtsgegenstände TG und PCÜ.

Bevor ich nun ins Detail gehe, möchte ich noch kurz auf die in der Literatur beschriebenen Komponenten der Abfolge eines Projektunterrichtes (Projektes) eingehen. Diese sind auch an der folgenden Darstellung des Projektverlaufes im Fach PCÜ nachvollziehbar:

K. Frey formuliert in seinem Werk *Die Projektmethode* folgende 7 Komponenten [4]:

1. Projektinitiative
2. Auseinandersetzung mit der Projektinitiative (Projektskizze)
3. Entwicklung des Betätigungsgebietes (Projektplan)
4. Projektdurchführung
5. Projektabschluß
6. Fixpunkte
7. Metainteraktion

Daß im durchgeführten Projekt trotz der langen Dauer und der nur stundenweisen (in den "Trägerfächern" TG und PCÜ Doppelstunden) Bearbeitung des Themas von einem Unterrichtsprojekt und nicht von projektorientiertem Unterricht gesprochen werden muß, kann auch an Hand der von K. Mie in *Physik in Projekten* aufgestellten "Elemente und Reduktionsformen von Projektunterricht" kurz skizziert werden [5]:

- Das Thema / der Inhalt wurde von Lehrern und Schülern gemeinsam festgelegt (Brainstorming).
- Die Materialien wurden von Schülern und Lehrern beschafft.
- Schüler und Lehrer legten gemeinsam die Ziele fest.
- Die Schüler besaßen freie Lernwahl und führten Arbeiten teilweise auch außerhalb der Schule durch.
- Arbeitsgruppen konnten frei (nach Interesse und Neigung) gewählt werden.
- Am Projekt waren mehrere Lehrer und auch mehrere Fächer beteiligt.
- Während des Projektes wurde der Verlauf von Schülern diskutiert und kritisiert.
- Die im Voraus geplanten Lernaktivitäten haben sich in einem Produkt realisiert.
- Die Rolle der Schüler war: selbst- und mitbestimmend / selbständig / aktiv planend und durchführend.
- Die Rolle der Lehrer war integrativ, zurücktretend, beratend.

Mein Betätigungsfeld an diesem Projekt waren die Unterrichtsgegenstände "Physik/Chemie", "Physik/Chemie-Übungen", "Biologie und Umweltkunde" sowie die Seminarstunde "Umwelt und Beruf".

Die Schüler installieren die Räume. Anschließend werden die Räume tapeziert, sodaß die Leitungen nicht mehr zu sehen sind.

Vorbereitende Arbeiten

Am Beginn des Unterrichtsjahres wurden den Schülern und von den Schülern Themenvorschläge für mögliche Projekte in der technischen Klasse gemacht, gesammelt und notiert. Es wurde ein von Schülern vorgeschlagenes Projekt "Bauen wir ein Haus" ausgewählt.

Gemeinsam mit den Schülern und den am Projekt beteiligten KollegenInnen wurden Ideen gesammelt und eingebrachte Vorschläge diskutiert.

Anschließend wurde ein grobe Projektskizze nach Handlungsmöglichkeiten erarbeitet, wobei folgende Grobstruktur skizziert wurde:

1. Planungsphase: Baupläne, Schaltpläne, Organisation der Materialbeschaffung, ...
2. Durchführungsphase: praktische Arbeit in Gruppen am Modell (TG und PCÜ)
3. Präsentation des Modells

Nach gemeinsamer Erstellung eines "Hausplanes" im Grundriß nach Vorschlägen der Schüler, wobei die diversen Gesichtspunkte, die in den übrigen Fächern diskutiert wurden, einfließen konnten (Lage, Größe, ...), wurde eine Einteilung getroffen, in der je eine Gruppe für die Ausfertigung und Elektrifizierung eines Raumes zuständig war (diese Einteilung erfolgte nach Neigung und Interesse der Schüler).

Gruppe 1 - Vorraum, Abstellraum
Gruppe 2 - Schlafzimmer
Gruppe 3 - Wohnzimmer
Gruppe 4 - Kinderzimmer
Gruppe 5 - Küche
Gruppe 6 - Bad, WC

Jede Gruppe fertigte ihren Raum (Rohform) im Unterrichtsfach TG an. Die Modelle wurden ohne Decke angefertigt, sodaß sie von oben zu bearbeiten bzw. auch zu betrachten waren (siehe Foto).

Gleichzeitig wurden bei den UÜ/PC bereits vorbereitende Arbeiten für die Installation getroffen.

Aktivitäten der einzelnen Gegenstände

Physik/Chemie und UÜ/PC

- Zeichnen von Installationsplänen (jede Gruppe für ihren Raum). Raumspezifische Gegebenheiten mußten berücksichtigt werden bzw. spezielle Anforderungen für eine Stromversorgung erstellt werden.
- Serien- und Parallelschaltung.
- Materialeinkauf - Preisvergleiche.
- Arbeit am Modell in Gruppen: Installation der Räume: Wohnzimmer, Schlafzimmer, Kinderzimmer, Bad/WC, Abstellraum, Küche, Vorraum, Verteiler- und Sicherungskasten.
- Bau der Installation laut Plan: Wege des Stromes (Leitungen) vom Verteiler zu den diversen Anschlüssen (Verbrauchern). Stromleitungskanäle wurden mit Hilfe eines Lötkolbens (ohne Lötspitze) in die Wände des aus Styropor gefertigten Grundmodells geschmolzen. Steckdosen wurden mit Hilfe von Leuchtdioden als funktionsfähig dargestellt, Beleuchtungen mit Glühlämpchen. Die Befestigung diverser Deckenlampen wurde mit Drahtbügeln bewerkstelligt.
- Funktionsprüfung.
- Zusammenbau der einzelnen Räume und Anschluß an einen "Verteilerkasten".

Begleitende Inhalte, die während der Projektdurchführung besprochen bzw. diskutiert und ausgeführt wurden:

- Bedeutung von 3 bzw. 4 Leitungen für einen Anschluß (Lichtstrom, Starkstrom)
- Sicherheitseinrichtungen: Schmelzsicherung, Magnetsicherung, Fehlerstromschutzschalter, Schukosteckdose und -stecker, ...
- Modell eines Sicherungskastens - Schmelzsicherung
- ÖVE-Prüfzeichen
- Produktdeklaration
- Elektrische Leiter und Isolatoren
- Sicherheits- und Vorsichtsmaßnahmen in Feuchträumen
- Einführung in die Handhabung elektrischer Meßgeräte
- Sicherheitsregeln für die Durchführung von Arbeiten an elektrischen Anlagen
- Sicherheit im Umgang mit Elektrogeräten
- Auswirkungen des elektrischen Stromes auf den menschlichen Körper - Maßnahmen zur ersten Hilfe
- Elektrische Geräte: Preis- und Leistungsvergleiche, Stromverbrauch
- Strompreisberechnungen
- Sicherheit im Umgang mit elektrischen Geräten
- Versorgung eines Hauses mit elektr. Energie (vom Kraftwerk zum Verbraucher)
- Installationspläne eines Elektrikers
- Besuch einer Baustelle - Kennenlernen verschiedener Elektrowerkzeuge auf einer Baustelle

Technisches Gestalten TG [6]

- Behördenwege
- Baugesetze
- Baupläne (Maßstab, Bemaßung, ...)
- Grundbedürfnisse der Menschen (Schutz, Sicherheit,...)
- Größenverhältnisse - in bezug auf Förderungen
- Lage der verschiedenen Räumlichkeiten
- Gruppenarbeit: Planung des Hauses im Grundriß - Analysieren der verschiedenen Lösungen - gemeinsame Auswahl eines Projektes
- Grundriß des Hauses und der Räumlichkeiten auf Karton
- Anfertigen von Hilfswerkzeugen zur Bearbeitung von Styropor (Bau von Thermosägen, Schneidevorrichtungen, ...)
- Gruppenarbeit (jede Gruppe fertigt einen Wohnraum - Baukastensystem)
- Anfertigen von Einrichtungsgegenständen im M 1:10 - teilweise funktionsfähige Modelle (z.B.: Schubladen, Türen, ...)

Nachfolgend beschreibe ich kurz jene Aktivitäten der Fächer, die ebenfalls in die Projektarbeit involviert waren:

Biologie und Umweltkunde BU / Umwelt und Beruf UB

- Gesundes Wohnen - richtige Lage der Wohnräume
- Belastung durch elektromagnetische Felder - elektromagnetische Felder und die Möglichkeit der Abschirmung
- andere Störfelder ("Erdstrahlen", ...)
- Wohngifte: PVC, Formaldehyd, Lacke, Holzschutzmittel, Putz- und Waschmittel - alternative Möglichkeiten
- Belastung der Umwelt und des Menschen
- ÖNORM
- Kunststoffe im Wohnbereich und beim Hausbau (Vor- und Nachteile)
- Probleme bei der Entsorgung von Kunststoffen
- Energie - Energiesparen
- Wärmedämmung, richtiges Lüften
- alternative Möglichkeiten der Energieversorgung (Abwärme, Sonnenenergie, Wärmepumpe, ...)
- Berufsfeld des Elektrikers / Lehrlings: Starkstrommonteur/ Betriebselektriker, Elektromechaniker für Starkstrom, Elektromechaniker und -maschinenbauer, Elektroinstallateurin, ...
- weitere Berufsfelder in Zusammenhang mit dem Hausbau: Energieberater, Tischler, Maler, Innenarchitekt, Gas- und Wasserleitungsinstallateur
- Arbeitslosigkeit in Österreich
- Jugendarbeitslosigkeit - Probleme, die sich dadurch ergeben
- Lehrausgänge: Tischlerei, Zimmerei; Elektrofachhändler - Elektroinstallateur, Alternativenergieanlagen; Schutzraumbesichtigung; Gemeindeamt: Bau-planung

Mensch und Technik MT [6]

- Umfrage in der Gemeinde zu den Wohngewohnheiten: Erstellung eines Fragebogens, Durchführung und Auswertung einer Befragung, ...
- Baubewilligungsverfahren: Behördliche Ansuchen, Exkursion/Gemeindeamt, Widmung von Neu- und Zubauten, sachgerechtes Ausfüllen von Formularen,...
- Finanzbedarf - Baukosten: Minimierung der Baukosten, Finanzierungsmöglichkeiten, ...
- Baumaterialien: Holz - ein traditionelles Baumaterial, Holzarten, Handelsformen von Nutzholz, Maßsysteme der

Mengenbestimmung (m^3, Festmeter), Bestimmung des Volumens mit Formel (Quader und Zylinder), Bestimmung mittels Tabellen, Exkursion - Nutzwald, Ziegel (Geschichte, einfache Darstellung des Chemismus, Ziegelarten, Ziegelformen, K-Wert), Beton (Geschichte, Betonarten, Einsatz von Beton im modernen Bauwesen), Exkursion - Baustoffhandlung,...
- Bautechnische Problemkreise: Mauern, Stabilität, Wärmeisolierung, Decken, klassische Gewölbe aus Ziegeln, Vollbetondecken, Bedeutung von "Stahlbeton", Trägerdecken, ...

Informatik und Kommunikationstechnik [6]

- Auswertung von Daten, die in den Seminarstunden gesammelt wurden.
- Zeichnen von Plänen
- Ausgabemöglichkeiten am Computer (Printer, Plotter, ...)

Am Elternsprechtag wurde das fertige Modell - elektrisch funktionsfähig - den Eltern präsentiert.

Schlußbemerkung

Zusammenfassend und in einer abschließenden Betrachtung des durchgeführten Unterrichtsprojektes kann gesagt werden, daß die Durchführung und auch das Ergebnis als gelungen bezeichnet werden konnte.

Die Arbeit an diesem Projekt war pädagogisch sehr wertvoll. Sie verbesserte das soziale Klima in der Klasse enorm und wirkte sich ebenfalls sehr positiv auf das Lernklima aus. "Soziales Lernen" war nicht nur ein Schlagwort, sondern wurde in allen Belangen praktiziert.

Literatur

[1] H. Meyer u. a., *Unterrichtsmethoden* - Praxisband, Scriptor, 1988

[2] D. Nachtigall, *Skizzen zur Physikdidaktik*, Peter Lang Verlag, 1987

[3] *Lehrplan Service Physik und Chemie* - Kommentarheft 1, ÖBV Verlag, 1988

[4] Karl Frey, *Die Projektmethode Weinheim*, Beltz, 1982

[5] Klaus Mie, Karl Frey, *Physik in Projekten*, Aulis Verlag, 1989

[6] Projektbeschreibungen von Viktor Bayer, Horst Fürnstahl, Herbert Koiner (nicht veröffentlicht), 1992

[7] Bleichroth u. a., *Fachdidaktik Physik*, Aulis Verlag, 1991

[8] P. Jamnig u. a., Handreichung für die HS Nr. 21, Vorbereitung auf die Arbeits- und Berufswelt, Projekt: Wir besuchen eine Baustelle. Das Berufsfeld des Elektrikers. BMUK, Klagenfurt, 1988

Aufgespießt: Scheinkräfte und Bezugsysteme

Aus der sonst durchaus empfehlenswerten Aufgabensammlung *Probleme aus der Physik* (Aufgaben und Lösungen zur 16. Auflage von Gerthsen et al.: *Physik*) von H. Vogel, Springer-Verlag Berlin 1989

1.8.8. Stimmt es, daß die Coriolis-Kraft die Erdsatelliten trägt, wie in dem sonst vorzüglichen Fischer-Lexikon "Geophysik", S. 22, behauptet wird? Wenn nein, welches ist dann die relative Rolle der verschiedenen Trägheitskräfte? Benutzen Sie die beiden in Frage kommenden Bezugssysteme.

Die Coriolis-Beschleunigung für einen Satelliten, der mit 8 km/s in der Äquatorebene kreist, ist $2\ v\omega = 1{,}6\cdot 10^4\ ms^{-1}\cdot 7{,}2\cdot 10^{-5}\ s^{-1} = 1{,}2\ ms^{-2}$, also nur 0,12g. Tatsächlich ist es die Zentrifugalkraft, die den Satelliten trägt. Die Corioliskraft tritt überhaupt nur auf, wenn man die Bewegung im Bezugssystem des Erdbodens beschreibt. Dann ändert sich die im Inertialsystem nötige Kreisbahngeschwindigkeit von $v_0 = \sqrt{gR}$ auf $v_{1,2} = v_0 \pm \omega R$, je nachdem, ob der Satellit ost-westlich oder west-östlich kreist. Die im Erdsystem berechnete Zentrifugalbeschleunigung wäre daher im ersten Fall größer, im zweiten kleiner als g. Für den Unterschied kommt genau die Coriolis-Beschleunigung auf: $v_{1,2}^2/R \approx g \pm 2\omega v_0$.

Freihandexperimente

Schon versucht?

Zwei Feuerlöscher

Werner Rentzsch

Brand aus !

Bedarf: Erlenmeyerkolben, Gummistopfen einfach gebohrt, Glaswinkelrohr mit Düse, Tablettenröhrchen oder kleine Proberöhre, Spatel, Spritzflasche, Pinzette, Meßpipette, Peleusball, Brenner, Abdampfschale, feuerfeste Unterlage, Natriumhydrogencarbonat (Speisesoda), Salzsäure ca. 14 %, Glycerin (für Glaswinkelrohr im Stopfen), Benzin, Spülmittel, Holzspan.

Sicherheitshinweis: Salzsäure nur mit dem Peleusball pipettieren; Schutzbrille; Benzinflasche vor dem Entzünden des Brenners entfernen !

Durchführung: In die Breitseite des Gummistopfens steckt man das Winkelrohrende ohne Glasdüse (Vorsicht: Bruchgefahr). In den Erlenmeyerkolben gibt man ca. 6 Spateln Speisesoda, ca. 80 ml Wasser und etwas Spülmittel. Das Tablettenröhrchen füllt man ca. 3/4 voll mit Salzsäure und läßt es mit Hilfe der Pinzette vorsichtig in den Erlenmeyerkolben gleiten (das Röhrchen darf nicht umfallen, es darf keine Salzsäure verschüttet werden). Der Kolben wird mit Stopfen und Winkelrohr verschlossen - der Feuerlöscher ist jetzt einsatzbereit. In eine Abdampfschale oder einen Blechdosendeckel gibt man einige ml Benzin und entzündet es mit einem brennenden Holzspan. Die Schale soll dabei auf einer feuerfesten Unterlage stehen. Nun kippt man den Kolben und richtet die Glasdüse auf das brennende Benzin, dabei hält man den Gummistopfen gut fest.

Auswertung: Die Flamme erlischt; der Schaum wird aus dem Glasrohr gepreßt. Der Kohlendioxidschaum bedeckt das brennende Benzin - die Sauerstoffzufuhr wird unterbrochen.
$NaHCO_3 + HCl \rightarrow NaCl + H_2O + CO_2$

Die Sprinkleranlage

Bedarf: Erlenmeyerkolben, Löffel, Glasröhrchen, Gummistopfen gebohrt, Marmorstückchen, Salzsäure ca. 14%, Luftballon, Holzklötzchen, Kerze, Schuhschachtel, Schere.

Durchführung: In eine Schuhschachtel bohrt man mit einer Schere ein Loch, in das der Gummistopfen gut paßt. Das Glasröhrchen steckt man in den Stopfen und verschließt die eine Seite mit Kerzenwachs (dazu taucht man das Glasrohr mehrere Male in flüssiges Wachs). In die Schuhschachtel stellt man ein Klötzchen mit einer Kerze darauf - die Kerze soll sich genau unter dem Glasröhrchen befinden.

In einen Erlenmeyerkolben gibt man einige Marmorbrocken und etwas Salzsäure - nun verschließt man schnell mit einem Luftballon. Wenn der Ballon gefüllt ist, verschließt man durch Abdrehen und zieht ihn dann über den Gummistopfen, der aus der Schachtel ragt - es soll dabei möglichst kein Gas entweichen. Nun entzündet man die Kerze in der Schuhschachtel und beobachtet.

Auswertung: Nach einigen Minuten erlischt die Flamme. Die aufsteigende Wärme bringt das Wachs zum Schmelzen und das Kohlendioxid strömt aus dem Glasröhrchen; ohne Sauerstoff keine Verbrennung.

Gasentwicklung im Kolben:
$CaCO_3 + 2\ HCl \rightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_2$

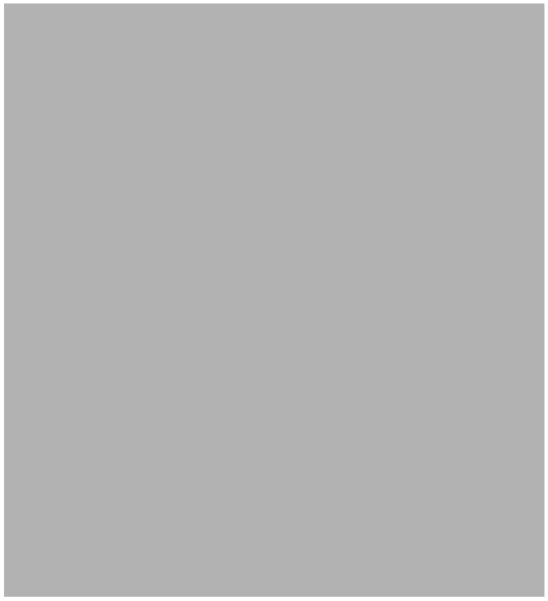
Ist die Erde wirklich eine Kugel?

Gerhard Rath

In PLUS LUCIS 1/94 stellte Herr Kühnelt die Frage "Woher wissen wir ...?" Der große Didaktiker Martin Wagenschein formuliert sie als "Wie kam man darauf?" und weist ihr für den Physikunterricht eine wesentliche Bedeutung bei (historisch-genetische Methode). Wie kam man auf die Kugelform der Erde?

Die bekannte Messung von ERATOSTHENES (276 - 194 v. Chr.), der erstmalig den Umfang der Erde bestimmte, war nur möglich, weil er bereits von der Kugelform der Erde überzeugt war! Seine Situation ist vergleichbar mit jener von Foucault, der mit seinem Pendelversuch auch die längst akzeptierte und bewiesene Tatsache der Erdrotation zeigen konnte. Bereits ein Jahrhundert vor Eratosthenes lehrte ARISTOTELES (384 - 322 v. Chr.) die Kugelform der Erde, was für die antike Gelehrtenwelt maßgeblich wurde. Doch wie kam er darauf?

1. Von am Horizont auftauchenden Schiffen werden immer zuerst die Mastspitzen sichtbar - und zwar gleichgültig, aus welcher Himmelsrichtung sie kommen. Dies deutet auf eine gewisse Krümmung der Erde hin - sie muß aber noch lange keine Kugel sein.



2. Bei Reisen nach Norden oder Süden verändern sich die Sternbilder, genauer gesagt die Polhöhen der Gestirne. Reist man nach Norden, so gelangt etwa der Polarstern immer höher in Richtung Zenit, den er erreichen würde, falls man sich am Nordpol befände. Diese Beobachtung belegt eine Nord-Süd-Krümmung der Erde, sie könnte also die Form einer Walze haben - auch diese Theorie wurde vor Aristoteles vertreten. Zum Nachweis einer Ost-West-Krümmung braucht man genaue Uhren, da sich bei einer Reise in dieser Richtung nicht die Polhöhen der Gestirne, sondern nur ihre Auf- und Untergangszeiten ändern. Solche Uhren gab es in der Antike noch nicht.
3. Die für Aristoteles entscheidende Beobachtung war jene der Mondfinsternis. Unter der Annahme, daß die Ursache der Verfinsterung des Mondes sein Durchgang durch den Erdschatten ist, kann man auf die Kugelform der Erde schließen. Denn die Begrenzung dieses Schattens wird als Kreis gesehen, wann und wo auch immer die Finsternis auftritt. Bei einer Erde als Scheibe oder Walze müßten auch einmal elliptische oder gerade Begrenzungen zu sehen sein.

Im mitteleuropäischen Raum verschwand dieses Wissen mit dem Zerfall des Römischen Reichs und wurde erst wieder ab ca. 1000 n. Chr. durch Kontakte mit den Arabern wiederentdeckt. Bald danach war jedoch die Kugelgestalt der Erde von der Kirche akzeptiert und wurde gelehrt.

Im Unterricht stellt sich das Problem, daß diese Beobachtungen nicht unmittelbar zugänglich bzw. den Schülern unbekannt sind. Dies führt zur paradoxen Situation, daß jedem Volksschüler die Kugelgestalt der Erde bekannt ist, aber später kaum jemand gute Gründe für dieses Wissen angeben kann (siehe dazu auch den Bericht einer Missionarin in Afrika). Wegen der fehlenden Beobachtungsgrundlage schlage ich vor, die Frage nach der Form der Erde als Anregung, Motivation, Ausgangspunkt für eigene Überlegungen und Beobachtungen der Schüler einzusetzen. Dazu eine Unterrichtsskizze:

Nach der Frage, seit wann die Kugelform der Erde bekannt ist und der meist überraschenden Anwort vertritt der Lehrer die Position der scheibenförmigen Erde und die Schüler müssen ihn von der Kugelform überzeugen - ohne Satellitenbilder, sondern mit Argumenten, wie sie einem Menschen der Antike zugänglich gewesen wären. Diese Diskussion bezweckt, den Schülern die fehlenden Grundlagen ihres eigenen "Wissens" bewußt zu machen, sie "produktiv zu verunsichern" (Wagenschein). Nach der Erörterung der oben angeführten Punkte könnte die Messung des Eratosthenes besprochen werden, vielleicht unter der Frage: Wie konnte man bereits in der Antike den Umfang der Erde recht genau bestimmen, ohne allzuweit gereist zu sein?

Sind diese Argumente verstanden, kann man gleich wieder verunsichern: Sie ist ja doch keine Kugel! Heute wissen wir, daß die Erde an den Polen abgeplattet ist. Wie konnte man darauf kommen?

Zwei Beobachtungen im 17. Jahrhundert führten zur Untersuchung dieser Frage:

- Gleich lange Pendel schwangen an verschiedenen Orten der Erde verschieden schnell, abhängig vom Breitengrad.
- Fernrohrbeobachtungen zeigten, daß die Planeten Jupiter und Saturn die Form von Rotationsellipsoiden einnehmen.

Doch wie konnte man eine Abplattung messen, wenn man selbst nicht von der Erde weg kann, um sie von oben her zu beobachten? Wieder mußte man die Gestirne zu Hilfe nehmen. In zwei Expeditionen der Pariser Akademie der Wissenschaften (1735 - 1744) versuchte man, in Peru und in Lappland Bögen gleich großer Winkel auf der Erdoberfläche zurückzulegen.

Diese Winkel maß man als Höhenwinkel von Sternen, wobei man feststellte, daß die zugehörige Bogenlänge in Lappland größer war als jene in Peru.

Zur Anregung noch einige "astronomische" Fragen im Sinne von: *Woher wissen wir?*

- Wie konnte man darauf kommen, daß sich die Erde (sehr schnell) um eine Achse dreht?
- Wie wurde diese Drehung erstmals bewiesen?
- Wie bewies man die Bewegung der Erde um die Sonne?
- Wie kam man darauf, daß die Fixsterne nicht auf einer Kuppel liegen, sondern verschieden weit von uns entfernt sind?
- Wie konnte man so gewaltige Entfernungen messen?
- Woher wissen wir, daß die Sonne nicht im Zentrum der Milchstraße liegt, sondern mehr am Rand?

Empfehlenswerte Literatur:

B. Lovell: *Das unendliche Weltall*. Geschichte der Kosmologie von der Antike bis zur Gegenwart, C. H. Beck, München 1983 - enthält vor allem die Entwicklung der Astronomie nach Newton in gut lesbarer Form.

J. Teichmann: *Wandel des Weltbildes*. München 1980, rororo TB - enthält Originaltexte und viele Abbildungen. (Die Abb. auf Seite 33 ist daraus entnommen.)

K. Stumpff: *Die Erde als Planet*. Springer, Berlin 1955; Form der Erde, Bewegungen, Orientierung, Atmosphäre - historisch aufbereitet - Taschenbuch.

M. Wagenschein: *Verstehen Lehren*. Weinheim 1968 - ein Klassiker der Physikdidaktik.

Bericht einer Missionarin

Ist die Erde wirklich rund?

Um unseren Afrikanern ihr bescheidenes Wissen zu erweitern, vor allem um sie in Gottes wunderbare Schöpfung einzuführen, erklärten wir ihnen eines Tages, daß die Erde rund sei. Die erste Reaktion war ein gutmütiges, breites Lachen, das Lachen eines schlauen Kindes, das einen Erwachsenen dabei durchschaut, wenn er es zum besten halten möchte! Doch als sie sahen, daß es sich nicht um einen Scherz handelte, gingen sie zum offenen Angriff über: "Schwester, ich bin von L. nach M. gereist (ca. 300 km) und habe nichts von einer Rundung beobachten können!"

Der Globus sollte mir zu Hilfe kommen. "Seht, so müßt ihr euch die Erde vorstellen ..." - "Ja, wo hat sie denn ihren Fuß angemacht, und wo geht das Eisen durch, an dem sie sich dreht?" - "Das sind hier nur Hilfsmaßnahmen, die Erde selbst hat kein Eisen im Leib, sondern das ist nur eine Linie, die wir Erdachse nennen und welche die Gelehrten als Begriff ausgedacht haben ..." "Wenn doch die Gelehrten alles wissen, warum brauchen sie sich eine Linie auszudenken?"

Ja, wozu? Ich war überfragt und lenkte ab: "Also die Erde steht auf keinem Fuß, sie hängt und bewegt sich frei in der Luft, einem Ballon gleich, der ..." - "Was, wie ein Ballon? Aber bitte, der ist doch rot, gelb oder blau, hat eine Schnur, und wenn man ihn anfaßt, zerplatzt er!" - "Richtig, sagen wir vielleicht besser: wie eine Orange." - "Die kann man mit einer Hand angreifen, aufmachen und essen!" - "Ihr habt recht, all diese Vergleiche sind hinkend, die Erde ist ein wunderbar herrlicher Himmelskörper, der, von göttlichen Kräften gehalten und von Gottes vollkommenen Gesetzen getrieben, um sich selber und zugleich um die Sonne dreht!"

Ich meinte ersticken zu müssen unter dem Kreuzfeuer von Fragen, das sich nach dieser Behauptung über mich entlud. Nach einer Stunde der Erklärung, Argumente und Gegenargumente sagte ich bestimmt:
"Nun hört! Jahrhunderte vor euch haben die gelehrtesten und klügsten Männer der Welt dieses Problem studiert und durchdacht. Sie sind alle zum selben Ergebnis gekommen: Die Erde ist rund, dreht sich um sich selber und um die Sonne. Wähnt ihr euch klüger als all diese Wissenschaftler?"

Vorwurfsvolle Augen! "Aber Schwester, wir fragen doch nicht, weil wir uns klüger vorkommen, sondern weil wir es nicht verstehen!"

Ach so! Mit erneuter Hingabe begann ich nochmals zu erklären, zu erläutern, zu beschreiben. Diesmal hielt sich auch der hartnäckigste Frager stumm und lauschte ergeben. Ich beendete den Vortrag mit der Frage: "Hat ihr das jetzt verstanden?" - "Ja!" - "Und glaubt ihr es?" - "Nein!"

Einem Überzeugten fällt es nicht schwer zu überzeugen, dachte ich und begann von neuem, und zwar mit solcher Überzeugung, bis auch der letzte Zweifler Beifall nickte.

Ach, sie sind dann ja immerhin so kultiviert, daß sie die Arbeit und Plage einer Person respektieren, die sich so endlos Mühe gibt, ihnen etwas beibringen zu wollen, und so ließen sie sich endlich dahin überwinden, daß sie mir nicht mehr ihren offenen Zweifel spürbar nahebrachten. Als Siegerin verließ ich den erdrunden Kampfplatz.

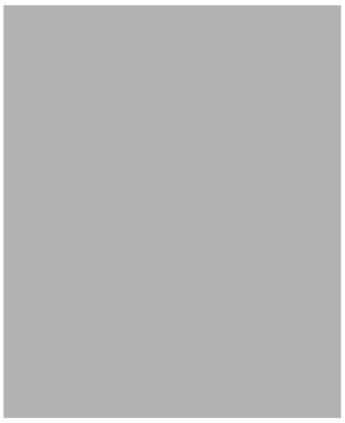
Nach einer Stunden meldete sich einer der Zuhörer privat. Er sah mich mit verständnisinnigem Lächeln an und sagte: "Schwester, so ganz im Vertrauen, bitte, versteh mich recht, nur zu dir gesagt ... nicht wahr, du glaubst aber doch selber nicht, daß die Erde rund ist?"

Da steigen in meinem geschlagenen Geiste leise Zweifel auf! Ja, ist die Erde wirklich rund?

Aus: M. Wagenschein: *Verstehen Lehren*, S. 341

Große Köpfe - kleine Marken

Wissenschafter auf Briefmarken



100. Geburtstag von Nobelpreisträger V. F. Hess. Ausgabetag: 24. 6. 1983. Größe 29,6 x 38,5 mm. Russischgrün

Victor F. Hess: 111. Geburtstag

Karlheinz Seeger

Herkunft, Jugend und Studium

Victor Franz Hess wurde am 27. Juni 1883 auf Schloß Waldstein bei Deutschfeistritz (nördlich von Graz) als Sohn der Eheleute Vinzens und Serafine Hess, geborene Edle von Großbauer-Waldstätt, geboren. Der Vater war Forstrat im Dienst des Schloßherren. Nach dem Besuch des Grazer Gymnasiums studierte Victor Hess von 1901 an Physik an der dortigen Universität. Im Jahre 1906 wurde er mit einer Dissertation über die Brechung eines Lichtstrahls durch Flüssigkeitsgemische unter Berücksichtigung der beim Mischen eintretenden Volumenänderung zum Dr. phil. promoviert. Die Promotion erfolgte "sub auspiciis imperatoris", nachdem Hess das Rigorosum und alle vorangegangenen Prüfungen, auch diejenigen während der Schulzeit, mit der Note "ausgezeichnet" absolviert hatte. Durch Vermittlung seines Doktorvaters erhielt er einen Arbeitsplatz an der Universität Wien bei dem Physiker Professor Franz Exner. Als 1910 das neugegründete Institut für Radiumforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften in Wien eröffnet wurde, wurde Hess dort zum Ersten Assistenten unter Professor Stefan Meyer ernannt. Im gleichen Jahr habilitierte er sich an der Universität Wien mit einer Arbeit "Absolutbestimmung des Gehaltes der Atmosphäre an Radiuminduktion", die von Exner angeregt worden war. Hess widmete sich weiter den Wirkungen der radioaktiven Stoffe in der Atmosphäre und konnte so im darauffolgenden Jahr 1911 die Höhenstrahlung ("kosmische Strahlung") entdekken, was ihm dann 1936 den Nobelpreis für Physik einbringen sollte.

Univ.Prof.Dr. Karlheinz Seeger, Universität Wien

Entdeckung der Höhenstrahlung

Die elektrische Leitfähigkeit der Atmosphäre versuchte man damals durch die aus der Erde entweichenden gasförmigen radioaktiven Zerfallsprodukte des Urans zu erklären. Die Radioaktivität war erst wenige Jahre zuvor in Frankreich gefunden worden. Ihr Entdecker Becquerel beobachtete dabei auch die ionisierende, d. h. elektrisierende Wirkung der radioaktiven Strahlung auf die Luft. Im Jahre 1910 wies A. Gokkel in einer Arbeit über "luftelektrische Beobachtungen bei einer Ballonfahrt" darauf hin, daß die ionisierende Strahlung zwar mit der Höhe abnimmt, aber lange nicht in dem Maße, wie man es erwarten könnte, wenn die Strahlung in der Hauptsache vom Boden ausgeht. Messungen von Wulf auf dem 300 m hohen Eiffelturm ergaben ebenfalls eine zu geringe Abnahme im Vergleich zu dem Wert am Fuße des Turms. Hess führte nun 1911 ebenfalls Ballonaufstiege mit einer selbstkonstruierten luftdichten Ionisationskammer und einem temperaturunempfindlichen Nachweisgerät (Elektrometer) bis in Höhen von 4 km durch und beobachtete nach einer anfänglichen Abnahme schließlich sogar eine Zunahme der Strahlung in Höhen ab 1,8 km. Er deutete diese Zunahme durch die Annahme einer bis dahin unbekannten zusätzlichen Strahlung aus dem Weltall, die in der Erdatmosphäre teilweise absorbiert wird, dabei die Luft ionisiert und die in größerer Höhe entsprechend intensiver ist. Sie wird heute als Höhenstrahlung ("kosmische Strahlung") bezeichnet. Nach zwei Ballonaufstiegen im Jahre 1911, sieben im folgenden Jahr und schließlich noch einem letzten Aufstieg im Jahre 1913 war die Höhenzunahme der Strahlung sichergestellt; sie wurde dann auch von anderen Beobachtern bestätigt. Einer dieser Aufstiege während einer Sonnenfinsternis zeigte, daß nicht die Sonne der Ursprung der Strahlung ist, da die Strahlungsintensität durch die Abdeckung der Sonne durch den Mond nicht beeinträchtigt wurde. Ebenfalls 1913 richtete Hess eine Station für Dauerbeobachtungen auf dem Hochobir ein, später (1931) dann eine weitere Station auf dem Hafelekar bei Innsbruck.

Wissenschaftliche Laufbahn in Osterreich und Emigration

Bereits 1908 erhielt Hess einen Lehrauftrag für Physik an der Tierärztlichen Hochschule in Wien. Im Jahre 1920 wurde er a. o. Professor an der Universität Graz. Nach dem ersten Jahr als Professor ließ er sich für zwei Jahre beurlauben, um an der U. S. Radium Corporation eine Forschungsabteilung über Radioaktivität von Gesteinen einzurichten. Zugleich wurde er wissenschaftlicher Berater des Bureau of Mines im U. S. Department of the Interior in Washington, D. C. Zwei Jahre nach seiner Rückkehr nach Graz, 1925, wurde er dort zum ordentlichen Professor ernannt. Inzwischen hatte er seine luftelektrischen Forschungen wiederaufgenommen und ein Buch "Die Leitfähigkeit der Atmosphäre und ihre Ursachen" geschrieben. Auch den Ionisationszustand der bekanntlich sehr salzhaltigen Meeresluft konnte er weitgehend

klären. Im Jahre 1931 folgte er einem Ruf an die Universität Innsbruck, wo er mit der Seilbahn bequem auf das 2 300 m hohe Hafelekar gelangen konnte, um vor allem den Gehalt an schweren Teilchen in der Höhenstrahlung zu ergründen. Weiterhin wandte er sich den biologischen Wirkungen der radioaktiven Strahlung aus Radium und anderen radioaktiven Elementen zu. Ein unerfreulicher Anlaß hierzu dürfte für ihn die Strahlenschädigung eines Daumens beim Hantieren mit Radium gewesen sein, die schließlich eine Amputation nötig machte. 1936 erhielt er den Nobelpreis für Physik.

Im Jahre 1937 folgte er einer neuerlichen Berufung nach Graz. Aber schon im folgenden Jahr, nach dem "Anschluß" Österreichs durch Hitler, wurde er ohne Pension zwangsweise in den Ruhestand versetzt, da er aufgrund seiner durch Auslandsaufenthalte gewonnen kosmopolitischen Einstellung und auch aus religiösen Gründen den Faschismus ablehnte. Er wurde zudem gezwungen, das Kapital seines Nobelpreises in für ihn praktisch wertlose Reichsschatzscheine umzutauschen. So folgte er gegen Ende dieses Jahres gern einer Berufung an die Fordham University, New York, wo er bis zu seiner Emeritierung 1956 lehrte. Im Jahre 1944 erhielt er die amerikanische Staatsbürgerschaft. Er verwendete in den USA die anglisierte Form "Victor Francis" für seine Vornamen, die man heute in Biographien häufig findet. Nach dem Zweiten Weltkrieg kehrte er mehrfach besuchsweise nach Österreich zurück. So konnte ihn für das Sommersemester 1948 die Universität Innsbruck als Gastprofessor begrüßen. Seinen 75. Geburtstag feierte er in seiner Heimat. Am 17. Dezember 1964 starb er im Alter von 81 Jahren in Mt. Vernon im Staate New York.

Weitere wissenschaftliche Leistungen

Das wissenschaftliche Opus von Hess umfaßt etwa 60 Publikationen und mehrere Bücher. Diese Arbeiten betreffen neben der Höhenstrahlung u. a. auch die Ionisierungsbilanz der Atmosphäre, die Radioaktivität von Gesteinen, den Strahlenschutz, die Dosismessung sowie Fragen der Radiobiologie. Die wichtigsten dieser Arbeiten sind: "Die Wärmeproduktion des Radiums" (1912); "Konvektionserscheinungen im ionisierten Gas-Ionenwind" (1919/20); "The measurement of gamma rays" (1916, mit R. W. Lawson); "The counting of alpha particles emitted from radium" (1918, ebenfalls gemeinsam mit Lawson; es handelt sich hier um die Definition der Einheit für die Radioaktivität eines Stoffes, ein Problem, zu dem Hess sehr wesentlich beigetragen hat); "Elektrische Leitfähigkeit der Atmosphäre und ihre Ursachen" (Buch, 1926, in englischer Übersetzung 1928); "Ionenbilanz der Atmosphäre" (1933); "Luftelektrizität" (Buch, 1928, mit H. Benndorf); "Lebensdauer der Ionen in der Atmosphäre" (1927/28); "Schwankungen der Intensität in den kosmischen Strahlen" (1929/30). Während seiner Aufenthalte in den USA verbesserte er die Methoden zur Bestimmung des Radiumgehaltes in Erzen. Sein Nobelvortrag vom 12. Dezember 1936 in Stockholm mit dem Titel "Unsolved problems in physics: tasks for the immediate future in cosmic ray studies" zeichnete bereits die weitere Entwicklung voraus: Woraus bestehen die kosmischen Strahlen vor dem Eintritt in die Erdatmosphäre? Welche enormen Energien lösen die sich über mehrere hundert Meter erstreckenden "Schauer" aus? Er wies auf die damals noch junge Photoplatten-Methode zum Nachweis dieser Teilchen hin, die dann tatsächlich in der Nachkriegszeit zu wichtigen Fortschritten in den Erkenntnissen über die Höhenstrahlung führen sollte. Einer späteren Zeit, in der mit Kernphotoplatten, Satelliten und Mondlande-Raketen bis dahin unvorstellbare Hilfsmittel für die Forschung zur Verfügung standen, sollte es dann vorbehalten sein, den Van-Allen-Strahlungsgürtel in 1000 bis 2000 km Höhe zu finden und die Mesonen als Sekundärkomponente der Höhenstrahlung zu entdecken (Powell und Occhialini, 1947). Diese Entdeckungen gaben den Anlaß zum Bau großer Beschleuniger für Elementarteilchen und damit einem neuen bedeutenden Zweig der Physik, der Hochenergiephysik. Aus heutiger Sicht war die Entdekkung der Höhenstrahlung im Jahre 1911/12 durch Hess von fundamentaler Bedeutung. Hess freute sich über die Fülle der Forschungsergebnisse, die durch seine Entdeckung letztendlich angeregt worden waren.

Neben seinen hervorragenden wissenschaftlichen Leistungen und seiner erfolgreichen Lehrtätigkeit ist auch seine liebenswürdige, stets hilfsbereite Persönlichkeit zu erwähnen. Gerne nahm er sich der persönlichen Angelegenheiten seiner Mitarbeiter auf das freundlichste an. In den schweren Nachkriegsjahren wurden viele von ihnen in Europa durch ihn unterstützt. Seine Gattin Berta (verh. 1920) stand bis zu ihrem Ableben treu zu ihm und schuf jene Atmosphäre, die er für seine wissenschaftliche Arbeit benötigte. Auch seine zweite Gattin Elizabeth (verh. 1955) war ihm stets eine liebevolle Kameradin.

Auszeichnungen

Folgende Auszeichnungen sind V. F. Hess in Anerkennung seiner großen wissenschaftlichen Leistungen zuteil geworden: Nobelpreis für Physik 1936 (gemeinsam mit C. D. Anderson); Liebigpreis der Österreichischen Akademie der Wissenschaften 1919; Ernst-Abbe-Gedächtnispreis der Carl-Zeiss-Stiftung Jena 1932; Österreichisches Ehrenzeichen für Kunst und Wissenschaft 1959; Ehrendoktorate der Universität Innsbruck, der Tierärztlichen Hochschule Wien, der Fordham University New York, der Loyola University Chicago; Fellow der American Physical Society, Akademie-Mitgliedschaften in Wien (korrespondierendes Mitglied) und Rom (Päpstlichc Akad. d. W.).

Bücherecke

Schmetterlinge und Galaxien - Kosmologische Streifzüge

Hubert Reeves

Hanser-Verlag, ISBN 3-446-16447-2, 200 S., öS 265.-

Bei der Lektüre von Hubert Reeves großartigem Buch "Schmetterlinge und Galaxien" drängen sich zwei Buchtitel aus der Erinnerung auf: Einsteins/Infelds "Evolution der Physik" und Hoimar von Ditfurths "Kinder des Weltalls". Denn Hubert Reeves unbescheidenes Ziel ist es, ergründen zu wollen, wie dieses expandierende, evolvierende Universum philosophierende Astrophysiker wie ihn hervorbringen konnte, die eben dieses Universum zu verstehen versuchen. Oder anders formuliert: Wie es möglich ist, daß dieses auseinanderfliegende Weltall, das vom 2. Hauptsatz der Wärmelehre regiert wird, kompatibel ist mit der Existenz von über diese Kompatibilität grübelnden Naturphilosophen. Diese Bezeichnung ist ganz ernsthaft gemeint, denn schließlich verstanden sich noch über 100 Jahre nach Newton Physiker als Naturphilosophen.

Und Hubert Reeves führt uns wieder zurück zu jenen Zeiten, in denen die Physiker noch nicht vor lauter Versuchsergebnissen die Wirklichkeit nicht mehr sahen. Es ist taufrische Naturphilosophie, die er uns bietet, auch in dem Sinn, daß der Autor uns in seinem Vorwort gesteht, er habe das ganze Buch bei seinen Wochenendspaziergängen durch die Landschaft Burgunds auf Tonband gesprochen. Das merkt man dem Buch wohltuend an, aber ebenso merkt man ihm an, daß es die Frucht konzentriertesten Nachdenkens ist. Da es sich bei Hubert Reeves um einen begnadeten Pädagogen handelt, der inzwischen - neben seiner Tätigkeit als Forschungsdirektor am renommierten französischen C.N.R.S. - auch im französischen Fernsehen auftritt, werden die Früchte dieses konzentrierten Nachdenkens aber mit leichter Hand vor uns hingestreut.

Etwa: "Erfinden oder entdecken die Mathematiker?", "War 2 mal 2 schon immer gleich 4 (auch zur Zeit der Dinosaurier)?", von der "Pythagoräischen Mythologie" zur "Molekularen Mythologie", "Die Glanzzeiten des Pols Notwendigkeit" und "Die Glanzzeiten des Pols Zufall", "Die Empfindlichkeit für Anfangsbedingungen" und die daraus sich ergebenden, begrenzten "Vorhersagehorizonte" auf allen Ebenen, "Das Leben ist keine Ausnahme von der Entropieregel" und trotzdem: "Das Leben ist nicht zum Untergang verurteilt" und in dem Abschnitt "Die Schmetterlinge und der Pfeil der Zeit" das Kapitel "Die Schmetterlinge machen den Frühling"(!).

Darin führt uns der Autor mit größter Anschaulichkeit vor Augen, daß wir es der Expansion des Universums zu verdanken haben, daß die Zeit gerichtet ist und daß es in der wirklichen Wirklichkeit überhaupt keine reversiblen Vorgänge geben kann. Die so rasche Expansion des Universums verhindert, daß ein Gleichgewichtszustand sich einstellen kann, der nach Reeves automatisch steril wäre, d.h. die Entstehung von Strukturen überhaupt nicht erlauben würde. Die Expansion ist es auch, die verhindert, daß das Universum jemals einen Zustand maximaler Entropie erreicht. Im Gegenteil - es kann seine Entropie und seine Komplexität endlos steigern. Der "Wärmetod" der Welt war tatsächlich eine *fata morgana* der Physik von 1900.

Inzwischen werden Sie gemerkt haben, daß das Buch von Hubert Reeves ein absolutes "Muß" ist für jeden philosophierenden Grenzgänger der Physik, wie es ja viele unserer Maturanten sind, und damit auch ein absolutes "Muß" für Physiklehrer, die sich noch ein bißchen der Denkweite eines Einstein, eines Heisenberg, eines Niels Bohr, eines Schrödinger verpflichtet fühlen. In Abwandlung eines Satzes von Niels Bohr, den er über die Quantentheorie formulierte, ließe sich sagen: "Wen die moderne Kosmologie nicht beunruhigt, der hat sie nicht verstanden."

Mag. Manfred Wasmayr

Der Flügelschlag des Schmetterlings Ein neues Weltbild durch die Chaosforschung

Reinhard Breuer

Deutsche Verlags-Anstalt, 238 S., öS 375.-

Das Buch sollte in jeder Schulbibliothek Platz finden, denn es ist bestens geeignet, fächerübergreifende Unterrichtsaspekte anzuregen. Chaos als wissenschaftlicher Begriff wurde 1975 in der Physik geprägt, Chaosforschung hat aber mittlerweile auch in viele andere Bereiche Einzug gefunden: etwa in der Hirnforschung, in der Medizin, der Stadt- und Verkehrsplanung, sowie im Management großer Betriebe. Die einzelnen Beiträge sind wie folgt übertitelt:

- Am Rande des Chaos - Einleitung in ein unordentliches Thema
- Physik zwischen Chaos und Ordnung - von Pendeln und Planeten
- Fraktale - eine Mathematik komplexer Strukturen
- Chaos und Geschichte - läßt sich das Weltgeschehen in Formeln fassen?
- Das Chaos im Kopf - auf den Spuren der Kreativität
- Gesundheit und Krankheit - wieviel Chaos braucht der Mensch?
- Chaos-Management - zur Karriere eines Begriffs
- Die Fraktale Fabrik - Produktionskonzept für eine ungewisse Zukunft
- Chaos in der Stadt - eine neue Theorie krempelt den Urbanismus um
- Vom Ende der Vernunft - das gesellschaftliche Chaos
- Chaos, Wissenschaft, Natur und Geist - über die zwei Kulturen

Die Verfasser der leicht lesbaren Beiträge sind Fachleute des jeweiligen Gebietes und geben einen Einblick in die vielfältigen Anwendungsbereiche der Chaosforschung.

Das Buch hat 238 Seiten mit 70 meist farbigen Abbildungen und bringt im Anhang eine lange Liste weiterführender Literatur.

Leo Ludick

Atom - Forschung zwischen Faszination und Schrecken

Rudolf Kippenhahn

Deutsche Verlags-Anstalt, öS 343.-

"Von einer Ideologie kann man sich treiben lassen. Sie sagt einem, welchen Weg man einschlagen soll, ohne daß man selbst tiefer darüber nachdenken muß. Sachliches Entscheiden dagegen erfordert Wissen und eigenes Abwägen, was ungleich schwieriger ist", schreibt Rudolf Kippenhahn im Vorwort. In seinem leicht lesbaren Buch hat er die Suche des Menschen nach den Bausteinen der Materie aufgezeigt. Der Autor versteht es dabei, den Leser zu fesseln. Vor allem wohl deshalb, da er sehr klar und einfach die grundlegenden physikalischen Prinzipien, die im Bereich der Atom- und Kernforschung bestehen, herausarbeitet. Dabei werden die oft abstrakt erscheinenden physikalischen Sachverhalte mit historischen Ereignissen und menschlichen Schicksalen verbunden. "Wie alt ist unsere Erde?" und "Wurde Napoleon ermordet?" sind Fragen, die Kippenhahn in seinem Buch *Atom - Forschung zwischen Faszination und Schrecken* stellt und zeigt, daß die Antworten durch die Methoden der Atomphysik gegeben werden können.

Leo Ludick

Lise, Atomphysikerin - Die Lebensgeschichte der Lise Meitner

Charlotte Kerner

Beltz-Verlag, Weinheim, Basel 1986, öS 116.-

"Lise Meitner, wer ist das?" fragte mich letzte Woche ein Physikstudent. Viele unserer Schüler/innen und Student/innen wissen mit dem Namen Lise Meitner nichts anzufangen. Dies ist aus mehreren Gründen schade.

Lise Meitner (1878 - 1968) zählt zu den bedeutendsten Physikern Österreichs. Sie stammt aus einer gutbürgerlichen Wiener Familie und wurde an der Wiener Universität ausgebildet. (Einer ihrer Lehrer war Ludwig Boltzmann). Nach Abschluß ihres Studiums ging sie nach Berlin. Der Chemiker Otto Hahn bot ihr eine Zusammenarbeit an, allerdings durfte sie als Frau den Anordnungen des Institutsleiters entsprechend weder die Institutsräume benutzen noch Vorlesungen hören. Sie arbeitete im Souterrain in der sogenannten Holzwerkstatt. Die Arbeitsgruppe Hahn-Meitner machte sich bald in der Fachwelt einen Namen und es folgten Jahre einer fruchtbaren Zusammenarbeit. Sie dauerten bis 1938, als nach dem Einmarsch Hitlers in Österreich die Jüdin Lise Meitner gezwungen war zu flüchten - kurz bevor Otto Hahn die Kernspaltung entdeckte. Obwohl es Lise Meitner war, der die endgültige Deutung der Experimente von Hahn gelang und die Entdekkung der Kernspaltung Ergebnis ihrer jahrelangen Zusammenarbeit war, ging sie bei der Vergabe des Nobelpreises leer aus. In ihrem schwedischen Exil hatte sie nicht nur die Voraussetzungen für ihre wissenschaftliche Arbeit verloren, sie wurde dort auch niemals heimisch.

Lise Meitner zählt nicht nur zu den bedeutendsten Physikern auf dem Gebiet der Kernphysik, sie zählt auch zu den ersten Frauen, die eine wissenschaftliche Laufbahn eingeschlagen haben. Sie war die zweite Frau, die in Wien im Hauptfach Physik promovierte und die vierte Doktorin an der Wiener Universität überhaupt. Ihre Lebensgeschichte zeigt anschaulich und für Schüler und Schülerinnen nachvollziehbar die Schwierigkeiten auf, die eine Frau ihrer Generation zu bewältigen hatte, wenn sie sich in die Forschung begab. Vor dem Hintergrund ihrer Lebensgeschichte lassen sich nicht nur die wichtigsten Jahre der Entwicklung der Kernphysik historisch beleuchten, es ist auch ein Stück Zeitgeschichte: die Geschichte einer Frau und Jüdin in der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts.

Schülerinnen nennen bei der Frage, welches Gebiet der Physik sie interessiert, besonders häufig die Kernphysik. In der Kernphysik haben seit ihrem Bestehen wesentlich mehr Frauen wissenschaftlich gearbeitet als in anderen Bereichen der Physik. Dies hat vielfache Gründe. Einer davon ist sicher im Wirken und im Bekanntheitsgrad Marie Curies zu finden. Umso trauriger stimmt es, daß jene Österreicherin, die auf dem Gebiet der Kernphysik zu den ganz Großen gehörte, bei unseren Schülern und Schülerinnen nahezu unbekannt ist.

Das Buch eignet sich sowohl zur privaten Lektüre als auch zur unmittelbaren Verwendung im Unterricht. Für letzteres empfehlen sich vor allem die zahlreichen Briefauszüge. Sie geben einen unmittelbaren Einblick in die wissenschaftliche Arbeit, aber auch in das Leben einer Wissenschaftlerin dieser Zeit; vor allem aber ermöglichen sie es den Schülern auch gefühlsmäßig, das Leben dieser Frau nachzuvollziehen. Darüber hinaus findet man in dem Buch auch Material für fächerübergreifenden Unterricht, insbesondere in der Zusammenarbeit mit Deutsch und Geschichte.

Das Buch bietet nicht nur eine leicht lesbare und dennoch exakt bleibende Darstellung des Lebens von Lise Meitner, es läßt durch die vielen z.T. noch unveröffentlichten Briefausschnitte den Menschen sichtbar werden. Eine Biographie, die nicht nur den Verstand anspricht, sondern auch Emotionen hervorruft und die man Schülerinnen und Schülern in die Hand geben sollte.

Charlotte Kerner erhielt für dieses Buch 1987 den Deutschen Jugendliteraturpreis.

Helga Stadler

Physik-Geschichten aus Bad Einstein

Walter Stein

Ernst Klett Schulbuchverlag GmbH, Stuttgart 1986,
ISBN 3-12-770180-2, öS 365.-

Ein unmögliches Aufgabenbuch mit Lösungen für Schüler und den Rest der Welt (z.B. Lehrer, Eltern, Hobby-Naturwissenschaftler, ...)

- Läßt sich Licht in einer Thermoskanne transportieren?
- Warum ist ein Spiegel keine "Superleinwand" für die Diaprojektion, wo doch Spiegel alles reflektieren?
- Wie leben die gläsernen Bewohner eines Benzolmeeres, wenn sie einander doch nicht sehen können?
- Wie endet das Laserpistolenschießen zwischen Kurti Klunker, dem Goldfisch von Baron Münchhausen und Kaulquappen-Jo?
- Ist der Urschrei, den die Kuh Hannelore beim Melken ausstößt, tatsächlich auf die kalten Hände des Melkers zurückzuführen?

Diese und andere Fragen müssen Sie beantworten, wenn Sie wissen wollen, ob die Geschichten, die Baron Münchhausen in diesem Buch erzählt wahr oder gelogen sind. (Für jene, die sich nicht ganz sicher sind, ob ihre Antworten auch richtig sind, gibt es einen ausführlichen Lösungsteil.) Zahlreiche liebevoll gestaltete Illustrationen tragen zum besseren Verständnis bei und erhöhen das Lesevergnügen.

Als Einstiegs- oder Ausstiegshilfe für Physiklehrerinnen und -lehrer, aber auch für "zwischendurch", als Arbeitsblatt oder einfach zum Vorlesen sind diese Geschichten gedacht. Sie bieten viele Anregungen zur Unterrichtsgestaltung und sind PhysiklehrerInnen aller Schulstufen zu empfehlen.

Helga Stadler

Richard Feynman - Leben und Werk des genialen Physikers

James Gleick

Droemer Knaur, München, 1993 öS 437.-

Falls je ein Buch über ihn geschrieben werde, ahnte Feynman, werde er sicher "entweder als blutleerer Intellektueller oder als bongospielender Clown" porträtiert werden.

Der Vorwurf, daß in dieser Biographie sogar beides gelungen wäre, ist ungerecht, aber nicht ganz unzutreffend. Zu viele komische Anekdoten pflastern den Lebensweg des brillanten Theoretikers und hemdsärmeligen Witzbolds, als daß nicht auch etliche von ihnen dankenswerterweise in dieses Buch geraten wären. Und zu schwierig scheint es zu sein, die Fassade dieses sensiblen Einzelgängers zu knacken, als daß er für James Gleick als Mensch aus Fleisch und Blut zu fassen wäre. Der Autor eines populärwissenschaftlichen Bestsellers über die Chaostheorie weicht eventuellen Ansprüchen des Lesepublikums aus, mehr über private und soziale Beziehungen zu erfahren, indem er v.a. Feynmans geistige Entwicklung sowie den schwierigen theoretisch-physikalischen Diskurs seiner Zeit detailliert und allgemeinverständlich nachzeichnet. Die Ungenauigkeiten, die sich dabei eingeschlichen haben, sind verzeihlich, da der Held der Geschichte die Lektüre auf jeden Fall lohnt. Noch während seiner Doktorarbeit in Princeton wurde der 23-jährige Feynman für das streng geheime Atombomben-Projekt in der Wüste von New Mexico rekrutiert. Oppenheimer hielt ihn zwar für hochbegabt, hatte aber Schwierigkeiten, ihn ernst zu nehmen. Seine außerordentlichen Fähigkeiten beim Öffnen sämtlicher Safeschlösser in dem mit den strengsten Sicherungsvorkehrungen der Welt ausgestatteten Kriegsforschungszentrum von Los Alamos riefen neben Bewunderung auch Kopfschütteln hervor, ebenso die Besessenheit, mit der er zum Ärger der Militärzensur schwierigste Geheimcodes für seine Privatpost austüftelte.

Um die Wechselwirkung zwischen Elektronen und ihren Feldern zu verstehen, stellt man sich laut Feynman am besten vor, selber ein Elektron zu sein. Er erfand eine Rechenmethode, die er mit abenteuerlichen Diagrammen veranschaulichte. Bei manchen theoretischen Resultaten, die mit Präzisionsmessungen hervorragend übereinstimmen, ergaben sich Abweichungen erst in der 10. Dezimalstelle hinter dem Komma. Diese Genauigkeit entspricht einer Entfernungsmessung der 5000-km-Strecke N.Y.-L.A. "buchstäblich auf Haaresbreite". Als Feynman 1965 den Nobelpreis erhielt, schilderte er in seiner Dankesrede jedoch weniger die triumphalen Erfolge seiner Quantenelektrodynamik, als vielmehr die Irrwege bei ihrer Formulierung und die grundsätzlichen Mängel, die vorläufig noch "unter den Teppich gekehrt" worden waren, wie er sich ausdrückte.

Viktor Weißkopf wettete, daß Feynman wie alle anderen Nobelpreisträger eine "verantwortungsvolle Position" übernehmen werde, "die infolge ihrer Beschaffenheit den Inhaber zwingt, anderen Personen Anordnungen zu erteilen, obwohl er von den Aufgaben, die er den obgenannten Personen überträgt, nicht das Geringste versteht". Feynman gewann die Wette und nahm sich die Freiheit, weiter auf allen wesentlichen Gebieten der modernen Physik zu forschen. Seine Erklärungen der Suprafluidität von Helium bei extrem tiefen Temperaturen, des Betazerfalls radioaktiver Teilchen und der Quarkstruktur von Protonen wären ebenfalls nobelpreiswürdig gewesen.

Feynmans Markenzeichen war eine originelle, unabhängige Art des Herangehens an Probleme. Einen wissenschaftlichen Artikel las er nie zu Ende, sondern nur so weit, bis er die dahinterstehende Frage verstanden hatte, dann suchte er selber nach einer Lösung. Wollte ein Kollege seine Meinung zu einer jahrelangen Arbeit wissen, so geschah es, daß Feynman mitten im Gespräch aufsprang und einige Stunden später mit einem Ansatz zurückkehrte, der sich deprimierenderweise als wesentlich allgemeiner, direkter und eleganter als der ursprüngliche Entwurf erwies.

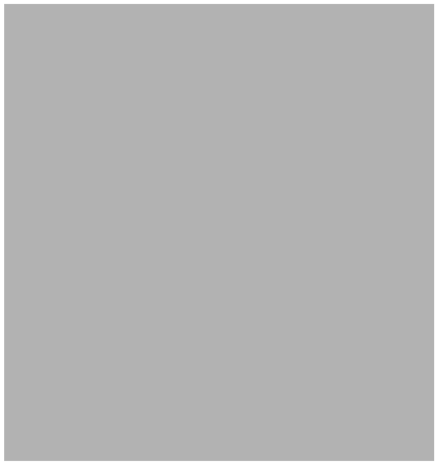
Nicht nur in seinem Denken ließ Feynman sich von Konventionen möglichst wenig einengen. Er brach mit seiner Mutter, als diese ihn von der Heirat mit seiner großen Liebe Arline abbringen wollte, weil diese unheilbar an Tbc litt. Er tobte am Grab seines Vaters, als seine weinende Mutter von ihm forderte, den Kaddusch, das jüdische Totengebet, zu sprechen, in dem Gott gepriesen wird, an den er nicht glaubte. Kompromißlos weigerte er sich, vor McCarthys berüchtigtem Committee für oder gegen Oppenheimer auszusagen. Leitende Funktionen im Universitätsbetrieb oder in wissenschaftlichen Vereinigungen nahm er nie an, und administrativen Verpflichtungen entzog er sich, wo er nur konnte. Er experimentierte mit Drogen und meditierte in Wassertanks. Seine Promiskuität war notorisch. Bekleidungsvorschriften pflegte er zu ignorieren, Regeln des guten Benehmens interessierten ihn nicht. Wie konnte er eine Blamage bei der Verleihung des Nobelpreises verhindern? Alles, was er über höfische Etikette zu wissen glaubte, war, daß man dem schwedischen König, selbst wenn man sich von ihm entfernte, niemals den Rücken zuwenden durfte. Da er aber auch für dieses Problem unbedingt eine eigenständige Lösung anstrebte, übte er tagelang, beidbeinig nach rückwärts Treppen hinauf- und hinunterzuhüpfen.

Höchst originell war auch seine Antwort auf die überraschende Herausforderung, eine Physikvorlesung für Studienanfänger am Caltech zu übernehmen. Mit bezwingender Naivität stellte Feynman die einfachsten und tiefsten Fragen und ging daran, seine Wissenschaft neu zu erfinden. Dabei ergeben sich nicht nur faszinierende Sichtweisen auf Altbekanntes, sondern laufend auch Einblicke in die aktuelle Forschung. Die "Feynman-Lectures" machen die Begeisterung und den Spaß eines ganz großen Naturwissenschaftlers am kreativen Denken spürbar und nachvollziehbar. Noch nach dreißig Jahren sind sie Bestseller.

Den philosophischen Kern der naturwissenschaftlichen Umwälzungen des 20. Jh., schält Gleick kenntnisreich aus Feynmans eigenen Überlegungen heraus. Demnach ist der alte aufklärerische Anspruch auf gesicherte Erkenntnis - im Gegensatz zu den spekulativen Ungewißheiten des Glaubens - nicht mehr haltbar. Heute haben die Naturwissenschaften nur vorläufiges Wissen zu bieten, und absolute Wahrheiten und Gewißheiten können nur anderswo gesucht werden. Feynman drückt das so aus: "Der Punkt ist, daß ich mit dem Zweifel, der Unsicherheit und dem Nichtwissen durchaus leben kann. Ich glaube, es ist sehr viel interessanter, etwas nicht zu wissen, als Antworten zu haben, die vielleicht falsch sind. Ich habe für manches annähernde Antworten, halte manches für möglich und weiß verschiedene Dinge mit unterschiedlicher Gewißheit. Aber es gibt nichts, dessen ich mir vollkommen sicher bin, und es gibt viele Dinge, über die ich gar nichts weiß, wie etwa die Frage, ob es irgendeine Rolle spielt, warum es uns gibt... Ich muß die Antwort nicht wissen.... Es beunruhigt mich nicht, daß ich etwas nicht weiß, daß ich verloren und ohne Plan in einem geheimnisvollen Universum lebe, denn so ist es ja wirklich, soweit ich sehe. Es macht mir keine Angst."

Dr. Thomas Stern

Der Autor dieser Rezension aus dem "Standard" vom 28.1.1994 unterrichtet Physik und Mathematik am BRG/BORG 23 Wien, koordiniert den IFF-LehrerInnen-Fortbildungslehrgang "PFL-Naturwissenschaften" und ist Lektor an der TU Wien.



Feynman-Diagramme der Korrekturterme zur Elektron-Elektron-Streuung. Die geraden Linien stellen Elektronen dar, die Wellenlinien virtuelle Photonen. (Aus R. P. Feynman, Quantenelektrodynamik)