

PLUS LUCIS

3/99

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

Nobelpreise 1999

NetScience und ein GPS-Projekt

Computergestützte Modellbildung

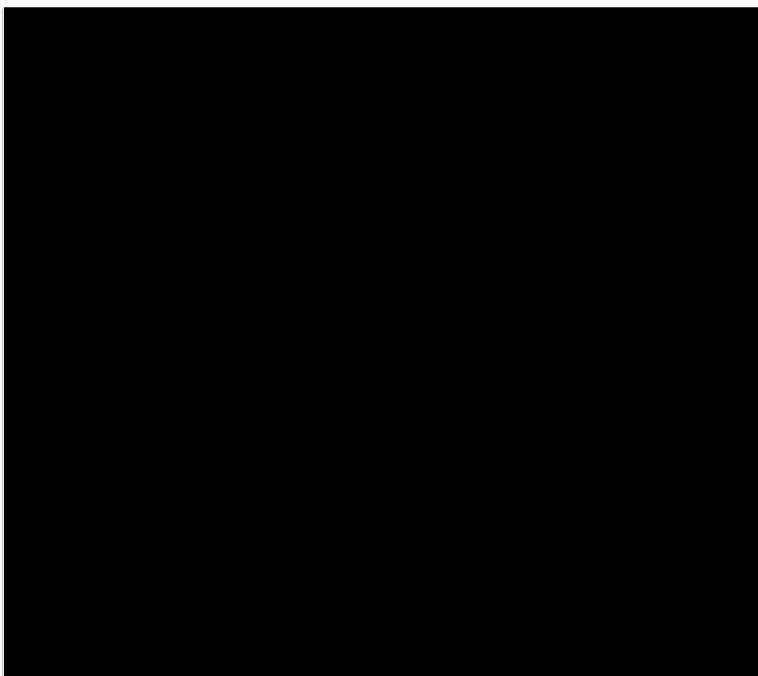
Welle-Teilchen Dualismus von C_{60}

Bedeutende Physiker – Meilensteine der Physik

30. Internationale Physik-Olympiade

Freihandexperimente

Bücher



Physik Chemie

Impressum

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

Erscheint dreimal 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.

Im Web: pluslucis.univie.ac.at

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

Preis des Einzelhefts: S 70,-, für Mitglieder S 40,- (ist im Mitgliedsbeitrag enthalten). Die jährliche Abonnementgebühr für Nichtmitglieder beträgt S 200,-

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: (01) 4277-51515. Fax: (01) 4277-9515. e-mail: Helmut.Kuehnelt@univie.ac.at

HOL W. Haslauer, Wienerstr. 21, 3250 Wieselburg

Mag. H. Stadler, Institut für Theoretische Physik der Universität Wien, Strudlhofg. 4, 1090 Wien Telefon: (01) 4277-51552

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

Inhalt

Vorwort: Ein Brief..... 1

Zur Diskussion gestellt

Lehrplan 99 2

Zum Nachdenken 3

Aktuelles

Grenzgänger: Welle-Teilchen Dualismus von C_{60} 5

Ein Blick und Klick ins Netz 7

Nobelpreise 1999

Nobelpreis in Physik..... 8

Nobelpreis in Chemie 11

Nobelpreis in Physiologie..... 14

Bericht über die Aufgaben der 30. Internationalen Physik-Olympiade... 29

Fachbereichsarbeiten aus Physik 1999..... 32

Physiklernen soll Spaß machen! Seminar im CERN 33

Die griechische Mythologie und der Atommüll..... 35

Exkursion Waldviertel..... 36

Photovoltaikanlage am Gymnasium Laaerbergstraße..... 37

Fachdidaktik

Warum nicht mal numerisch? - Computergestützte Modellbildung erschließt interessante Phänomene für den Physikunterricht 17

Aus der Praxis

Bedeutende Physiker – Meilensteine der Physik 22

NetScience und ein GPS-Projekt 25

Freihandexperimente

Das erfrorene Anthocyan oder die fraktionierte Erstarrung..... 38

Aufschießen eines Marsbaumes 38

Bücher 39

Umschlagbild: *Neue Technik im Technischen Museum Wien. Kinder erleben virtuelle Realität, indem sie mit einem computergenerierten Männchen fangen spielen.*

PLUS LUCIS 3/99 ist die letzte Ausgabe dieses Jahrgangs.

Ein Brief

Kürzlich erhielt ich einen Brief eines sechzehnjährigen hochbegabten Schülers. Darin schrieb er unter anderem:

"Sie haben gefragt, was für mich denn das Besondere an der mathematischen bzw. theoretischen Physik ausmacht. Ich glaube, es jetzt zu wissen: Es sind die gewaltigen gedanklichen Sprünge unseres Bildes von der Natur, die auf der Entdeckung neuer, revolutionärer und fundamentaler Gesetze beruhen. Die Welt bleibt dabei an der Oberfläche sozusagen gleich, aber mit einem Mal sieht man viel tiefer und klarer. Zumeist wird die Welt dabei wie durch ein Wunder einfacher, symmetrischer ... Es ist eine extreme Herausforderung an den Scharfsinn und die Vorstellungskraft, einen bekannten Sachverhalt aus einem ganz neuen Blickwinkel zu sehen. Feynman nennt Physik "Phantasie in der Zwangsjacke". Man kann plötzlich Fragen stellen und manchmal sogar beantworten, an die man vorher gar nicht denken konnte..."

Ich zeigte diesen Brief einem Junglehrer im Anschluß an seine Diplomprüfung. Er war begeistert und betroffen zugleich. Zeigt der Brief doch auch das hohe Maß an Verantwortung, das Lehrer gerade in den Naturwissenschaften tragen. Denn wie läßt sich die Aufgabe, jungen höchst motivierten und interessierten, ja höchst begabten Menschen am Weg zu einer naturwissenschaftlichen Bildung zu helfen, mit jener anderen Aufgabe verbinden, die vom Lehrer verlangt, allen Schülerinnen und Schülern Grund- (oder tiefere?) Kenntnisse der jeweiligen Fächer zu vermitteln, auch wenn Begabungen und Interessen auf völlig anderen Gebieten liegen? Darüber nachzudenken, ist jetzt mehr denn je aktuell.

Diese Probleme stellen sich umso mehr, als im Entwurf zum neuen Unterstufenlehrplan, dem das Millennium abschließenden Lehrplan 99 sehr viele, oft neue Aufgaben der allgemein bildenden Schulen genannt werden.

Das Dilemma zwischen Vorgabe jedes einzelnen Schrittes und Aushandlung der Bedeutung eines sehr offen formulierten Textes für den konkreten Unterricht nicht nur einer einzelnen Lehrperson, sondern eines ganzen Kollegiums steht gerade bei den Fachlehrplänen im Zentrum der Diskussion zum LP99.

Auf Wunsch der steirischen Arbeitsgemeinschaft Physik an AHS ist die in zwei Sitzungen ausgearbeitete Stellungnahme zum LP99 zusammen mit konkreten Vorschlägen in diesem Heft abgedruckt. Eine ähnliche Stellungnahme aus Tirol drückt die Besorgnis über unverbindliche Formulierungen aus, die die Vergleichbarkeit der Ausbildung untergraben. (Weitere Stellungnahmen liegen vor.) Der ursprüngliche Lehrplanentwurf wurde in PLUS LUCIS 2/97 abgedruckt. Er hat insofern Änderungen erfahren, als nun zu jedem Kapitel auch einige Inhalte genannt werden. Die damals erwartete Diskussion ist nicht in dieser Zeitschrift, wohl aber heftig in AG-Sitzungen und Sitzungen des FA LHS der ÖPG geführt worden und zahlreiche Schreiben wurden ans BMUKA gerichtet. Der Abdruck hier soll vielleicht doch nochmals zur Diskussion führen und insbesondere klären helfen, wie detailliert Lehrpläne sein müssen, um die immer wieder genannten Schlüsselqualifikationen zu vermitteln, den Besuch weiterführender Schulen (Oberstufe, später Hochschulen) zu ermöglichen, Qualität des naturwissenschaftlichen Unterrichts zu sichern - und schließlich den Lehrkräften Sicherheit bei Noteneinsparungen zu geben.

Für den Physik- und Chemieunterricht an der Hauptschule enthält der Entwurf durchaus Positives: Chemie und Physik werden in der Stundentafel getrennt ausgewiesen mit im Regelfall 2 bzw. 6 Wochenstunden, wobei Chemie bei schulautonomer Regelung nicht unter 1,5 Stunden sinken darf.

Da der vollständige Entwurf zum LP99 weitgehend unbekannt ist, sei darauf hingewiesen, daß er im Internet verfügbar ist unter www.schule.at. Da dies ein Paßwort erfordert, wodurch der Zugang erschwert ist, sind Kopien der Entwürfe am Server pluslucis.univie.ac.at abgelegt und können von dort als zip-Files bezogen werden. (Das unter schule.at eingerichtete Diskussionsforum scheint seine Funktion nicht zu erfüllen - warum?)

Einen Diskussionsanstoß zur Frage "Unterstufenunterricht - lebensnah oder exakt?" soll der Beitrag von H. Stadler "Zum Nachdenken" geben.

Schwerpunkt dieses Hefts ist natürlich die Berichterstattung über die naturwissenschaftlichen Nobelpreise dieses Jahres. Damit soll nicht der Nobelpreis überbewertet werden, sondern dies bietet Gelegenheit zu sehen, was vom Nobelkomitee als interessante und wichtige Forschung angesehen wird. Wenn davon ein wenig in den Unterricht einfließt, dann haben diese Informationen ihren Zweck erfüllt.

Faszinierend ist auch die Frage "Wie makroskopisch darf ein Objekt sein, um Quantenphänomene zu zeigen?". Die Beugung eines Strahl von C₆₀-Molekülen an einem Gitter beschreiben die Experimentatoren Markus Arndt und Olaf Nairz.

Interessant und oft begeisternd sind Berichte aus der Schulpraxis. Was guten Unterricht ausmacht! So hoffen wir, daß auch von anderen Lesern Beiträge kommen, die aus der Praxis für die Praxis Hilfen bieten.

Ob nun ein neues Jahrtausend beginnt oder nicht - der Jahreswechsel naht. Wollen wir hoffen, daß bei dieser Ausgabe die Technik nicht wieder einen Streich spielt - bei Ausgabe 2/99 kostete es zwei Wochen, bis die Filme für den Druck belichtet waren, und dann waren sie noch fehlerhaft. Also hoffen wir, daß diese Ausgabe Sie noch vor Weihnachten erreicht. Hoffen wir, daß die in zarten Tönen kommenden Hinweise aus dem Unterrichtsministerium auf eine Naturwissenschafts- und Technologie-Initiative nach den Jahren fortgesetzter Sprachoffensiven tatsächlich mit entsprechendem Mitteleinsatz anlaufen wird.

Allen Lesern dieses Heftes, allen Mitgliedern der beiden diese Zeitschrift tragenden Vereine wünscht das Redaktionsteam frohe Weihnachten und ein erfolgreiches Jahr 2000,

Ihr Helmut Kühnelt

Fortbildungswoche 2000: 28.2. - 3.3.2000

Der Termin mußte wegen der Semesterferien um eine Woche verschoben werden. Daß in PI-Ankündigungen ein anderer Termin steht, ist unsere Schuld. Das Programm wird wie gewohnt nach dem Jahreswechsel allen Mitgliedern und allen Schulen zugesandt werden. Vorzeitige Anmeldung ist nicht notwendig.

Zur Diskussion gestellt

Die Arbeitsgemeinschaft der Physiklehrer an AHS/Steiermark stellt ihre Stellungnahme zum Entwurf des Lehrplans 99 zur Diskussion:

An den Landesschulrat für Steiermark

Die steirischen PhysiklehrerInnen schätzen die Bemühungen sehr, ein zukunftsorientiertes Lehrplankonzept für die Unterstufe zu erstellen, da wir selbst nicht immer mit der Durchführung und den Ergebnissen unseres Physikunterrichtes zufrieden sind und daher auch ständig versuchen, Verbesserungen zu erarbeiten und umzusetzen. Es ist unserer AG deshalb ein dringendes Bedürfnis zu diesem Lehrplangentwurf Stellung zu nehmen und Vorschläge und Anregungen von KollegInnen mit reicher Erfahrung im Physikunterricht in die Diskussion einzubringen.

Allerdings mussten wir feststellen, dass der vorliegende Entwurf aus unserer Sicht einige gravierende Mängel und Unstimmigkeiten aufweist:

- Bei der Erstellung des vorliegenden Lehrplangentwurfs fanden Erkenntnisse und Erfahrungen des zur Zeit gültigen Lehrplanes keine Berücksichtigung. Diese Vorgangsweise entspricht nicht unserer gewohnten naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweise, die aus fundierten Erkenntnissen zu verlässlichen und möglichst allgemeingültigen Antworten führen soll. Dadurch wurde ein großes vorhandenes Potential an Erfahrung mit dem Physikunterricht nicht genutzt.
- Aus dem Entwurf geht nicht hervor, ob der Lehrplan wieder einen Rahmencharakter hat, dem die Bildungsbereiche übergeordnet sind oder ob die Inhalte des Fachlehrplanes verbindlich sind. Im Detail lassen sich die Bildungsbereiche im Fachlehrplan nicht finden (mit Ausnahme des Bildungsbereichs Natur und Technik). Es ist deshalb auf den Rahmencharakter des Lehrplans besonders hinzuweisen.
- Die enthaltenen Formulierungen sind großteils nicht geeignet eine Zielüberprüfung im Sinne der geforderten Qualitätskontrolle und Evaluation durchzuführen. Es müssten besonders das Verfügbarkeitswissen und Kompetenzen aufgeführt werden, die ein/e Schüler/in nach Abschluss der 4. Klasse nachweisen können muss.
- Ein vielfach zitiertes Unterrichtsprinzip - der fächerübergreifende Unterricht - wurde offensichtlich bei der Erstellung des vorliegenden Lehrplanes nicht wesentlich berücksichtigt. Es wurden im Fachlehrplan wohl Themen wie z.B. "... das aktive Fliegen von Vögeln, Schmetterlingen..." aufgenommen, die Interdisziplinarität vortäuschen, es findet sich aber kein Hinweis auf den Fachlehrplan Biologie. Umgekehrt gibt es aber auch im Fachlehrplan Biologie keinen Hinweis auf die Notwendigkeit dieses Themas.
- Vergleicht man die Anordnung des Lernstoffes innerhalb der einzelnen Jahrgänge mit dem zur Zeit gültigen Lehrplan, so findet man kaum eine Veränderung; eine bedeutende Kürzung des Lehrstoffes ist somit nicht festzustellen. Auch die Ausformulierung der Bereiche erscheint sehr inhomogen. Das soll an zwei Beispielen verdeutlicht werden:

Der Modul "Der Traum vom Fliegen" ist sehr speziell und verlangt ein Detailwissen, das viel zu hoch für die 2. Klasse angesetzt ist. Eine derartige thematische Einengung auf einen ganz speziellen Bereich nimmt dem Unterricht auch seine Flexibilität.

Im Gegensatz dazu stehen die Module "Die Welt in der wir uns bewegen" und "Alle Körper bestehen aus Teilchen", die sehr allgemein und oberflächlich formuliert wurden. Die Inhalte sind willkürlich, ohne innere Logik erkennen zu lassen, auf diese beiden Module verteilt.

Mit der Hoffnung, einen konstruktiven Beitrag zur Lehrplanreform geleistet zu haben und auch angehört zu werden, stehen wir jederzeit für einen Erfahrungsaustausch zur Verfügung. Unser primäres Anliegen sind die Kinder, die mit enormer Wissbegierde zu uns kommen und diese so lange wie möglich behalten sollen. An ihnen wollen wir unsere Unterrichtskonzepte ausrichten.

Kritik am Fachlehrplan

Die derzeitigen Lernzielformulierungen als verbindlicher Kernstoff sind aus folgenden Gründen unbrauchbar:

Sie sind ohne erkennbare innere Zusammenhänge und im Gegensatz zur Bezeichnung im allgemeinen Teil ("knapp und abstrakt formulierte Kernanliegen") keineswegs konkret formuliert. Eine Stoffreduzierung ist gegenüber dem alten Lehrplan kaum erfolgt. Die einzelnen Module unterschiedlich exakt ausformuliert. Die Durchgängigkeit bei Lehrerwechsel und Schulübertritten ist wegen der zum Teil sehr allgemeinen Formulierungen nicht (wie im allgemeinen Teil im Kapitel Kern- und Erweiterungsbereich als Ziel der Kernbereiche angegeben) gewährleistet. Die unkonkrete Formulierung behindert die Erstellung brauchbarer Lehrbücher. Eine Fremdevaluation (ähnlich der TIMS-Studie) ist auf dieser Basis Glückssache.

Wichtige Unterrichtsprinzipien werden mit Kernstoff verwechselt und als eigene Module formuliert (Modul: die Physik bestimmt unser Leben).

Die wichtige Forderung des allgemeinen Teils nach fächerübergreifendem Unterricht ist im Fachlehrplan überhaupt nicht umgesetzt (keine Querverweise, keine Abstimmung mit den anderen Fachlehrplänen).

Neben dieser Kritik wurde auf dem Seminar versucht, den vorliegenden Fachlehrplan für die 2. Klasse zu verbessern und die verbindlichen Inhalte zu konkretisieren.

Der erste Modul wurde dabei aufgelöst, da ein Eingehen auf die Interessen und Fragestellungen der SchülerInnen und selbstverständlich für den gesamten Physikunterricht gelten muss. Hilfreich wären eventuell Anregungen zu verschiedenen konkreten Einstiegsmöglichkeiten in den Physikunterricht.

Vorschlag zum Fachlehrplan der 2.Klasse

Verbindlicher Kernstoff	Beispiele für Alltagsbezug und Erweiterungsthemen	Vorschläge zur Zusammenarbeit mit
Messung von Weg und Zeit, Berechnung von Geschwindigkeiten, Einheiten m/s und km/h	Sport, Verkehr, Spiel, Messgeräte in Verkehr und Sport	LÜ, M
Geschwindigkeiten im Alltag, Größenordnungen abschätzen	Tierreich, Verkehr, Sport	BIU, LÜ, M
Unterschied zwischen gleichförmiger und beschleunigter Bewegung, Weg- Zeit- Diagramm für gleichförmige Bewegung	Verkehr, Sport	LÜ, M
Ursache für Bewegungsänderung, Kraft	Muskelkraft, einfache Maschinen (Hebel)	BIU, TEC
Reibung	Sport, Verkehr	
Trägheit	Sicherheit im Straßenverkehr (Airbag, Gurte, ...), Schwerelosigkeit	
Masse und Volumen messen	Einkauf, Tier- und Pflanzenreich	BIU
Kraftmessung am Beispiel Gewicht, Unterschied Masse und Gewicht	Sport, Waage, Raumfahrt (Mondspaziergang, ...)	LÜ
Dichte von Stoffen aus der Alltagswelt der SchülerInnen bestimmen	Schwimmen, Tauchen	
Druck und Auftrieb in Wasser und Luft	Schwimmen, Tauchen, Fliegen, Ballon fahren	
Dynamischer Auftrieb	Fliegen in Tierwelt, Spiel, Sport und Technik	LÜ, TEC, BIU
Wärmedehnung, Temperatur messen, Celsius-skala, Aggregatzustände	Thermometer, Frostaufbrüche, Fieber, Wetter, Temperaturempfindung, Kochen, Kühlschrank	BIU, GWK
Schallentstehung, Schallausbreitung, Zusammenhang zwischen Tonhöhe und Frequenz, Lautstärke	Kommunikation, Musikinstrumente, Lärm, Lärmschutz, Gesundheit, Arbeitswelt	ME, BIU, D

AG Physik Steiermark, Leiter: Mag. Dr. Erich Reichel, BG/BRG 8010 Graz, Seebachergasse 11, Tel.: 0316/322059,

FAX: 0316/3220596, erich.reichel@seebacher.asn-graz.ac.at

Die Arbeitsgemeinschaft der Physiklehrer an AHS/Tirol stellt ihre Stellungnahme zum Entwurf des Lehrplans 99 zur Diskussion:

Wir möchten den Kernpunkt unserer Kritik vorwegnehmen: Auch wenn jetzt teilweise den Lernzielen Inhalte angefügt sind, so ist dies zu wenig. Um zu gewährleisten, daß nach Ende der vierten Klasse AHS die Schüler aller Gymnasien in etwa den gleichen Wissensstand haben bzw. die gleiche Handlungskompetenz haben, dann sind die Lernziele zu lenken. Andernfalls werden die Oberstufenlehrer in keiner Weise auf ein gemeinsames Wissen und Können der Unterstufe bauen können. Falls nicht klarere Inhalte angeführt werden, wird auch das Übertreten in andere Klassen grobe Schwierigkeiten mit sich bringen.

BILDUNGS - und LEHRAUFGABE: Dieser Abschnitt hat sich gegenüber dem aktuellen Lehrplan kaum geändert, wenn man von hochtrabenden Formulierungen absieht. Mit Formulierungen wie "Einfluß der Physik auf Ästhetik, Funktion und Design", "Physikalische Vorgänge in Medizintechnik" können wir uns nicht identifizieren, da die Lehrer große Schwierigkeiten haben werden, diese Forderungen in diesen Schulstufen zu realisieren. Wir wünschen uns einfachere, realistischere und daher in die Praxis auch umsetzbare Formulierungen, die von den Lehrern dann auch gelesen werden.

DIDAKTISCHE GRUNDSÄTZE: Wir halten es für nicht sinnvoll, daß auf bestimmte Inhalte verzichtet wird. Im Sinne der angegebenen Inhalte ist zu ergänzen, daß die zu den einzelnen Lernzielen angegebenen Inhalte obligatorisch im Rahmen der Lernziele zu erarbeiten sind. Dem Lehrer ist aber auch die Möglichkeit zu geben, einzelne Inhalte im Rahmen anderer angeführter Lernziele zu erarbeiten.

LEHRSTOFF: Im Zusammenhang mit dem Terminus "Kernstoff" ist festzuhalten, daß nach diesem Schlagwortlehrplan in keiner Weise gewährleistet sein wird, daß Schüler ohne größere Probleme zwischen einzelnen Schulen wechseln können bzw. daß alle Schüler am Ende der 8. Schulstufe auf dem gleichen Stand physikalischen Grundwissens sind. Unserer Meinung nach ist die klare Anführung von Grundbegriffen auch für eine Arbeit in Querverbindungen notwendig. Daß dies eine unabdingbare Notwendigkeit ist, kann man schon darin sehen, daß gegenüber früherer Versionen dieses Fachlehrplans an manchen Stellen Grundbegriffe bzw. Inhalte angeführt sind. Diese Ergänzungen sind aber in einem viel zu kleinem Ausmaß gehalten, um einen gewissen Mindeststandard, ein Zielwissen bzw. Zielverständnis nach der 8. Schulstufe zu gewährleisten.

Der wohl mit Abstand schlimmste Abschnitt in diesem Fachlehrplan ist wohl der "Traum vom Fliegen", der auf dieser Schulstufe für Schüler und Lehrer zum Alptraum wird. Es ist

ganz einfach nicht vorstellbar, was die Lehrplanautoren veranlaßt hat, so mutige Lernziele anzugeben, wie sie es hier tun. Die Bewegungsmöglichkeiten von Sporen, Staubkörnern usw. sind so komplex, daß eine Behandlung selbst die Oberstufenschüler überfordern würde. Gleiches gilt für das aktive Fliegen von Vögeln. Selbst ausgebildete Physiker sehen diese Themen nicht als selbstverständlich an. Wir halten es grundsätzlich nicht für möglich, die Inhalte, die zu diesen Zielen führen sollten, aufgrund einfachster Modellvorstellungen zu verstehen. Wir fordern das Ministerium auf, ein Privatvergnügen der Lehrplankommission bzw. eines der Mitglieder der Kommission aus dem Lehrplan zu nehmen. Gerade gegen diesen Abschnitt herrscht Ablehnung über das ganze Bundesgebiet hinweg (wie dem Ministerium durch zahlreiche Schreiben der Arbeitsgemeinschaften usw. bekannt ist).

Bevor wir auf Einzelheiten eingehen, lassen Sie uns bitte nochmals zusammenfassen:

1. Für eine Evaluierung scheint dieser Lehrplan nicht geeignet. Es ist in keiner Weise mehr gewährleistet, daß Schüler am Ende einer Schulstufe vom Lehrplan her mehr oder weniger gleiches Können bzw. Wissen aufweisen.
2. Eine Sicherung der Qualität des Unterrichts über eine breitere Schicht, ja sogar über gleiche Klassen einer Schule, ist nicht mehr möglich. Es geht nirgends hervor, was Schüler

als Ausgangsbasis für die Oberstufe bzw. für die weiterführenden Schulen können sollten. Wir halten es aber sehr wohl für notwendig, daß die Schüler eine Art gemeinsames Basiswissen nach der Unterstufe besitzen. Um eine annähernde Gleichheit über das Bundesgebiet zu gewährleisten, ist die Angabe der Ziele allein zu wenig. Es wird sicher notwendig sein anzugeben, was Abgänger der achten Schulstufen können sollen. Unterstufe wie Hauptschule haben eine gewisse Verantwortung, was die Grundlagen für die weiterführenden Schulen betrifft. Die in der letzten Fassung durchgeführten Ergänzungen sind ganz offensichtlich zu wenig.

3. Sehr schlimm ist aber, daß, falls dieser Fachlehrplan so bleibt, keinerlei gemeinsame Handlungskompetenz erreicht wird. Dies ist aber wesentlich, um fächerübergreifendes und projektorientiertes Arbeiten in der Oberstufe einsetzen zu können. Wie soll das aber geschehen, wenn das Grundlagenwissen und die Grundkompetenzen auf keiner gemeinsamen Basis liegen werden.
4. Der Fachlehrplan in dieser Form ist wohl der schlechteste Lehrplan, der den Schülern und Lehrern in den letzten Jahrzehnten präsentiert worden ist.

AG der Physiklehrer an den AHS in Tirol, Leiter: Mag. Günther Lechner, BRG Wörgl, Innsbruckerstraße 34

Zum Nachdenken

Physikunterricht in einer zweiten Klasse. Der Unterricht nimmt seinen Ausgangspunkt in den Fragen der Schüler. Dem Lehrer ist es wichtig, daß die Kinder Zeit haben, ihre Experimente in Ruhe selbst durchführen zu können, Zeit zu beobachten und Fragen zu stellen. Im Zusammenhang mit dem Magnetismus ist es ihm etwa wichtig, daß die Schüler und Schülerinnen begreifen, daß nicht alle Körper von Magneten angezogen werden, daß aber alle Körper zu Boden fallen. Und daß die Körper nicht deshalb zu Boden fallen, weil die Erde ein riesiger Magnet ist. Das Selber-Tun, das Staunen, das Nachdenken und Diskutieren braucht Zeit, bildet einen beabsichtigten Gegenpol zu Oberflächlichkeit und Schnellebigkeit.

Die Schüler und Schülerinnen dieser Klasse haben im darauffolgenden Jahr einen anderen Physiklehrer. Bald sind sie enttäuscht: sie haben vermeint, in Physik gut zu sein, Zusammenhänge verstanden zu haben. Nun sehen sie, daß andere Kinder mehr zu wissen scheinen. Diese Kinder haben etwa schon in der zweiten Klasse gelernt, daß man Nickel, Kobalt und Eisen als "Ferromagnete" bezeichnet. In einem eher traditionell geführten Unterricht haben sie die üblichen Lehrplaninhalte der Reihe nach durchgearbeitet und erleben nun, im Unterricht der dritten Klasse, den gewohnten Unterrichtsstil. Als der Lehrer nun seine ehemaligen Schüler fragt, wie es ihnen nun so geht, antwortet einer seiner früheren Schüler stolz: "Jetzt ist das anders, wir lernen Physik jetzt wissenschaftlich!" Nicht alle schließen sich dieser Meinung an. Einige meinen, sie hätten im Vorjahr die Dinge doch eigentlich besser verstanden.

Für uns als Beobachter bleiben eine Reihe von Fragen. Zunächst zum Anlaßfall: Ist es wichtig, daß Zwölfjährige Vokabel wie Ferromagnetismus lernen oder genügt es, von magnetisierbaren Stoffen zu sprechen? (Wenn es ferromagnetische Stoffe gibt, müßte es doch auch andere magnetische Stoffe ge-

ben, wie wollen wir das unseren Zwölfjährigen erklären?) Die Analyse der TIMS-Studie zeigt, daß Schüler und Schülerinnen bei Befragung dazu neigen, Vokabel und unverdaute Wissensreste hervorholen und damit - im nachhinein erst - versuchen, Zusammenhänge herzustellen. Kindern macht es, wie wir wissen, häufig auch Spaß, derartige Begriffe zu lernen. Die Frage ist nur, ob wir auch gut genug überlegen, welche Begriffe sie nun tatsächlich lernen sollen, ob wir noch traditionellen Mustern des Wissenskanons folgen können oder ob es nicht an der Zeit ist, die Inhalte dieses Kanons einer genauen Überprüfung zu unterziehen.

Damit trifft unsere Geschichte auch die Diskussion um unsere Lehrpläne: Gibt es denn überhaupt ein kleines "1x1" des Physik-Wissens, also Wissen und Kenntnisse, die ohne näheres Nachdenken präsent sein sollen? Wenn ja, was ist das für ein Wissen? Und wer stellt diesen Wissenskanon auf? Und wie genau sollte er von Außenstehenden definiert werden? Und wo bleibt der individuelle Spielraum des Lehrers und seiner Klasse?

Die Geschichte erscheint mir aber auch symptomatisch für vieles, was derzeit an unseren Schulen passiert. Die Problematik der Festlegung von Zielen steckt im Detail. Auf allgemeiner Ebene gibt es bald Konsens in einem Lehrkörper. Auch über die allgemeinen Richtlinien unserer Lehrpläne wird es kaum Differenzen geben. Erst die detaillierte Diskussion zeigt Differenzen auf und gibt Anlaß zu weitergehender Auseinandersetzung. Unser Beispiel zeigt, daß es wichtig ist, derartige Diskussionen in aller Genauigkeit und am konkreten Beispiel zu führen. Wir lernen auch, wie ich meine, daraus, daß diese Diskussion öffentlich zu führen ist, d.h. zumindest in den Ergebnissen für alle Beteiligten - auch für Schüler/innen und deren Eltern - nachvollziehbar sein muß. Wie sonst könnte - trotz aller Fragwürdigkeit und Vorläufigkeit unserer Zielsetzungen - Verbindlichkeit entstehen?

Helga Stadler

Grenzgänger: Welle-Teilchen Dualismus von C₆₀

Markus Arndt und Olaf Nairz

Zum Ende dieses Milleniums feiert Max Plancks Hypothese Geburtstag, dass die Energie schwarzer Körper nur diskret, in Form von Quanten, abgestrahlt werden kann. Aus der Quantenhypothese wurde durch die Arbeiten von Schrödinger, Heisenberg und vielen anderen eine fundierte Theorie, deren Vorhersagekraft in unzähligen Experimenten mit enormer Präzision bestätigt wurde. Ist sie damit aber, nach nun gut hundert Jahren, schon wirklich verstanden? Richard Feynman, einer der Väter der modernen Quantenmechanik, behauptete gar, dass wohl niemand diese Theorie wirklich verstehe. Dies liegt vor allem daran, daß ihre Gesetze sich von denen unserer täglichen Erfahrung drastisch zu unterscheiden scheinen.

In der *Quantenwelt* findet man die Möglichkeit zur Superposition von Zuständen, Komplementarität, Unschärfe, Nicht-Lokalität und Verschränkung. Demgegenüber steht die klassische oder *Alltagswelt*, in der ein Objekt mit Sicherheit nur an einem Ort zu finden ist, einen gleichzeitig wohldefinierten Ort und Impuls besitzt und meist als vom Beobachter unbeeinflusst betrachtet werden kann. Wenn aber nun die Quantenmechanik eine universell gültige Theorie ist, warum sehen wir keine ihrer seltsamen Eigenschaften im täglichen Leben?

Um diese Frage zu beleuchten, greifen wir einen der vielen Aspekte der Theorie heraus, nämlich die Behauptung, dass jedem Objekt ein Wellenphänomen zugeordnet ist, das die Bewegung im Raum bestimmt. Dessen charakteristische Periode, die de Broglie Wellenlänge, $\lambda_{dB} = h/p$, ist durch den Impuls des Objekts bestimmt. Diese Hypothese, 1923 von Louis de Broglie aufgestellt, hat sich in zahlreichen Experimenten mit Elektronen, Neutronen, Atomen und sehr einfachen Molekülen als richtig herausgestellt. Nachgewiesen wird die Wellennatur typischerweise in Beugungs- und Interferenzexperimenten in Anlehnung an den berühmten Young'schen Doppelspalt, von dem schon R. Feynman behauptete, dass an ihm alle wesentlichen Eigenschaften der Quantenmechanik darstellbar seien [1] (Abb. 1):



Abb. 1: Funktionsskizze des Young'schen Doppelspaltversuchs

Eine Quelle emittiert Teilchen, die längs ihres Weges auf eine Wand mit zwei vertikalen Schlitzen treffen. In einiger Distanz von diesem Doppelspalt befindet sich ein Detektor, der registriert, an welcher horizontalen Position die Objekte einlaufen. Verschließt man einen der beiden Spalte, so findet man nur Teilchen hinter dem anderen und umgekehrt. Man kann also eindeutig sagen, dass die Objekte durch den geöffneten Spalt geflogen sein müssen. Öffnet man jedoch beide Spalte, so findet man nicht etwa die einfache Summe der beiden Einzelspaltbilder sondern eine Ortsverteilung mit mehreren Maxima.

Dr. Markus Arndt und Dr. Olaf Nairz, Institut für Experimentalphysik der Universität Wien

Wichtig ist, dass es bei einem solchen Experiment typischerweise auch zur Intensitätsreduktion an einigen der Orten kommt, die im Falle nur eines offenen Spaltes hohe Intensität aufwiesen, was im Teilchenbild völlig unerklärbar, im Wellenbild hingegen durch destruktive Interferenz leicht zu deuten ist. Im Wellenbild können auch weite Bereiche des Raumes vom Quantenobjekt gleichzeitig exploriert werden und so das Resultat auf dem Schirm beeinflussen.

Wovon hängt nun aber ab, ob die Wellennatur eines Objekts sichtbar wird? Sicher spielen die Größenverhältnisse eine Rolle. Zur Abschätzung rufe man sich in Erinnerung, dass bei der Beugung einer monochromatischen Welle am Doppelspalt das erste Nebenmaximum unter dem Winkel $\sin \theta = \lambda/g$ zum Hauptmaximum zu finden ist. Dabei ist g der Abstand der Spalte, bzw. bei einem vollständigen Gitter die Gitterkonstante. Nehmen wir als Alltagsbeispiel einen Tennisball von 80 g, der sich nach dem Aufschlag mit 50 m/s auf das Tennisnetz zubewegt, so finden wir eine de Broglie Wellenlänge von nur etwa 10^{-34} m. Beugung am Netz mit einer Maschenweite von 10 cm, erzeugt dann eine Aufweitung von $\theta \sim 10^{-33}$ rad, und kann sicher niemals nachgewiesen werden.

Gehen wir also wieder zurück zu den Objekten, deren Interferenzfähigkeit schon demonstriert wurde, den Atomen und fragen uns, was passiert, wenn wir mehrere von ihnen gemeinsam, in Form eines Moleküls untersuchen, oder grosse Cluster nehmen. Gibt es fundamentale Grenzen für die Kohärenz von de Broglie Wellen, noch weit vor der Relevanz des simplen Größenarguments? Wo ist die Grenze? Kann man sie verschieben? Wie vollzieht sich der Übergang? Wird eventuell die Beschränkung nicht durch die Eigenschaften des Objekts sondern eher durch seine Wechselwirkung mit der Umgebung¹ verursacht, wie Wojciech Zurek es in seinen Dekohärenzmodellen errechnet [2]? Könnte die Gravitation eine Rolle spielen, wie Roger Penrose spekuliert [3]?

Durch diese Fragen und durch Diskussionen mit Roger Penrose stimuliert, initiierten Anton Zeilinger und einer der Autoren (M.A.) ein Experiment zur Beugung und Interferenz grosser Moleküle. Im Frühsommer dieses Jahres konnte dann unsere Gruppe am Institut für Experimentalphysik der Universität Wien erstmalig erfolgreich Beugung von Fullerenen demonstrieren [4]. Von den Details dieses Experiments soll im folgenden die Rede sein.

Unter den vielen möglichen Kandidaten, stellten sich bei eingehender Betrachtung die Fullerene C₆₀ und C₇₀ als besonders geeignete Objekte für Kohärenzexperimente mit Molekülen heraus. Sie sind kommerziell in ausreichenden Mengen verfügbar und haben aufgrund ihrer inneren Struktur eine sehr hohe Stabilität. Diese ist wichtig für die Erzeugung eines in-

¹Tatsächlich war die hohe interne Anregung der Fullerene in unserem Versuch ein Argument der meisten befreundeten Theoretiker und mancher Gutachter für die Prognose, dass unser Experiment scheitern müsse. Dabei wurde aber stets übersehen, dass die externe und interne Dynamik noch weitgehend entkoppelt sind. Die kontrollierte Verstärkung der Kopplung gibt uns jedoch die Möglichkeit, die Dekohärenz systematisch zu studieren.

tensiven Molekularstrahls in einer effusiven Quelle. Das Buckminsterfulleren C_{60} (Abb. 2), wegen seiner Fußballform oft auch als "buckyball" bezeichnet, besteht aus 60 Kohlenstoffatomen, die 12 Fünfecke und 20 Sechsecke auf einem gekappten Ikosaeder von 0.7 nm Durchmesser formen.

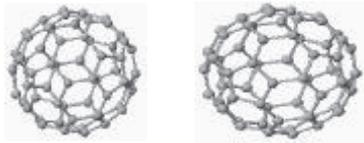


Abb. 2: Struktur der Fullere C₆₀ (links) und C₇₀

Die Fullere sind etwa eine Größenordnung massiver als alle bislang verwendeten Moleküle. Vor allem aber unterscheidet sie ihre komplexe innere Struktur von einfacheren Systemen. 174 verschiedene Schwingungsmoden sind bei typischen Molekulartemperaturen von etwa 600°C angeregt. Mit der hohen Anregung ist Schwarzkörperstrahlung und IR-Fluoreszenz verbunden, Phänomene, die bei allen Vorgängerexperimenten gänzlich irrelevant waren, die aber auch zeigen, dass beim Übergang vom Atom zum Fulleren eine neue Qualität hinzugekommen ist.

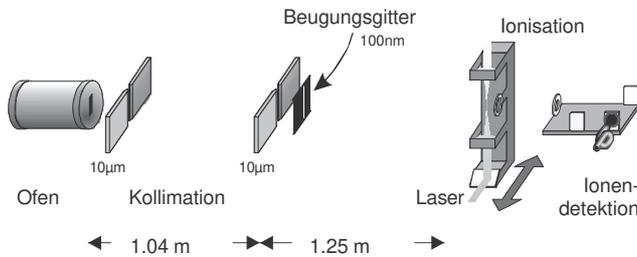


Abb. 3: Funktionsskizze der Apparatur zum Nachweis der Fullerenbeugung

Das Fullerenexperiment ist in völliger Analogie zum Doppelspaltexperiment aufgebaut (Abb. 3). Es gibt eine Quelle, eine beugende Struktur und einen ortsauflösenden Detektor. Alle gemeinsam sind in eine Vakuumapparatur bei $5 \cdot 10^{-7}$ mbar eingebaut um sicherzustellen, dass Stöße mit dem Hintergrundgas keine Rolle spielen. Die thermische Quelle ist ein 600°C heißer Stahlöfen, der Fullerenpulver sublimiert und so einen breiten Molekularstrahl erzeugt. Die Moleküle in diesem Strahl sind heiß und mithin auch schnell. Bei der wahrscheinlichsten Geschwindigkeit von rund 220 m/s kann einem C_{60} Molekül somit eine de Broglie Wellenlänge von 2.5 pm zugeordnet werden. Dies ist etwa 400 mal kleiner als der Durchmesser des Moleküls! Die komplette Geschwindigkeitsverteilung und damit auch das de Broglie-Spektrum wurde mittels Flugzeitmessungen aufgenommen und ist in Abb. 4 wiedergegeben. Man sieht, dass die Quelle bei weitem nicht monochromatisch ist. Für den Versuch ist vor allem aber die transversale Kohärenz von Bedeutung, welche ein Maß für die laterale "Ausdehnung" der Wahrscheinlichkeitswelle eines Moleküls über die Stäbe des Beugungsgitters ist. Sie wird durch die beiden Kollimationsspalte bestimmt, die etwa einen Meter voneinander getrennt zwischen der Quelle und dem Beugungsgitter angeordnet sind. Durch diese nur etwa 10 Mikrometer breiten Spalte, wird die maximale transversale Geschwindigkeit auf wenige mm/s beschränkt. Man erhält damit eine kohärente Ausleuchtung einiger weniger Gitterstriche.

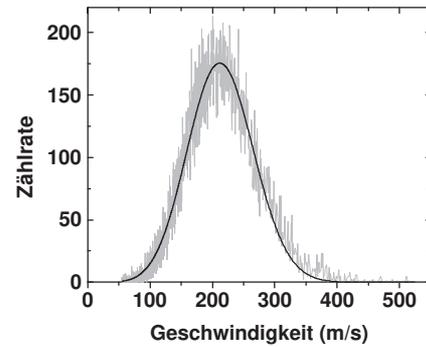


Abb. 4: Geschwindigkeitsspektrum von C₆₀ bei 605 °C

Das der Kollimation folgende SiN Gitter (Abb. 5) hat eine Gitterkonstante von 100 nm und ein nominelles Steg-/Lückeverhältnis von etwa 1:1. Bei Beugung ebener Wellen an einem solchen Gitter erwartet man im Fernfeld, den Zentralpeak sowie die beidseitigen ersten Nebenmaxima unter einem Winkel von etwa 25 μ rad zu sehen. Die zweiten und höheren Nebenmaxima der Gitterbeugung werden vor allem durch das überlagerte Minimum der Einzelspaltbeugung unterdrückt.

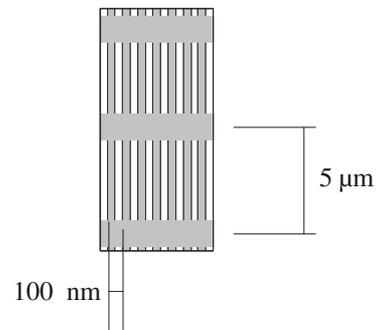


Abb. 5: Skizze des Beugungsgitters. Es wurde am MIT von T. Savas in der Gruppe von Prof. H. Smith photolithographisch hergestellt. Es hat eine Dicke von etwa 200 nm im Bereich der Gitterstriche. Die 5 μ m Überstruktur dient nur zur Stabilisierung des Gitters.

Die mikroskopisch kleinen Beugungswinkel sowie die kleinen erwarteten Zählraten ($< 100/s$) erfordern einen extrem empfindlichen, ortsauflösenden Fulleren-detektor rund 1.25 μ m hinter dem Gitter. Dazu wird ein 25 W-Argon-Ionenlaser (bei einer Wellenlänge von 488 nm und 514 nm) mit einem kurz-brennweitigen Spiegel/Linsensystem auf den Molekularstrahl fokussiert. Moleküle, die den Laserfokus passieren, absorbieren bis zu 30 grüne Photonen und werden dadurch so stark aufgeheizt, dass sie schliesslich einige 10 μ s nach der Passage durch den Laserstrahl ein Elektron emittieren. Die verbleibenden positiven Ionen werden nachbeschleunigt und lösen auf einer Konverterplatte Elektronen aus, die dann ihrerseits in einem Sekundärelektronenvervielfacher mit Nachfolgeelektronik verstärkt und registriert werden. Um das Beugungsbild abzutasten, wird die Fokussiereinheit mit Mikrometergenauigkeit über den Molekularstrahl gefahren.

Das Ergebnis eines solchen Abtastdurchlaufs ist in Abb. 6 dargestellt. In Abb. 6a und b sind zwei solcher Scans zunächst *ohne* und dann *mit* Beugungsgitter gegenübergestellt. Der Vergleich zeigt deutlich die Aufweitung des Strahls durch die Beugung sowie klare erste Nebenmaxima rechts und links vom zentralen Maximum an den erwarteten Positionen. Die durchgezogene Kurve im oberen Diagramm ist ein Fit der Theorie an die Daten. Dabei ist vor allem erwähnenswert, dass

die gefundene Einzelspaltbreite erheblich kleiner ist (ca. 38 nm) als die vom Gitterhersteller angegebene (55 ± 5 nm). Dafür gibt es verschiedene einleuchtende Erklärungen. Zum einen besitzt C_{60} eine große Polarisierbarkeit und damit auch eine starke van der Waals Wechselwirkung mit dem Gitter. Diese führt zu Phasenverschiebungen der de Broglie Wellen bei der Passage durch die SiN-Struktur, von denen man erwartet, dass sie den Spalt effektiv verkleinern. Zum anderen gibt es Imperfektionen und Ablagerungen auf dem Gitter.

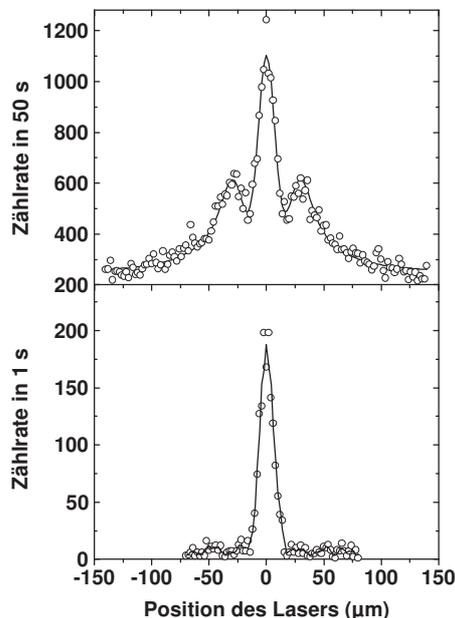


Abb. 6: Fullerensignal als Funktion der Detektorposition. unten: kollimierter Strahl ohne Gitter; oben: kollimierter Strahl aber mit Beugungsgitter im Strahlengang. Man sieht deutlich die Aufweitung und die erwarteten Seitenmaxima zu beiden Seiten des Zentralpeaks.

Zusammenfassend kann man sagen, dass selbst bei so komplexen Molekülen wie den Fullerenen die Messungen in voller Übereinstimmung mit der quantenmechanischen Erwartung sind. Es wurde bislang keine signifikante "Dekohärenz" beobachtet. Unsere Abschätzungen weisen aber darauf hin, dass der Übergang von quantenmechanischem zu klassischem Verhalten schon bei den Fullerenen über die thermische Photoemission (Anzahl und Wellenlänge der Photonen) kontrolliert werden kann. Es befindet sich gerade ein Experiment in Vorbereitung, das diesen Übergang quantitativ studieren soll.

Bis zu welcher Größe kann man noch gelangen, wenn man über die Fullerene hinaus die Wellenmechanik testen will? Das ist eine noch völlig offene Frage. Unsere Abschätzungen zeigen aber, dass man kinematisch (s. Tennisballargument) erst bei etwa 10^7 Protonenmassen, also der Masse kleiner Viren, auf ernste Barrieren trifft. Die technischen Herausforderungen bei der Strahlerzeugung, Detektion und Isolation der Objekte von der Umwelt sind bis dahin aber enorm.

Danksagung

Jeder Experimentalphysiker weiß, dass gute Experimentalphysik meist eine Gemeinschaftsleistung ist, die einen hohen persönlichen Einsatz aller Beteiligten erfordert. Bei der Durchführung der hier vorgestellten Experimente waren unsere Kollegen Julian Voss Andreae, Claudia Keller und Gerbrand van

der Zouw unter der inspirierenden und kollegialen Leitung von Anton Zeilinger beteiligt.

Das Experiment wurde vom FWF im Rahmen des Projekts S6504 sowie des SFB "Control and Measurement of Coherent Quantum Systems" unterstützt.

Literatur

- [5] Richard Feynman "Vom Wesen physikalischer Gesetze", Piper (1993)
- [6] Roger Penrose "On gravity's role in quantum state reduction", Gen. Rel. Grav. 28, 581-600 (1996)
- [7] Wojtek Zurek, "Decoherence and the transition from quantum to classical", Physics Today, 36-44 (October 1991)
- [8] Markus Arndt, Olaf Nairz, Julian Voss Andreae, Claudia Keller und Gerbrand van der Zouw, Anton Zeilinger, "Wave-particle duality of C_{60} molecules", Nature 401, 680-682, 14. Oct. (1999).

Ein Blick und Klick ins Netz

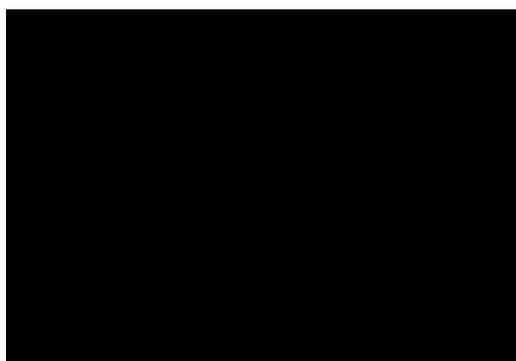
Weitere Bilder zum oben beschriebenen Experiment sind zu finden unter: www.quantum.univie.ac.at

Die Physikseiten von Andrea Mayer findet man nun schnell unter: physik.asn-graz.ac.at. Ideen zu Kriterien zur Erstellung eines Versuchsprotokolls von H.-J. Kunze: physik.asn-graz.ac.at/physik/quellen/kunze2.htm.

Ein hervorragende Astronomieseite zur Benutzung von Sternkarten stellt Gerhard Rath zur Verfügung unter: linux.brgkepler.asn-graz.ac.at/comenius/sterne/ue_sternk.htm

Schrödinger war das Thema eines Projekts am Akademischen Gymnasium Innsbruck: www.asn-ibk.ac.at/schulen/agi/schroedinger

Auch die Zentralbibliothek für Physik bietet unter: www.zbp.univie.ac.at/Schrodinger Bilder und Töne zum Leben des Nobelpreisträgers.



Nobelpreise 1999

Nobelpreis in Physik

Die Königlich Schwedische Akademie der Wissenschaften hat den Nobelpreis in Physik für das Jahr 1999 gemeinsam verliehen an Professor Gerardus 't Hooft, Utrecht Universität, Utrecht, Niederlande, und Professor emeritus Martinus J.G. Veltman, Bilthoven, Niederlande.

Die beiden Forscher erhalten den Nobelpreis dafür, daß sie die Theorie der Elementarteilchenphysik auf festeren mathematischen Grund gestellt haben. Sie haben im speziellen gezeigt, wie die Theorie zu genauen Berechnungen physikalischer Grössen angewendet werden kann. Experimente an den Teilchenbeschleunigerlaboratorien in Europa und den USA haben kürzlich viele der berechneten Ergebnisse bestätigt.

Entscheidung der Akademie der Wissenschaften:

"für ihre entscheidenden, die Quantenstruktur betreffenden Beiträge zur Theorie der elektroschwachen Wechselwirkung in der Physik".

Die Theorie der Elementarteilchenphysik auf festerem mathematischen Grund

Die alltäglichen Gegenstände in unserer Umgebung sind alle aus Atomen, die aus Elektronen und Atomkernen bestehen, aufgebaut. Innerhalb der Atomkerne befinden sich Protonen und Neutronen, die wiederum aus Quarks aufgebaut sind. Um die Materie auf diesem innersten Niveau zu studieren, benötigt man große Beschleuniger. Diese wurden erst in den 50er Jahren gebaut und das bedeutete die Geburt der modernen Elementarteilchenphysik. Zum ersten Mal konnten die Forscher energiereiche atomare Partikel kontrollierbar zusammenstoßen lassen. Dadurch konnte man sowohl das Entstehen neuer Teilchen als auch die Beschaffenheit der Kräfte, die zwischen ihnen wirken, studieren.

Ungefähr in der Mitte der 50er Jahre wurde auch die erste Fassung einer modernen Theorie formuliert, die nach vielen Jahren der Bearbeitung nun zu dem Standardmodell in der Elementarteilchenphysik Anlaß gegeben hat. Gemäß diesem Modell werden alle Elementarteilchen in drei Familien von Quarks und Leptonen eingeteilt, welche mit Hilfe von einer Anzahl von Austauschteilchen für die starken und elektroschwachen Kräfte wechselwirken. (Siehe Abb. 1) Das theoretische Fundament des Standardmodells war aus mathematischem Gesichtspunkt von Anfang an unvollständig und es war vor allem unklar, ob die Theorie überhaupt zu detaillierten Berechnungen physikalischer Größen verwendet werden könnte. In diesem Jahr werden Gerardus 't Hooft und Martinus J.G. Veltman dafür mit dem Nobelpreis ausgezeichnet, daß sie diese Theorie auf festeren mathematischen Grund gestellt haben. Dadurch haben die Forscher nun auch eine gut funktionierende "theoretische Maschinerie", die unter anderem zur Vorhersage von Eigenschaften neuer Teilchen verwendet werden kann.

nach: Pressemitteilungen der Nobelstiftung

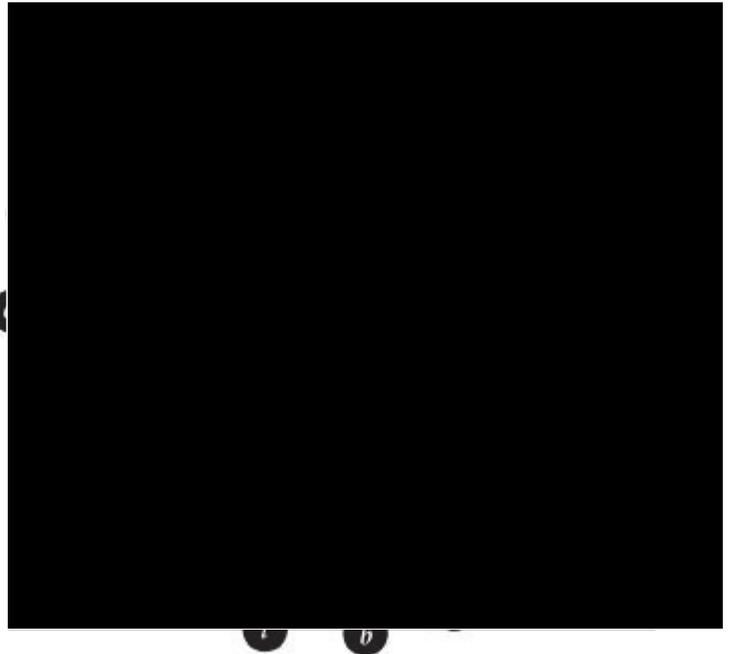


Abb. 1: Die fundamentalen Teilchen der Materie sind sechs Leptonen und sechs Quarks. In dem Standardmodell der Teilchenphysik werden die Kräfte zwischen diesen durch Quantenfeldtheorien beschrieben, die alle vom Typ nicht-abelscher Eichtheorien sind. Die elektroschwache Kraft wird von vier Austauschteilchen übertragen. Das sind die masselosen Photonen (gamma) und die drei schweren Teilchen W^+ , W^- und Z^0 . Die starke Kraft wird von acht masselosen sogenannten Gluonen g übertragen. Die Theorie sagt voraus, daß es über diese zwölf Austauschteilchen hinaus ein sehr schweres Teilchen, das Higgs-Teilchen H^0 , gibt, dessen Feld alle diese vielen Teilchen verursacht.

Neuer Name für alte Theorie

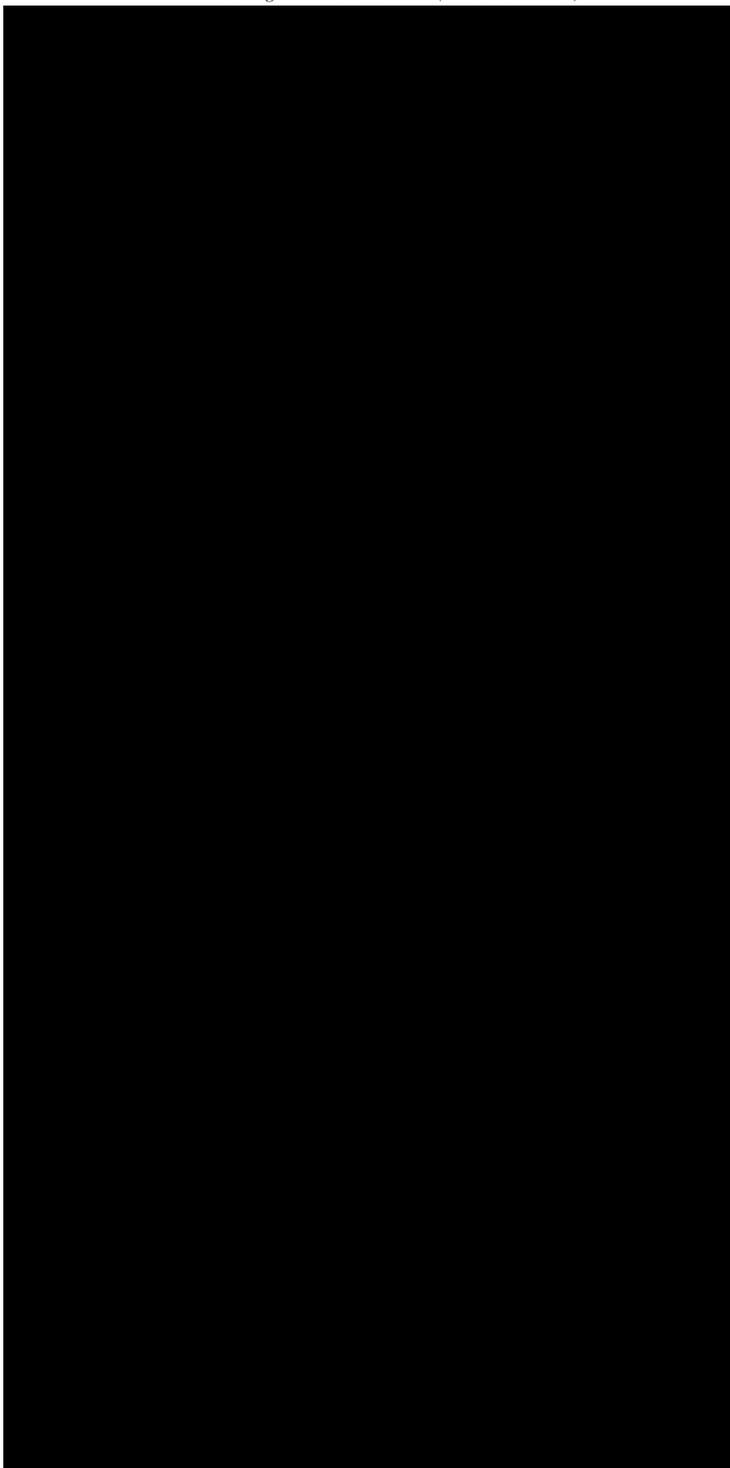
Die heute in dem Standardmodell der Elementarteilchenphysik verwendeten modernen Theorien, welche die Wechselwirkung zwischen den Teilchen beschreiben, sind alle sogenannte Eichtheorien. Der Name bezieht sich auf eine spezielle Eigenschaft dieser Theorien, die Eichsymmetrie, die von vielen Forschern als eine der fundamentalsten Eigenschaften der Physik angesehen wird. Aber schon um 1860 formulierte der Schotte James Clerk Maxwell eine Theorie für den Elektromagnetismus, die in heutiger, moderner Terminologie eine Eichtheorie ist. Seine Theorie, die auch heute noch Gültigkeit besitzt, vereinte Elektrizität mit Magnetismus und sagte unter anderem die Existenz von Radiowellen voraus.

Man kann den Begriff Eichsymmetrie auf folgende Art anschaulich machen: Elektrische und magnetische Felder können mit Hilfe von Potentialfunktionen dargestellt werden. Diese Funktionen können nach einem gewissen Schema ausgetauscht (eichtransformiert) werden ohne daß sich die Felder deswegen ändern. Die allereinfachste Transformation ist die Addition einer Konstanten zu den elektrischen Potentialen. Physikalisch verdeutlicht dieses die wohlbekannt Tatsache, daß das elektrische Potential von einem willkürlichen Nullpunkt aus gerechnet werden kann; nur Änderungen im Potential spielen eine Rolle. Deshalb kann ein Eichhörnchen auf einer Hochspannungsleitung entlang laufen ohne Schaden zu

nehmen. Die Möglichkeit einer derartigen Verschiebung des Nullpunkts wird von den Physikern als eine Symmetrie in der Theorie, eine Eichsymmetrie, aufgefaßt.

Es zeigt sich, daß es bei der Ausführung von zwei Eichtransformationen nacheinander keine Rolle spielt, in welcher Reihenfolge man vorgeht. Deshalb pflegt man den Elektromagnetismus als eine abelsche Eichtheorie zu bezeichnen nach dem norwegischen Mathematiker Niels Henrik Abel, der von 1802 bis 1829 lebte. (Ein einfaches Beispiel für Transformationen, die abelsch sind, sind Drehungen in der Ebene. Versuchen Sie selbst mit einem Bleistift! Siehe Abb. 2).

Abb. 2a: Ein Beispiel für eine Gruppe abelscher Transformationen sind die Drehungen in einer Ebene. (2 Dimensionen)



Die Quantenmechanik verursacht Probleme

Sofort nachdem die Quantenmechanik um 1925 formuliert worden war, wurde der Versuch unternommen, die Wellenfunktionen der Quantenmechanik und das elektromagnetische Feld in einer Quantenfeldtheorie zu vereinigen. Aber da stieß man auf Probleme! Die neue Quantenelektrodynamik blieb kompliziert und wenn man Berechnungen durchführen wollte, ergaben sich oft sinnlose Resultate. Ein Grund hierfür war, daß die Quantentheorie vorhersagt, daß das elektromagnetische Feld in der Nähe von z. B. einem Elektron oder Proton spontan die Entstehung von Mengen kurzlebiger Paare von Teilchen und Antiteilchen, von virtuellen Teilchen (Siehe Abb. 3), bewirken kann. Ein System mit nur einem Elektron wurde plötzlich ein Mehrteilchenproblem.

Die Probleme wurden von Sin-Itiro Tomonaga, Julian Schwinger und Richard P. Feynman (die sich für ihre Arbeiten den Nobelpreis des Jahres 1965 teilen konnten) gelöst. Die von diesen drei Forschern entwickelte Methode wird Renormierung genannt und sie besagt, einfach ausgedrückt, daß man die einzelnen Teilchen "aus etwas Abstand" betrachtet. Dadurch muß man nicht die virtuellen Teilchen einzeln berücksichtigen, sondern kann "die Wolke" aus virtuellen Teilchen das zentrale, ursprüngliche Teilchen einhüllen lassen. Dieses erhält so unter anderem eine neue Ladung und eine neue Masse. In moderner Terminologie kann man sagen, daß Tomonaga, Schwinger und Feynman eine abelsche Eichtheorie renormiert haben.

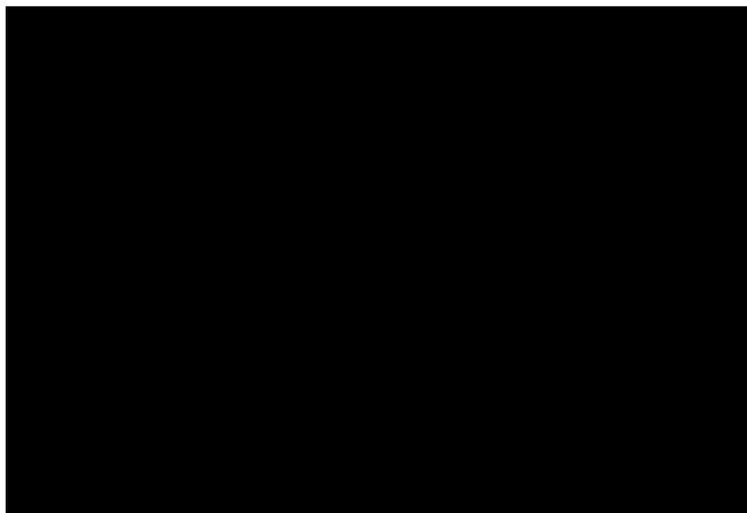


Abb.3: Gemäß der Quantenfeldtheorie besteht ein richtiges "physikalisches" Teilchen aus einem "nackten" Zentralteilchen "angezogen" mit einer Wolke von vielen kurzlebigen, sogenannten virtuellen Teilchen.

Die Quantenelektrodynamik ist in letzter Zeit mit größerer Sorgfalt als irgendeine andere physikalische Theorie geprüft worden. So ist es z.B. Hans Dehmelt (Nobelpreis in Physik 1989) gelungen, in einer Ionenfalle das magnetische Moment des Elektrons mit einer Genauigkeit von 12 Stellen zu messen. Die ersten 10 Stellen stimmen mit dem berechneten Ergebnis überein.

Vereinigte elektromagnetische und schwache Wechselwirkung

Die Entdeckung und das Studium der Radioaktivität und die spätere Entwicklung der Kernphysik gab in der ersten Hälfte

des 20sten Jahrhunderts Anlaß zu Begriffen wie *starke und schwache Wechselwirkung*. Vereinfacht ausgedrückt hält die starke die Atomkerne zusammen, während die schwache gewisse Atomkerne radioaktiv zerfallen läßt. Schon in den 30er Jahren wurde eine erste *Quantenfeldtheorie für die schwache Wechselwirkung* formuliert. Diese Theorie litt unter Problemen, die noch schlimmer waren als diejenigen, die die Quantenelektrodynamik hatte und nicht einmal die von Tomonaga, Schwinger und Feynman entwickelte Renormierungsmethode konnte die Probleme lösen.

In der Mitte der 50er Jahre jedoch fanden einige Forscher ein erstes Beispiel für eine Quantenfeldtheorie mit neuen Eigenschaften, *eine nicht-abelsche Eichtheorie*. Zum Unterschied von der abelschen Variante, in welcher Eichtransformationen unabhängig von der Reihenfolge ausgeführt werden können, hängen die Ergebnisse in der nicht-abelschen von der Reihenfolge ab. Das gibt der Theorie eine kompliziertere mathematische Struktur, aber eröffnet auch neue Möglichkeiten. (Ein einfaches Beispiel für Transformationen, die nicht-abelsch sind, sind Drehungen im Raum. Versuchen Sie selbst mit einem Bleistift! Siehe Abb. 2b.)

Die neuen Möglichkeiten der Theorie wurden erst in den 60er Jahren voll genutzt, als eine Reihe von Forschern bei der Entwicklung einer nicht-abelschen Eichtheorie mitwirkten, welche die elektromagnetische mit der schwachen Wechselwirkung zu einer *elektroschwachen Wechselwirkung* vereinigt (Nobelpreis 1979 für Sheldon L. Glashow, Abdus Salam und Steven Weinberg). Diese Quantenfeldtheorie sagte unter anderem die neuen Teilchen W und Z voraus, die 1983 am europäischen Beschleunigerlabor CERN, Genf (Nobelpreis 1984 für Carlo Rubbia und Simon van der Meer) nachgewiesen wurden.

Die Geschichte wiederholt sich

Die Theorie der elektroschwachen Wechselwirkung, die in den 60er Jahren entwickelt wurde, war sicherlich ein großer Schritt vorwärts, aber die Wissenschaftler hatten es zuerst schwer, sie zu akzeptieren. Als man die Theorie zur Berechnung genauere Eigenschaften der neuen Teilchen W und Z (und vieler anderer physikalischer Größen) anwenden wollte, lieferte sie sinnlose Ergebnisse. Die Situation war der in den 30er Jahren ähnlich, bevor es Tomonaga, Schwinger und Feynman gelang, die Quantenelektrodynamik zu renormieren. Viele Forscher waren pessimistisch über die Möglichkeiten, mit einer derartigen Theorie weiterzukommen.

Einer, der nicht die Hoffnung aufgegeben hatte, nicht-abelsche Eichtheorien renormieren zu können, war Martinus J.G. Veltman. Er war zu Ende der 60er Jahre neu ernannter Professor an der Universität in Utrecht. Veltman hatte das Computerprogramm *Schoonship* entwickelt, welches symbolisch algebraische Vereinfachungen der komplizierten Ausdrücke durchführte, die sich in allen Quantenfeldtheorien bei quantitativen Berechnungen ergeben. 20 Jahre früher hatte zwar Feynman das Berechnungsproblem systematisiert und die sogenannten *Feynmandiagramme*, die schnell in der Welt der Forschung angenommen wurden, eingeführt; aber damals gab es keine Computer. Veltman glaubte felsenfest an die Möglichkeit, einen Weg zu finden, um die Renormierung auszuführen, und

sein Computerprogramm war ein Meilenstein in der umfangreichen Arbeit, verschiedene Ideen auszutesten.

Im Frühjahr 1969 bekam Veltman einen jungen, 22 Jahre alten Schüler, Gerardus 't Hooft, der Hochenergiephysik studieren wollte. Nachdem er eine erste kleine Abhandlung geschrieben hatte wurde 't Hooft im Herbst des gleichen Jahres als Doktorand angenommen. Die Aufgabe war, bei der Suche nach einer Methode zur Renormierung nicht-abelscher Eichtheorien mitzuarbeiten. Er war überaus erfolgreich und veröffentlichte schon 1971 zwei Arbeiten, die einen wichtigen Durchbruch im Forschungsprogramm darstellten.

Mit Hilfe von Veltmans Computerprogramm wurde nun 't Hoofts Teilergebnis bestätigt und gemeinsam arbeiteten sie eine funktionierende Berechnungsmethode im Detail aus. Somit war die nicht-abelsche Eichtheorie der elektroschwachen Wechselwirkung eine funktionierende theoretische Maschine geworden und man konnte, genau wie vor 20 Jahren, mit genauen Berechnungen beginnen.

Die Aussagen der Theorie werden bestätigt

Wie schon oben dargestellt, sagte die elektroschwache Theorie schon von Anfang an die Existenz der neuen Teilchen W und Z voraus. Aber erst durch 't Hoofts und Veltmans Arbeiten konnte man beginnen, physikalische Größen, bei denen die Eigenschaften von W und Z eine Rolle spielen, genauer zu berechnen. In dem Beschleuniger LEP bei CERN ist es in letzter Zeit gelungen, große Mengen von W und Z unter kontrollierbaren Verhältnissen zu erzeugen. Vergleiche zwischen Messungen und Rechnungen haben immer große Übereinstimmung gezeigt und sie stärken dadurch die Aussagen der Theorie.

Eine spezielle Größe, die ausgehend von den Ergebnissen am LEP mit 't Hoofts und Veltmans Berechnungsmethode erhalten werden konnte, ist die Masse des sogenannten *top-Quarks*, des schwersten der beiden Quarks, die zu der dritten Familie des Standardmodells gehören. Dieses Quark wurde zum ersten Mal direkt 1995 an dem Fermilabor in den USA beobachtet, aber seine Masse war schon einige Jahre früher vorhergesagt worden. Die Übereinstimmung zwischen Experiment und Theorie war auch hier zufriedenstellend.

Wann kommt die nächste große Entdeckung?

Ein wichtiger Bestandteil in der Theorie, die 't Hooft und Veltman entwickelt haben, ist ein noch nicht nachgewiesenes Teilchen, das Higgs-Teilchen (Siehe Abb. 1). Ebenso, wie andere Teilchen durch theoretische Beweisführung vorausgesagt wurden, um dann später experimentell nachgewiesen zu werden, warten die Forscher nun auf die direkte Beobachtung des Higgs-Teilchens. Durch Berechnungen, ähnlich denen für die Masse des top-Quarks, weiß man, daß vielleicht einer der zur Zeit arbeitenden Beschleuniger einige Higgs-Teilchen erzeugen kann. Aber der einzige Beschleuniger, der ausreichende Leistung für genauere Studien haben wird, ist der zur Zeit im Bau befindliche LHC (Large Hadron Collider) bei CERN. Jedoch damit müssen sich die Forscher noch einige Jahre gedulden, denn der LHC wird voraussichtlich erst im Jahr 2005 fertiggestellt sein.

Lesetips

"Background in English" by Professor Cecilia Jarlskog
(<http://www.nobel.se>)

In Search of the Ultimate Building Blocks by Gerard 't Hooft,
Cambridge University Press 1997.

The Higgs boson by Martinus J.G. Veltman, Scientific American,
November 1986, p.88.

An Elementary Primer for Gauge Theory by K. Moriyasu,
World Scientific Publishing 1983.

Gauge Theories of the Forces between Elementary Particles
by Gerard 't Hooft, Scientific American, June 1980, p. 90.

Gerardus 't Hooft

geboren 1946 in Den Helder, Niederlande. Bürger der Niederlande. Zum Doktor der Physik promoviert 1972 an der Universität in Utrecht. Professor für Physik an der Universität in Utrecht seit 1977. 't Hooft hat unter anderem 1979 den Dannie Heineman Preis von der American Physical Society und 1982 den Wolfpreis für seine Arbeiten über die Renormierung von Eichtheorien erhalten. Er ist Mitglied der Holländischen Akademie der Wissenschaften seit 1982.



Martinus J.G. Veltman

geboren 1931 in den Niederlanden. Bürger der Niederlande. Zum Doktor der Physik promoviert 1963 an der Universität in Utrecht. Professor für Physik an der Universität in Utrecht 1966 - 1981 und an der Universität von Michigan, Ann Arbor, seit 1981 (jetzt pensioniert). Veltman hat unter anderem den Hochenergie- und Elementarteilchen-Physikpreis des Jahres 1983 der Europäischen Physikalischen

Gesellschaft für seine Arbeiten über die Renormierung von Eichtheorien erhalten. Er ist Mitglied der Holländischen Akademie der Wissenschaften seit 1981.

Nobelpreis in Chemie

Die Königlich Schwedische Akademie der Wissenschaften hat den Nobelpreis in Chemie für das Jahr 1999 verliehen an Professor Ahmed H. Zewail, California Institute of Technology, Pasadena, USA, weil er nachgewiesen hat, daß man mit Hilfe schneller Laser-Technik sehen kann, wie sich Atome während einer chemischen Reaktion in einem Molekül bewegen.

Entscheidung der Akademie der Wissenschaften:

Für seine Studien des Übergangszustands chemischer Reaktionen mit Hilfe der Femtosekundenspektroskopie.

Der diesjährige Nobelpreisträger in Chemie wird preisgekrönt für seine bahnbrechenden Untersuchungen grundlegender

chemischer Reaktionen, die mit Hilfe ultrakurzer Laserblitze in dem Zeitraum unternommen werden, in dem sie tatsächlich ablaufen. Zewail's Leistungen bedeuteten eine Revolution in der Chemie und in angrenzenden Wissenschaftsbereichen, da diese Art von Untersuchungen es ermöglicht, wichtige Reaktionen zu verstehen und vorauszusagen.

Die Entwicklung der Femtochemie wird preisgekrönt

Was wäre ein Fußballspiel im Fernsehen ohne die Zeitlupe, die im Nachhinein die Bewegungen der Spieler und des Balls nachvollzieht, wenn ein Tor gefallen ist. Dasselbe gilt für chemische Reaktionen. Die Neugier der Chemiker darauf, chemischen Reaktionen bis in kleinste Einzelheiten folgen zu können, hat immer ausgeklügeltere Methoden hervorgebracht. Der diesjährige Nobelpreisträger Ahmed H. Zewail hat Atome und Moleküle mit Hilfe einer "Zeitlupe" während einer Reaktion untersucht und gesehen, was eigentlich geschieht, wenn chemische Verbindungen zerbrechen und neue entstehen.

Zewail hat sich einer Technik bedient, die man als die schnellste Kamera der Welt beschreiben kann. Sie läuft darauf hinaus, daß man so kurze Laserblitze benutzt, daß man den Zeitraum erreicht, in dem die Reaktionen tatsächlich stattfinden, nämlich Femtosekunden (fs). Eine Femtosekunde entspricht 10^{-15} Sekunden, d.h. 0,000000000000001 Sekunden; im Verhältnis zu einer Sekunde ist dies genauso wenig wie eine Sekunde im Verhältnis zu 32 Millionen Jahren. Dieses Gebiet im Bereich der physikalischen Chemie hat den Namen Femtochemie erhalten.

Mit Hilfe der Femtochemie kann man verstehen, warum bestimmte chemische Reaktionen stattfinden, andere aber nicht. Man kann auch erklären, warum die Geschwindigkeit der Reaktionen und ihr Wirkungsgrad von der Temperatur abhängig sind. Rundum auf der Welt untersuchen Wissenschaftler mit Hilfe der Femtosekundenspektroskopie diesen Prozeß in Gasen, Flüssigkeiten und in festen Materialien, auf Oberflächen und in Polymeren. Die Anwendungsbereiche umspannen die Funktion von Katalysatoren und die Konstruktion molekularer elektronischer Komponenten bis hin zu den feinsten Mechanismen der Lebensprozesse und in Zukunft der Herstellung von Arzneimitteln.

Wie schnell verlaufen chemische Reaktionen?

Wie wir alle wissen, können chemische Reaktionen mit sehr unterschiedlichen Geschwindigkeiten ablaufen - man braucht nur rostende Nägel mit explodierendem Dynamit zu vergleichen! Gemeinsam für die meisten Reaktionen ist jedoch, daß sich ihre Geschwindigkeit vergrößert, wenn sich die Temperatur erhöht, d.h. wenn die Bewegung der Moleküle heftiger wird.

Daher haben die Wissenschaftler seit langem geglaubt, daß ein Molekül zuerst "aktiviert", sozusagen mit einem Tritt über eine Grenze befördert werden muß, um zu reagieren. Wenn zwei Moleküle zusammenstoßen, so geschieht gewöhnlich nichts, sie prallen lediglich aneinander ab. Aber wenn die Temperatur hoch genug ist, dann ist der Zusammenprall so heftig, daß sie miteinander reagieren und sich neue Moleküle bilden. Wenn ein Molekül so einen kräftigen "Temperaturtritt" bekommen hat, reagiert es unerhört schnell, wobei sich chemi-

sche Verbindungen auflösen und neue entstehen. Dies gilt auch für Reaktionen, die langsam verlaufen, so zum Beispiel bei einem Nagel, der rostet. Der Unterschied besteht nur darin, daß die "Temperaturtritte" in einer langsamen Reaktion seltener eintreffen als in einer schnellen.

Die Grenze wird von den Kräften bestimmt, die die Atome im Molekül, d.h. den chemischen Verbindungen, zusammenhalten; man kann sie in etwa mit der Gravitationsgrenze vergleichen, die eine Mondrakete von der Erde überwinden muß, ehe sie vom Kraftfeld des Mondes eingefangen wird. Aber über den Weg eines Moleküls über diese Grenze und über sein eigentliches Aussehen, wenn es gerade den höchsten Punkt, den sogenannten "Übergangszustand", erreicht hat, wußte man bis in die jüngste Gegenwart nicht viel.

Hundert Jahre Forschung

Svante Arrhenius, der Chemie-Nobelpreisträger des Jahres 1903, der seinerseits von van't Hoff, dem ersten Chemie-Nobelpreisträger aus dem Jahr 1901, angeregt worden war, beschrieb vor mehr als hundert Jahren eine einfache Formel für die Reaktionsgeschwindigkeit als Funktion der Temperatur. Aber sie galt für viele Moleküle auf einmal, d.h. für makroskopische Systeme, und über verhältnismäßig lange Zeiträume. Erst in der 30er Jahren formulierten H. Eyring und M. Polanyi eine Theorie, die auf Reaktionen in mikroskopischen Systemen mit einzelnen Molekülen baute. In dieser Theorie nahm man an, daß der Übergangszustand in dem Zeitraum, der für molekulare Schwingungen gilt, sehr schnell überwunden würde. Daß man jemals Experimente in so kurzen Zeitabständen machen könnte, davon konnte man damals nicht einmal träumen.

Aber Zewail widmete sich gerade dieser Frage zielbewußt. Gegen Ende der 80er Jahre führte er eine Serie von Experimenten durch, die die Geburt des Forschungsgebiets bedeutete, das Femtochemie genannt wird. Im Prinzip läuft es dabei darauf hinaus, mit einer Hochgeschwindigkeitskamera Moleküle während des Ablaufs chemischer Reaktionen abzubilden und ein Bild von ihnen genau dann einzufangen, wenn sie sich im Übergangszustand befinden. Die Kamera baute auf neuentwickelte Lasertechnik mit Lichtblitzen von einigen -zig Femtosekunden auf. Die Zeit, die Atome benötigen, um in einem Molekül eine Schwingung auszuführen, beträgt im Normalfall 10^{-100} fs. Daß chemische Reaktionen im gleichen Zeitraum ablaufen sollten in dem Atome in den Molekülen hindurchschaukeln, kann man mit zwei Trapezkünstlern vergleichen, die aufeinander in demselben Zeitraum "reagieren", in dem ihre Trapeze hinundherpendeln.

Was sah man nun, wenn man die Zeitauflösung nach und nach verbesserte? Die ersten Erfolge bestanden aus Entdeckungen von Stoffen, sogenannten Intermediären, die sich auf dem Weg zwischen den ursprünglichen Stoffen und den Schlußprodukten bildeten. Anfänglich handelte es sich um vergleichsweise stabile Moleküle oder Molekülfragmente. Jede Verbesserung der Zeitauflösung führte dazu, daß man neue Glieder einer Reaktionskette, in Gestalt immer kurzlebigerer Intermediärer in das Puzzle einfügen konnte, um dadurch denn Reaktionsmechanismus zu verstehen.

Die Leistung, für die Zewail der Nobelpreis verliehen wird, bedeutet, daß wir das Ende des Weges erreicht haben: schnell

ler als gehabt können keine chemischen Reaktionen stattfinden. Mit der Femtosekundenspektroskopie können wir zum ersten Mal in Zeitlupe beobachten, was bei dem Übergang über die Reaktionsgrenze geschieht, und damit auch den mechanistischen Hintergrund verstehen, sowohl der Formel für die Temperaturabhängigkeit von Arrhenius als auch der Formeln, für die van't Hoff den Nobelpreis erhielt.

Die Femtochemie in der Praxis

Bei der Femtosekundenspektroskopie mischt man die ursprünglichen Stoffe in Form von Molekularstrahlen in einer Vakuumkammer. Danach läßt man einen ultraschnellen Laser zwei Pulse hineinschießen: zuerst einen starken Pump-puls, der das Molekül trifft und es in einen höheren Energiezustand versetzt, und danach einen schwächeren Prob-puls mit einer Wellenlänge, die darauf eingestellt ist, das Molekül in seiner ursprünglichen Form oder in einer veränderten Form zu entdecken. Der Pump-puls gibt den Startschuß für die Reaktion, während der Prob-puls untersucht, was geschieht. Indem man das Zeitintervall zwischen Pump- und Prob-puls verändert, kann man sehen, wie schnell sich das ursprüngliche Molekül verwandelt. Die neuen Erscheinungsformen, die das Molekül annimmt, wenn sich sein Energieniveau erhöht - und vielleicht den ein oder anderen Übergangszustand überschreitet - haben Spektren, die man wie Fingerabdrücke benutzen kann. Das Zeitintervall zwischen den Pump- und Prob-pulsen kann man auf einfache Art dadurch verändern, daß man den Prob-puls mit Hilfe von Spiegeln einen Umweg nehmen läßt. Aber es handelt sich nicht um lange Umwege: das Licht legt die Strecke von 0,03 mm in 100 fs zurück.

Um besser zu verstehen, was passiert, vergleicht man zum Abschluß die Fingerabdrücke und den zeitlichen Ablauf mit theoretischen Simulationen, die auf den Resultaten quantenmechanischer Berechnungen (der Nobelpreis von 1998) der Spektren und Energien für die Moleküle in ihren verschiedenen Zuständen gründen.

Die ersten Versuche

In seinem ersten Versuch untersuchte Zewail den Zerfall von Jodcyanid: $\text{ICN} \rightarrow \text{I} + \text{CN}$. Der Forschungsgruppe gelang es, den Übergangszustand genau in dem Augenblick zu beobachten, als die I-C-Verbindung im Begriffe war zu zerbrechen; die Reaktion lief in insgesamt 200 Femtosekunden ab.

In einem anderen wichtigen Experiment untersuchte Zewail die Spaltung von Natriumjodid (NaI): $\text{NaI} \rightarrow \text{Na} + \text{I}$. Der Pump-puls erhöht das Energieniveau des Ionenpaars $\text{Na} + \text{I}^-$, bei dem der Gleichgewichtsabstand 2.8 \AA zwischen den Atomkernen besteht (Abb. 1), zu einer aktivierten Form $[\text{NaI}]^*$, die dann eine kovalente Bindung erhält. Indessen veränderten sich die Eigenschaften, wenn das Molekül schwingt; liegen die Atomkerne in ihren äußersten Wendelagen 10^{-15} \AA auseinander, so ist die Elektronenstruktur ionisch, während sie also bei kurzem Abstand kovalent ist. An einem bestimmten Punkt während des Schwingungszyklus, wenn die Atomkerne gerade $6,9 \text{ \AA}$ voneinander entfernt sind, ist die Wahrscheinlichkeit groß, daß die Moleküle entweder in ihren Grundzustand zurückfallen oder in Natrium- und Jod-Atome zerfallen.

tiven Ladungen haben zur Folge, daß Benzol und das nächste Jodatome sich gegenseitig schnell anziehen. Die Bindung zwischen den beiden Jodatomen dehnt sich aus, wenn eins der beiden vom Benzol angezogen wird; das eine Atom löst sich dann und fliegt weg. All das geschieht binnen 750 fs. Zewail entdeckte indessen, daß das nicht die einzige Art und Weise ist, wie einzelne Jodatome gebildet werden können: manchmal fällt das Elektron auf das Benzol zurück. Aber in dem Augenblick ist es für die Jodatome bereits zu spät: wie ein ausgehntes Gummiband, das zerreißt, zerbricht die Bindung zwischen den beiden Atomen, und sie fliegen beide in verschiedene Richtung.

Forschungsexplosion

Eine häufig untersuchte Modellreaktion im Bereich der organischen Chemie ist die Ringöffnung des Cyclobutans, um thylen zu erhalten, oder die Umkehrung: zwei thylenmolekle, die sich zu Cyclobutan vereinigen. Man kann sich denken, daß die Reaktion direkt über einen Übergangszustand mit einer einfachen Aktivierungsgrenze abläuft, wie es das Schema zur Linken in Abbildung 2 zeigt. Alternativ könnte dies auch durch ein Zweischnittsystem in der Weise geschehen, wie das Schema zur Rechten zeigt, indem zuerst eine Bindung zerbrochen und Tetrametylen als Zwischenprodukt gebildet wird. Tetrametylen wird seinerseits nach der Überwindung einer weiteren Aktivierungsgrenze in das endgültige Produkt verwandelt. Zewail und seine Mitarbeiter konnten mit Hilfe der Femtosekundenspektroskopie nachweisen, daß sich das Zwischenprodukt in der Tat bildete und daß es eine Lebenslnge von 700 fs hatte.

Abb. 1: Potentialenergiekurven, die den ursprünglichen Zustand sowie den Zustand mit einem erhöhten Energieniveau für NaI zeigen. Die obere Kurve zeigt die Molekülschwingungen des NaI bei erhöhtem Energieniveau. Wenn der Abstand zwischen dem Natrium-Kern und dem Jod-Kern kurz ist, dominiert die kovalente Bindung, während die Ionen-Bindung bei längerer Entfernung vorherrscht. Die Schwingungen können mit einer Kugel verglichen werden, die in einer Schale hinundherrollt. Wenn der Punkt 6,9 Å überschritten wird, besteht die Chance, daß die Kugel zur unteren Kurve hinunterfllt. Dort kann sie in der Grube links (zurück zum Grundzustand) landen oder nach rechts hinausfliegen, d.h. in Natrium- und Jodatome zerfallen.

Zewail untersuchte auch die Reaktion zwischen Wasserstoff und Kohlendioxid:

$H + CO_2 \rightarrow CO + OH$ eine Reaktion, die in der Atmosphäre und bei Verbrennung geschieht. Er wies nach, daß die Reaktion über einen relativ langlebigen Zustand HOCO (1000 fs) abläuft.

Die Frage, warum bestimmte chemische Verbindungen reaktionsfreudiger sind als andere und was geschieht, wenn man zwei gleichartige Verbindungen in einem Molekül hat (werden sie gleichzeitig zerbrechen oder jeweils eine nach der anderen), hat viele Chemiker beschäftigt. Um eine Antwort auf diese Art von Fragen zu erhalten, untersuchten Zewail und seine Mitarbeiter den Zerfall von Tetrafluordijodmethan ($C_2I_2F_4$), in Tetrafluoräthylen (C_2F_4) und zwei Jodatome (I):

Sie entdeckten, daß die beiden C-I-Verbindungen jeweils eine nach der anderen zerbrochen wurden, obwohl sie im ursprünglichen Molekül gleichwertig waren.

Forschung ist vor allem dann interessant, wenn die Resultate unerwartet sind. Zewail untersuchte die, wie man meinen kann, einfache Reaktion zwischen Benzol, einem Ring mit sechs Kohlenatomen (C_6H_6), und Jod (I_2), einem Molekül, das aus zwei Jodatomen besteht. Wenn die beiden Moleküle einander nahe genug kommen, bilden sie einen Komplex. Durch den Laserblitz wird erreicht, daß ein Elektron vom Benzol in das Jodmolekl geschossen wird, das dadurch negativ, das Benzol dagegen positiv geladen wird. Die negativen und posi-

Abb. 2: Wie verläuft eigentlich die Reaktion vom Molekül Cyclobutan zu zwei thylenmoleklen? Die Figur oben zeigt, wie die Lagenenergie variiert, wenn die beiden Bindungen gestreckt werden und zerbrechen. Die Figur unten zeigt den gleichen Prozeß, wenn eine Bindung nach der anderen zerbrochen wird.

Eine andere Art der Reaktion, die mit Hilfe der Femtosekundentechnik untersucht werden kann, ist die durch Licht verursachte Umwandlung eines Moleküls von einer Struktur zu einer anderen, die sogenannte Fotoisomerisierung. Die Umwandlung des Moleküls Stilben, das u.a. aus zwei Benzolringen besteht, zwischen den Formen Cis und Trans wurde von Zewail

der Welt in Händen setzt nur die Phantasie Grenzen für neue Probleme, die es anzugreifen gilt.

Lesetips

"Extended version in English" by Professor Bengt Nordén

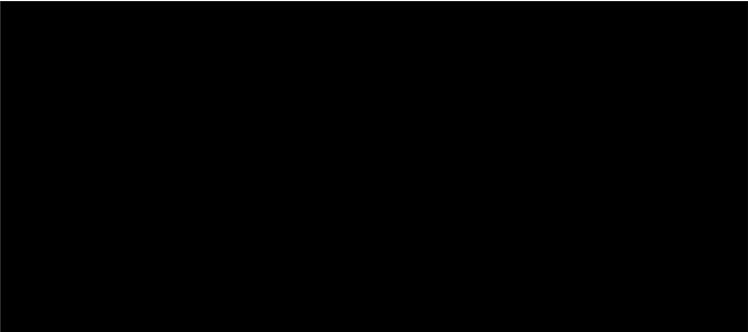
M.A. El-Sayed, I. Tanaka und Y. Molin *"Ultrafast Processes in Chemistry and Photobiology"* Blackwell Science 1995 306 pp, ISBN 0-86542-893-X.

S. Pedersen, J.L. Herek und A.H. Zewail *"The Validity of the Diradical Hypothesis: Direct Femtosecond Studies of the Transition-State Structures"*. Science Vol 266 (1994) 1359-1364.

A.H. Zewail *"The Birth of Molecules"* Scientific American December 1990 p 40-46.

V.K. Jain *"The World's Fastest Camera"* The World and I, October 1995 p 156-163.

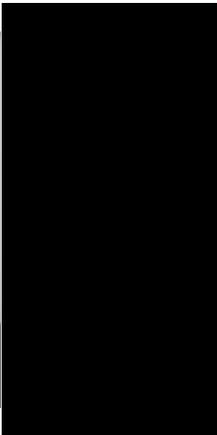
Nobel Symposium: Femtochemistry & Femtobiology: Ultrafast Reaction Dynamics at Atomic-Scale Resolution (Editor: V. Sundström) World Scientific, Singapore 1996.



Sie zogen die Schlußfolgerung, daß sich die beiden Benzolringe während des Prozesses zueinander synchron drehen. In jüngster Zeit hat man ein ähnliches Verhalten auch bei dem Molekül Retinal beobachtet, dem Farbstoff in Rodopsin, dem Pigment in den Augenstäbchen. Der grundlegende fotochemische Schritt für unsere Wahrnehmung des Lichts ist die Cis-Trans-Verwandlung um eine Doppelbindung in Retinal. Mit Hilfe der Femtosekundenspektroskopie haben andere Forscher entdeckt, daß der Prozeß in 200 fs abläuft und daß eine gewisse Schwingung beim Reaktionsprozeß bestehenbleibt. Die Geschwindigkeit der Reaktion deutet darauf hin, daß die Energie des absorbierten Photons zuerst nicht umverteilt wird, sondern direkt zur aktuellen Doppelbindung lokalisiert wird. Dies würde den hohen Wirkungsgrad (70%) der Umwandlung und damit die gute Nachtsehfähigkeit des Auges erklären. Ein weiteres, biologisch wichtiges Beispiel für die Erklärung effektiver Energieumwandlung durch die Femtochemie gilt für die Chlorophyllmoleküle, die in der Fotosynthese das Licht einfangen.

Studien im Femtosekundenbereich werden rundum in der Welt betrieben, nicht nur an Molekülstrahlen, sondern auch an Prozessen auf Oberflächen, so zum Beispiel um Katalysatoren zu verstehen und zu verbessern, in Flüssigkeiten und Lösungsmitteln, um hier die Mechanismen der Lösung von Stoffen und chemische Reaktionen zwischen ihnen in einer Lösung zu verstehen, sowie bei Polymeren, um zum Beispiel neues Elektronikmaterial zu entwickeln. Kenntnisse der chemischen Reaktionsmechanismen sind ebenfalls wichtig, um Reaktionen zu steuern. Oft folgt auf eine gewünschte chemische Reaktion eine Reihe unvorhergesehener, konkurrierender Reaktionen, die zu einer Mischung von Produkten führt und damit zu einem Bedarf an Trennung und Reinigung. Wenn man dagegen die Reaktion dadurch kontrollieren kann, daß man Reaktivität in ausgewählten Verbindungen in Gang bringen kann, könnte man auch dies vermeiden.

Die Femtochemie hat unsere Sicht auf chemische Reaktionen grundlegend verändert. Mit Ausgangspunkt in einem Prozeß, der mit relativ dunklen Metaphoren wie "Aktivierung" und "Übergangszustand" beschrieben wurde, können wir heute die Bewegungen der individuellen Atome so sehen, wie wir sie uns vorstellen. Sie sind nicht länger unsichtbar. Das ist der Grund dafür, daß die Forschung im Bereich der Femtochemie, für die der diesjährige Preisträger den Anstoß gab, eine explosive Entwicklung genommen hat. Mit der schnellsten Kamera



Ahmed H. Zewail wurde 1946 in Ägypten geboren, wo er auch aufwuchs. Er begann seine Studien an der Universität von Alexandria und studierte danach in den USA. 1974 promovierte er an der University of Pennsylvania. Nach zwei Jahren an der University of California in Berkeley erhielt er eine Anstellung am California Institute of Technology, wo er seit 1990 die Linus Pauling-Professur in physikalischer Chemie inne hat. Zewail ist ägyptischer und amerikanischer Staatsangehöriger.

Nobelpreis in Physiologie

Die Nobelversammlung am Karolinischen Institut hat heute beschlossen, den Nobelpreis des Jahres 1999 in Physiologie oder Medizin Günter Blobel für die Entdeckung "Proteine haben eingebaute Signale, die ihren Transport und die Lokalisierung in der Zelle steuern" zu verleihen.

Zusammenfassung

In unseren Zellen bilden sich ständig zahlreiche lebenswichtige Proteine, die aus der Zelle oder zu den verschiedenen Bestandteilen der Zelle, den Organellen, transportiert werden müssen. Wie können die neugebildeten Proteine in die Umhüllungen der Organellen, die Membranen, dringen, und wie werden sie an den richtigen Platz in der Zelle dirigiert?

Diese Fragen hat der diesjährige Nobelpreisträger in Physiologie oder Medizin, Günter Blobel, beantwortet, der Zell- und Molekularbiologe an der Rockefeller Universität in New York

ist. Bereits Anfang der Siebziger Jahre entdeckte er, daß neu-gebildete Proteine ein eingebautes Signal haben, das entscheidend für ihre Steuerung zu und dem Durchdringen der Membrane des sogenannten endoplasmatischen Netzwerkes ist. In den zwanzig darauf folgenden Jahren hat er dann im Detail die molekularen Mechanismen dieser Prozesse dargelegt. Er hat auch gezeigt, daß ähnliche "Adresszettel" die Proteine zu den übrigen Organellen der Zelle dirigieren.

Die Prinzipien, die Günter Blobel entdeckt und beschrieben hat, haben sich als allgemeingültig erwiesen und funktionieren auf die gleiche Weise in Hefe-, Pflanzen- und Tierzellen. Mehrere erbliche Krankheiten bei Menschen werden verursacht, wenn diese Signale und die Transportmechanismen nicht normal funktionieren. G. Blobels wissenschaftliche Erkenntnisse haben auch dazu beigetragen, daß man Zellen als "Proteinfabriken" effektiver verwenden kann, um wichtige Arzneimittel zu produzieren.

Viele wichtige Funktionen

Ein erwachsener Mensch besteht aus ungefähr 100.000 Milliarden Zellen. Die Zellen sind aus verschiedenen Bestandteilen, den Organellen, zusammengesetzt, die von Hüllen, den Membranen, umgeben sind. Die Organellen sind auf die Ausführung bestimmter Aufgaben spezialisiert. Einige Beispiele dafür sind der Zellkern, der Erbmaterie enthält und von dort aus die Funktionen der Zelle steuert, die Mitochondrien sind das "Kraftwerk" der Zellen, das Energie produziert, und das endoplasmatische Netzwerk ist zusammen mit den Ribosomen für die Produktion von Proteinen verantwortlich.

Jede Zelle enthält ungefähr eine Milliarde Proteine. Die verschiedenen Proteine haben eine Vielzahl von wichtigen Aufgaben, die sie an den verschiedenen Plätzen in der Zelle ausführen. Einige sind beispielsweise das Baumaterial für das Skelett der Zelle, während andere als Enzyme dienen und an bestimmten chemischen Reaktionen beteiligt sind. In den Zellen erfolgen ständig Abbau und Neubildung von Proteinen. Die Bausteine der Proteine sind Aminosäuren. Ein Protein kann aus fünfzig bis zu mehreren tausend Aminosäuren bestehen, die zu langen gefalteten Ketten zusammengefügt sind.

Wie können die Barrieren durchdrungen werden?

Daher ist es lange ein Rätsel gewesen, wie große Proteine die Barrieren durchdringen konnten, die aus den fetthaltigen, dichten Membranen der Organellen bestehen. Vor einigen Jahrzehnten wußte niemand, wie die neugebildeten Proteine an ihren richtigen Platz in der Zelle dirigiert werden, um dort ihre Aufgaben auszuführen.

Günter Blobel konnte diese beiden Rätsel lösen. Ende der Sechzigerjahre schloß er sich an George Palades berühmtes zellbiologisches Laboratorium am Rockefellerinstitut in New York an. Hier hatten Forscher schon einige Jahrzehnte den Aufbau der Zelle und die Prinzipien, wie die neugebildeten Proteine aus den Zellen transportiert werden, studiert. Für diese Arbeit wurde George Palades im Jahr 1974 mit dem Nobelpreis für Physiologie oder Medizin ausgezeichnet. (Er teilte den Preis mit den belgischen Forschern Albert Claude und Christian de Duve.)

"Die Signalthypothese"

Die Forschung Günter Blobels baute auf der Tradition auf, die in Palades Laboratorium entwickelt worden war. Er studierte speziell, wie ein neugebildetes Protein, das aus der Zelle transportiert werden soll, zu einem besonderen Membransystem, dem sogenannten endoplasmatischen Netzwerk, gesteuert wird. Im Jahr 1971 formulierte er eine erste Version der sogenannten Signalthypothese, in der er sagte, daß Proteine, die aus der Zelle ausgeschieden werden sollen, ein eingebautes Signal enthalten, das sie zu und durch die Membrane dirigiert.

In eleganten biochemischen Versuchen zeigte G. Blobel im Jahr 1975 die verschiedenen Schritte dieses Prozesses auf. Das eigentliche Signal besteht aus einer Anzahl von Aminosäuren in einer bestimmten Reihenfolge, die einen Teil des Proteins darstellen. Er war auch der Ansicht, daß das Protein die Membrane des endoplasmatischen Netzwerkes durch einen Kanal (Abb. 1) passiert. In den folgenden zwanzig Jahren untersuchten G. Blobel und seine Mitarbeiter schrittweise die molekularen Details dieser Prozesse. Allmählich konnte man sowohl die Richtigkeit der Signalthypothese als auch deren Allgemeingültigkeit beweisen; diese Prozesse funktionieren nämlich gleich bei Hefe- und auch bei Pflanzen- und Tierzellen.

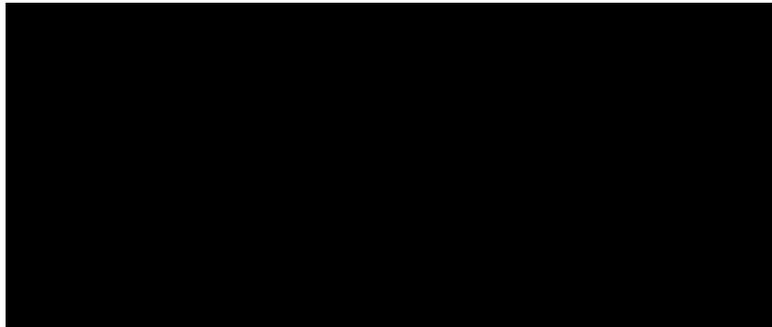


Abb. 1: "Die Signalthypothese". Proteine, die aus den Zellen exportiert werden sollen, werden von Ribosomen gebildet, die auf dem endoplasmatischen Netzwerk angesiedelt sind. Die genetische Information der Erbmaterie (DNA) wird auf den Boten-RNA (mRNA) übertragen, der dann die Zusammenfügung der Proteinbausteine, der Aminosäuren, steuert. Zuerst wird ein sogenanntes Signalpeptid gebildet, das ein Teil des Proteins ist. Dieses Signalpeptid steuert mit Hilfe von Bindeproteinen Ribosomen zu einem Kanal in der Membrane des endoplasmatischen Netzwerkes. Die wachsende Proteinkette dringt danach durch den Kanal ein. Das Signalpeptid wird abgespalten und das fertige Protein in dem endoplasmatischen Netzwerk freigesetzt. Dann wird das Protein aus der Zelle hinaus transportiert.

"Adresszettel" an die Organellen

Dann konnte Günter Blobel in Zusammenarbeit mit anderen Forschergruppen bald beweisen, daß ähnliche eingebaute Signale den Transport von Proteinen auch zu anderen Organellen steuern. Auf Grund seiner Arbeiten formulierte Günter Blobel im Jahr 1980 ein generelles Prinzip, demzufolge Proteine eingebaute sogenannte topogene Signale enthalten, die die Proteine an den richtigen Platz in der Zelle steuern und auch dafür Sorge tragen, daß sie auf die richtige Art und Weise in die verschiedenen Membranen eingebaut werden. Daß seine Prinzipien richtig waren, ist überzeugend bewiesen worden. Heute kennt man eine Reihe von solchen Signalen, die die Proteine zu den verschiedenen Teilen der Zelle (Abb. 2) dirigieren. Die Signale kann man mit Adresszetteln vergleichen, die es ermöglichen, daß das Gepäck eines Flugreisenden an den rich-

tigen Ankunftsort gelangt, oder daß ein Brief den richtigen Empfänger erreicht. Tatsächlich bestehen diese sogenannten Signalsequenzen aus verschiedenen Kombinationen von Aminosäuren, die wie ein "Schwanz" am Ende eines Proteins sitzen, manchmal weiter drinnen in dem Protein.

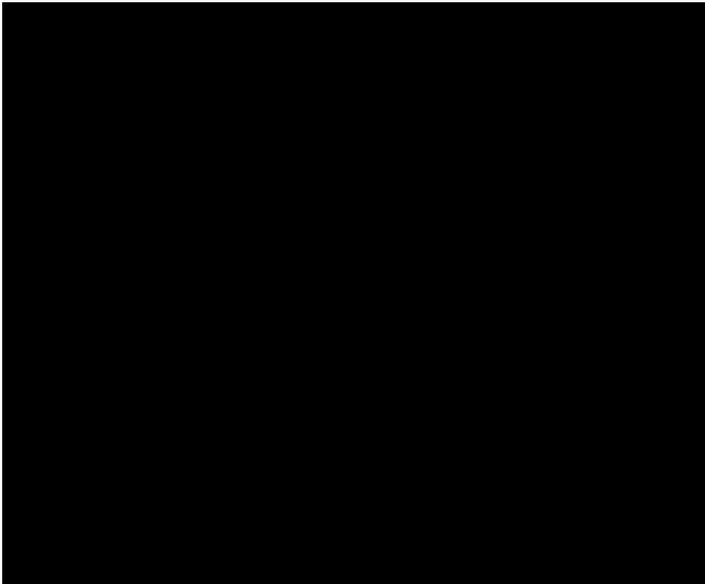


Bild 2. Beispiel für zielgerichteten Transport mit Hilfe von sog. topogenen Signalen. Das Bild zeigt schematisch eine Zelle mit einigen ihrer Bestandteile, den Organellen. (Chloroplast ist eine Organelle, die in Pflanzenzellen vorkommt, aber nicht in Tierzellen.) Die Organellen haben eine spezielle Funktion und sind von Hüllen umgeben, den Membranen. Neugebildete Proteine werden mit besonderen "Adresszetteln", sog. Signalsequenzen, versehen, die bewirken, daß die Proteine an den richtigen Platz in der Zelle dirigiert werden und auch die Membranen der Organellen durchdringen können. Die eigentliche Signalsequenz besteht aus einer gewissen Anzahl von Aminosäuren, meistens an dem einen Ende eines Proteins.

Die Bedeutung von Günter Blobels Entdeckung

Günter Blobels Entdeckung ist von großer Bedeutung für die moderne Forschung auf dem Gebiet der Zellbiologie. Wenn sich eine Zelle teilt, müssen zahlreiche neue Proteine produziert und neue Organellen gebildet werden. Eine korrekte Lokalisierung der Proteine der Zelle ist Voraussetzung für den Aufbau und die richtige Funktion der Zelle. Blobels Forschungserkenntnisse haben wesentlich zum Verständnis des molekularen Mechanismus dieser Prozesse beigetragen. Die Kenntnisse der sog. topogenen Signale haben auch das Verständnis für eine Reihe medizinisch bedeutungsvoller Mechanismen gefördert. Unser Immunsystem beruht beispielsweise in hohem Grad auf topogenen Signalen, u.a. bei der Produktion von Antikörpern.

Günter Blobels Forschung hat auch den molekularen Mechanismus bei der Entstehung einer Reihe von erblichen Krankheiten erklären können. Ist ein Sortierungssignal in einem Protein verändert, kann das dazu führen, daß sich das Protein an dem verkehrten Platz in der Zelle ansiedelt. Ein Beispiel dafür ist die Erbkrankheit primäre Hyperoxalurie, die u.a. schon in jungen Jahren zu Nierensteinen führt. Bestimmte erbliche Formen von stark erhöhtem Cholesterin im Blut sind auch auf fehlerhafte Transportsignale zurückzuführen. Andere erbliche Krankheiten, z.B. zystische Fibrose, werden dadurch verursacht, daß die Proteine nicht an ihren richtigen Bestimmungsort gelangen.

Zukünftige Anwendungen

In naher Zukunft werden alle Proteine des Menschen im Detail bekannt werden. Die Kenntnis der topogenen Signale wird dann eine noch größere Bedeutung bekommen. Die meisten Proteine enthalten nämlich ein oder mehrere topogene Signale. Dieses Wissen wird das Verständnis für krankhafte Prozesse fördern und kann für die Entwicklung neuer Behandlungsmethoden angewandt werden. Bereits heute werden Arzneimittel in Form von Proteinen hergestellt, z.B. Insulin, Wachstumshormon, Erythropoetin und Interferon. Normalerweise werden dabei Bakterien verwendet, aber damit gewisse menschliche Proteine funktionieren können, müssen sie in komplexeren Zellen, z. B. Hefezellen, produziert werden. Mit Gentechnologie werden die Gene für die gewünschten Proteine mit DNA-Sequenzen versehen, die die Transportsignale bestimmen. Zellen, denen die veränderten Gene zugeführt wurden, können dann effektiv als Proteinfabrik genutzt werden. Größeres Wissen darüber, wie die Proteine zu verschiedenen Teilen der Zelle dirigiert werden, ermöglichen auch die Konstruktion neuer Arzneimittel, die sich an einen gewissen Typ der Organellen richten mit dem Zweck, verschiedene Defekte zu korrigieren. Zellen auf diese besondere Art umbauen zu können, wird für die zukünftige Zell- und Gentherapie wichtig sein.

Günter Blobel, geboren am 21. Mai 1936 in Waltersdorf (Deutschland) studierte er an der Universität Tübingen Medizin (Abschluß 1960) und erwarb ein Doktorat aus Onkologie im Jahr 1967 an der Universität von Wisconsin in Madison, USA. Als junger Forscher ging er dann an die Rockefeller Universität

in New York, um am Laboratorium für Zellbiologie bei Philip Siekevitz und George Palade (Nobelpreis 1974 für Beiträge zur Aufklärung von Struktur und Funktion der Zellen) zu arbeiten. Seine Karriere war steil, bereits 1976 war er ordentlicher Professor und 1992 bekam er den J.D. Rockefeller-Lehrstuhl. Zahlreiche bedeutende Auszeichnungen ab 1978 bezeugen die allgemeine Anerkennung seiner Forschungen, so erhielt er 1983 die Warburgmedaille der Deutschen Biochemischen Gesellschaft. Er ist Mitglied mehrerer wissenschaftlicher Akademien.

Seine Verbundenheit mit dem alten Europa drückt sich nicht nur in einem Zweitwohnsitz in Piemont aus, sondern durch seinen Einsatz als Gründer eines Vereins Friends of Dresden, der die Wiederherstellung von Dresdens Architektur und Kunsterbe unterstützt.

Warum nicht mal numerisch?

Computergestützte Modellbildung erschließt interessante Phänomene für den Physikunterricht

Horst Schecker

1. Werkzeuge für numerische Modellierungen

Computergestützte Modellbildung im Physikunterricht ist ein zartes, sich langsam entwickelndes Pflänzchen. Seit dem Aufkommen erschwinglicher Personalcomputer in den achtziger Jahren gibt es eine begrenzte Gruppe von Kolleginnen und Kollegen, die den Rechner als Werkzeug für numerische Simulationen einsetzen. Zunächst wurden einfache Simulationsprogramme mit Programmiersprachen wie BASIC entworfen. Dann wurde entdeckt, dass man mit Tabellenkalkulationsprogrammen nicht nur Messdaten auswerten, sondern auch recht übersichtlich iterative Berechnungen durchführen kann. Dies führte zu "Spreadsheet Physics" (z.B. Misner 1991, s. Beispiel in Abb. 1). Ein weiterer Schritt waren spezielle Entwicklungsumgebungen für numerische Simulationen mit einer gegenüber Programmiersprachen vereinfachten Syntax. Bei diesen gleichungsorientierten Modellbildungssystemen (z.B. Mobius) braucht der Nutzer nur noch die wenigen physikalisch relevanten Gleichungen einzusetzen und ist von der Formulierung numerischer Lösungsverfahren und der Grafik-/Tabellenausgabe entlastet. Es kommt aber entscheidend auf die Reihenfolge der Modellgleichungen an.

t/s	x/m	a/(m/s ²)	v/(m/s)
0,0	1,000	-1,000	-0,050
0,1	0,995	-0,995	-0,150
3,4	-0,966	0,966	0,305
3,5	-0,936	0,936	0,399

Abb. 1: Excel-Tabelle zur Berechnung der harmonischen Schwingung (nach Feynman, R. P., Leighton, R. B. & Sands, M.: *The Feynman Lectures on Physics, Vol.1, 9-5*).

Aus der Systemdynamik (s. dazu Ossimitz 1990) stammt eine alternative Vorgehensweise, bei der man das physikalische Modell zunächst in Form eines Begriffsnetzes grafisch formuliert (s. Abb. 2). Die verwendeten Begriffe werden als Icons auf den Bildschirm gelegt und mit Pfeilen verbunden. Die Pfeile stehen für funktionale oder iterative Beziehungen. Erst dann werden Funktionen und Konstanten eingegeben. Aus dem Begriffsnetz und den Funktionen entwickeln grafikorientierte Modellbildungssysteme (z.B. Stella und Powersim) automatisch die Simulationsgleichungen.

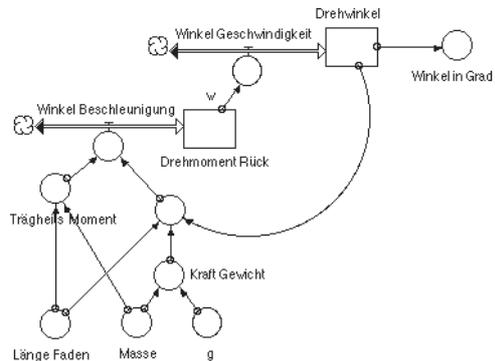


Abb. 2: Grafische Modellstruktur zur Beschreibung der Schwingung eines Fadenpendels (erstellt mit dem Modellbildungsprogramm STELLA; nach Schecker, H.: *Physik modellieren*. Stuttgart: Klett 1998, S. 147).

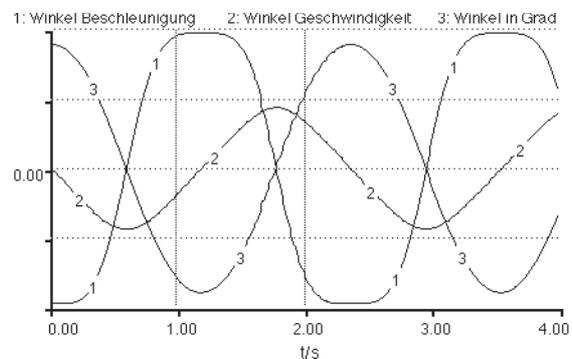


Abb. 3: Simulationsergebnis des Modells bzw. einer entsprechenden Excel-Tabelle: Schwingung eines Fadenpendels mit großer Amplitude (90 Grad) $l = 1 \text{ m}$, $m = 0,1 \text{ kg}$: Der Schwingungsverlauf ist nicht mehr harmonisch.

Eine Weiterentwicklung gegenüber konventionellen gleichungsorientierten Entwicklungsumgebungen sind Modellbildungsprogramme, bei denen man statt mit Iterationsgleichungen bzw. Differenzenquotienten direkt mit Differentialgleichungen arbeitet. Die Formulierung des Modells entspricht einem geschlossenen analytischen Ansatz. Intern wird jedoch weiterhin mit numerischen Verfahren gearbeitet. Die Reihenfolge, in der die Gleichungen aufgeschrieben werden, spielt aber keine Rolle mehr. Das Programm bringt sie aufgrund einer der automatischen Unterscheidung von Differentialgleichungen und Funktionen in eine zwingende Reihenfolge. Schließlich sind noch die Computeralgebrasysteme zu nennen, die sich ebenfalls für physikalische Modellierungen eignen.

2. Gleichungsorientiert oder grafikorientiert?

Allen Systemen ist gemeinsam, dass sie die mathematischen Schwierigkeiten reduzieren oder umgehen, die geschlossenen Lösungen anhaften. In einer Zeit, in der die traditionelle Zusammenarbeit zwischen den Fächern Mathematik und Physik aus organisatorischen Gründen nicht mehr möglich ist (und gleichzeitig Mathematiker nicht mehr reflektieren, dass über lange Zeit die Entwicklung ihrer Wissenschaft wesentlich durch Bedürfnisse der Physik gesteuert wurde), können Modellbildungssysteme damit Probleme abbauen, die aus mathematischen Anforderungen im Physikunterricht erwachsen.

Dr. Horst Schecker ist Privatdozent am Institut für Didaktik der Physik der Universität Bremen, Postfach 330440, D-28334 Bremen.
e-mail: hschecker@physik.uni-bremen.de
<http://www.physik.uni-bremen.de/physics.education/>

Der Vorteil von grafik- und differenzialgleichungsorientierten Programmen liegt darin, dass der Nutzer sich vollständig auf die in das Modell eingehenden physikalischen Annahmen konzentrieren kann ohne sich mit numerischen Problemen oder der Reihenfolge von Iterationsgleichungen befassen zu müssen. Gerade für komplexere Sachverhalte erhöht sich die Übersichtlichkeit. Allerdings muss man bei grafikorientierten Programmen eine neue Symbolsprache erlernen, die für sehr viele dynamische Vorgänge in Physik, Ökonomie, Ökologie usw. anwendbar ist. Die Einarbeitung ist gerechtfertigt, wenn im Physikunterricht der Oberstufe in mehreren Halbjahren grafikorientierte Modellbildung eingesetzt wird. Es ist außerdem sehr sinnvoll, damit auch in Fächern wie Biologie (Räuber-Beute-Systeme, Öko-Systeme) oder Chemie (Reaktionskinetik) zu arbeiten. Eine umfassende Einführung in *grafikorientierte Modellbildung* mit zahlreichen Beispielen aus der Oberstufenphysik ist in Schecker (1998) erschienen.

Im vorliegenden Aufsatz arbeite ich primär mit dem Programm *Modellus*, dem aus meiner Sicht besten gleichungsorientierten Modellbildungsprogramm. Die Formulierung des Modells mit Differentialgleichungen ist, zumindest dem Lehrer, vertrauter als bei grafikorientierten Programmen, weil die Symbolsprache der Systemdynamik entfällt. Dafür gibt es auch keine Möglichkeit, die physikalischen Größen und ihre Zusammenhänge in einem Begriffsnetz zu visualisieren. Optimal wäre ein Programm, bei dem wahlweise der grafikorientierte und der gleichungsorientierte Modus eingestellt werden kann und bei dem auch eine Umwandlung in die jeweils andere Modelldarstellung automatisch erfolgt. Leider gibt es solche Modellbildungsprogramme bisher noch nicht.

3. Wer ist der "Nutzer"?

Wer ist eigentlich gemeint, wenn oben von "man" der "der Nutzer" die Rede ist? Am Beginn waren das die computerbegeisterten Lehrer, die zuhause mit großem Engagement eigene Programme schrieben und diese dann ihren Schülern begeistert vorstellten. Dann wurde an Arbeitsgemeinschaften gedacht, in denen besonders interessierte Schüler (meistens Jungen) am Nachmittag vor dem Computer brüteten. Einen wirklichen Durchbruch gibt es aber erst, wenn die Schüler im "normalen" Unterricht interaktiv am Computer physikalische Probleme bearbeiten, die aus dem Unterrichtsverlauf erwachsen und in die sonstigen experimentellen und theoretischen Arbeiten eingebunden sind. Es ist ein entscheidender Unterschied, ob Schüler lediglich bei einem fertig gelieferten Simulationsprogramm Parameter variieren und per Tastendruck Bahnkurven geliefert bekommen, oder ob sie zunächst eigenständig alle physikalischen Annahmen überlegen und eingeben und ausprobieren müssen, bevor sie in einem zweiten Schritt mit "ihrem" Programm Simulationsläufe fahren. Die Phase der Modellbildung ist für die Vertiefung und Anwendung physikalischen Wissens wichtiger als die Simulation.

4. Einstieg in numerische Verfahren

Für den Einstieg in numerische Simulationen bietet sich die Federschwingung an. Zunächst ohne Computer, aber mit Hilfe von Taschenrechnern, wird ein Rechenformular erstellt. Die wesentliche gedankliche Arbeit, nämlich die Umsetzung eines Problems in eine Tabelle, kann von allen ohne Computer mit

Papier und Bleistift erledigt werden. Auch erste Rechnungen, um die Ergebnisse andeutungsweise zu prüfen, können von Hand erledigt werden. Damit ist es auch möglich, diese Arbeitstechnik in Klassenarbeiten zu verwenden. Dass die Aufgabe, Rechnungen 50-mal zu wiederholen, zunächst ohne Begeisterung aufgenommen wird, kann nicht verwundern. Groß ist dann die Überraschung über die Rechenergebnisse: Man kann einen physikalischen Vorgang eigenständig "per Hand" simulieren. Das Rechenblatt wird dann in ein Tabellenkalkulationsprogramm übertragen. Nachdem das erste Problem in einfacher Form bearbeitet wurde, ist die Verfeinerung - zunächst Einführung von Gerätekonstanten, um Rechnung und Experiment vergleichen zu können - ebenso möglich, wie die Erweiterung, beispielsweise zur Behandlung des Fadenpendels. Damit ist der erste Schritt in Richtung der Bearbeitung von Problemstellungen gemacht, die der Schulmathematik geschlossen nicht zugänglich sind. Genannt seien Einschwingvorgänge und chaotische Bewegungen.

Die tabellarische Berechnung mit Spreadsheets wie Excel ist ein guter Einstieg in numerische Herangehensweisen, wenn man später mit spezieller Modellbildungssoftware arbeitet. Die Schüler erfahren daran, wie ein solches Programm intern rechnet. Es ist eine wichtige "vertrauensbildende Maßnahme", wenn das Modellbildungsprogramm zum gleichen Ergebnis kommt wie die eigene Excel-Tabelle.

Alle Modellbildungsverfahren basieren auf numerischen mathematischen Methoden. Die Zuverlässigkeit der Resultate muss daher stets überprüft werden. Drei Methoden haben sich als sinnvoll erwiesen: Verkürzung der Zeitintervalle, um zu überprüfen, ob die Ergebnisse stabil bleiben; Untersuchung einer Erhaltungsgröße, z. B. Energie bei der harmonischen Schwingung; Vergleich mit experimentellen Resultaten. Das letztere Verfahren sollte im Physikunterricht die Hauptrolle spielen - möglichst mit eigenen experimentellen Untersuchungen, aber auch mit Daten aus der Literatur.

Für den Übergang zur Nutzung spezieller Modellbildungsprogramme bietet sich besonders die Mechanik an. Hier können - wie auch mit Tabellenkalkulation - interessante Phänomene auch quantitativ behandelt werden, die sonst aus mathematischen Gründen entfallen. Dazu zählen Fragen wie "Welches ist für einen Kugelstoßer der optimale Abstoßwinkel?" ($\alpha < 45$ Grad) oder "Welche Kräfte wirken auf einen Springer während der Öffnung seines Fallschirms?". Am Beginn sollten einfache Beispiele aus der Kinematik stehen, die zur Kontrolle auch geschlossen gelöst werden. Nach unseren Erfahrungen müssen Schüler zwei bis drei einführende Modelle nachbauen, bevor sie in Gruppen eigene Modelle entwerfen können. Dabei müssen die Fragestellungen so gewählt werden, dass einerseits einfache Antworten möglich sind und diese Modelle andererseits Ansatzpunkte für Erweiterungen durch leistungsstarke Schüler bieten. Das folgende Beispiele soll dies an der Modellierung des Fallschirmspringens veranschaulichen.

5. Modellierung des Fallschirmsprungs

Das Thema Fallschirmspringen hat den Reiz der sportlichen Herausforderung und des Risikos. Nach meinen Erfahrungen sind Schüler motiviert, auch seine physikalischen Aspekte zu betrachten. Als Einstieg kann ein kurzes Video dienen oder ein Zeitungsbericht. So fand ich z.B. einen Beitrag über einen Ab-

sprung aus einem Heißluftballon aus 3000 m Höhe, in dem über eine Freifall-Phase von 44 Sekunden für 2000 Meter berichtet wird (Weser-Kurier vom 8. 3. 1998). Darauf lässt sich ein Unterrichtsgespräch aufbauen, in das Schüler eigenes Wissen zum Thema ebenso einbringen können wie Abschätzungen über Fallgeschwindigkeiten, auftretende Beschleunigungen und besonders über die Geschwindigkeit bei der Landung einbringen können.

Als physikalisches Wissen ist die Kinematik mit den Definitionen von Geschwindigkeit und Beschleunigung voraussetzen sowie das dritte Newtonsche Axiom über den Zusammenhang zwischen Kraft und Beschleunigung. Numerische Modellbildung eignet sich besonders für die Anwendung und Vertiefung von Wissen. Schüler können damit Begriffe und Gesetze auf realistischere und interessantere Situationen anwenden, als auf die stark idealisierten Phänomene, an denen sie eingeführt wurden.

5.1 Erste Abschätzungen

Die zulässige Landegeschwindigkeit kann man grob abschätzen, wenn man sich fragt, wie hoch eine Mauer sein darf, von der man ohne Verletzungsgefahr hinunterspringen kann. Je nach körperlicher Fitness sind zwei bis drei Meter Höhe ein realistisches Maß. Bei einer Mauer von etwa 2,5 m ergibt sich unter Berücksichtigung der Lage des Schwerpunkts des Körpers eine Fallstrecke h von ca. 3 m. Man winkelt die Beine bei der Landung etwas an, um die Kniegelenke nicht zu stark zu belasten. Fallschirmspringer rollen sich gegebenenfalls bei der Landung ab und verteilen die Aufprallverzögerung so auf einen größeren Zeitraum, so dass geringere Kräfte auftreten. Die - wie gesagt recht grobe - Abschätzung ergibt für die maximale Auftreffgeschwindigkeit:

$$v = \sqrt{2hg} \approx 8 \text{ m/s}$$

Das zu erstellende Modell sollte in seiner Vorhersage diesen Wert nicht überschreiten. Ein weiterer Maßstab, an dem die Simulation zu messen ist, sind die Angaben zur Dauer des freien Falls (2000 m in 44 s). Die mittlere Fallgeschwindigkeit liegt damit etwa bei 45 m/s. Die Reißleine wird in 1000 m Höhe gezogen.

Die folgenden Abbildungen stammen aus der Arbeit mit dem Programm Modellus. Als zentrale Gleichungen werden in das Modellfenster eingegeben:

$$\frac{dv}{dt} = a, \quad \frac{dh}{dt} = v, \quad a = \frac{F}{m}$$

Gleichungen des Typus "dy/dx = ..." werden von Modellus automatisch als Differenzialgleichungen erkannt. Damit sind die beiden wesentlichen Differentialquotienten eingeführt (ein dritter kommt später noch dazu, s.u.). Intern werden sie als Differenzenquotienten behandelt und nach dem Runge-Kutta-Verfahren 4. Ordnung numerisch gelöst.

5.2 Welche Kräfte wirken?

Die drei bisherigen Modellgleichungen bilden den Kern praktisch aller Kraft-Bewegungs-Modelle. Die wichtige Frage lautet dann, welche Kräfte auf den Körper - hier den Fallschirmspringer - einwirken. Dass die Gewichtskraft F_G eine Rolle spielt ist klar. Interessanter ist die Reibungskraft F_L , die von

der Luft auf den Springer (und seinen Schirm) ausgeübt wird. An dieser Stelle können Plausibilitätsüberlegungen weiterhelfen. Die Reibungskraft wird abhängen von:

- der Anströmgeschwindigkeit v (kennt man vom Gegenwind beim Fahrradfahren),
- der Fläche A , die von der Luft angeströmt wird (deshalb beugt man sich über den Lenker),
- der Form des angeströmten Körpers (aus der Automobilwerbung ist dafür das Stichwort " c_w -Wert" geläufig) und
- der Dichte D des Mediums, durch das der Springer fällt - also der Luftdichte (wird von Schülern als selbstverständlich vorausgesetzt und daher zunächst nicht genannt).

Wie man vor diesem Hintergrund zu der Gleichung

$$F_L = -\frac{1}{2}c_w \cdot A \cdot D \cdot v^2$$

kommt, kann man entweder ausführlich herleiten oder man teilt die Gleichung einfach mit. Das negative Vorzeichen berücksichtigt, dass die Reibungskraft entgegengesetzt zur Bewegungsrichtung wirkt. Damit hat das Modell- (Gleichungs-) Fenster das Aussehen in Abb. 4. Um die Richtung der Luftreibungskraft korrekt zu berücksichtigen, geht die Geschwindigkeit als v ein.

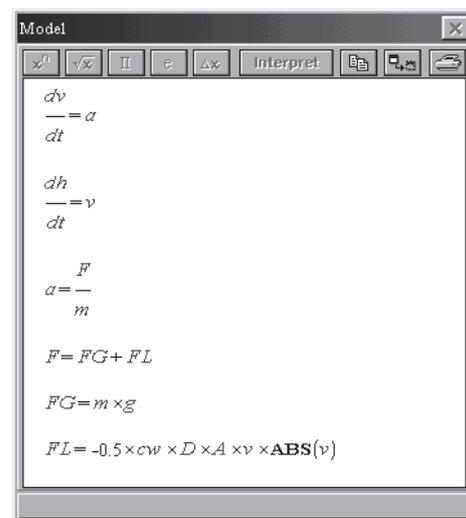


Abb. 4: Modell-Fenster bei Modellus.

Die Konstanten werden wie folgt abgeschätzt:

- Masse m des Springers mit Ausrüstung 100 kg
- Querschnittsfläche A vor der Öffnung des Fallschirms 1 m²
- Luftdichte 1,3 kg/m³

Am schwierigsten ist der c_w -Wert abzuschätzen. Es handelt sich um einen empirisch zu bestimmenden Faktor. Aus Tabellen lassen sich nur grobe Richtwerte ermitteln. Für eine Platte findet man z.B. Angaben von $c_w = 1,1$ bis $c_w = 2$. Es kommt auf das Verhältnis von Länge zu Breite und die Dicke der Platte an. Wir wählen als Wert 1. Dazu werden in einem gesonderten Fenster die Startparameter und die Konstanten festgelegt (s. Abb. 5). Die Startwerte für die iterativ zu berechnenden Größen v und h zum Zeitpunkt $t = 0$. Damit ist das Modell in einer ersten Fassung fertiggestellt (Parameter s. Abb. 5).

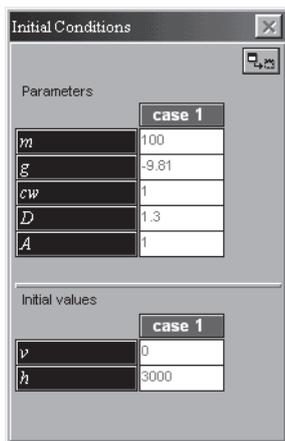


Abb. 5: Konstanten und Startwerte.

5.3 Erster Simulationslauf

Für einen Simulationslauf müssen die Zeitparameter festgelegt werden. Nach dem Zeitungsartikel liegt die Simulationsdauer bei einigen Minuten. Die Iterationsschrittweite sollte nicht größer als 0,1 s gewählt werden, da beim Öffnen des Schirms mit hohen Beschleunigungen zu rechnen ist, d.h. in kurzen Zeiträumen können sich drastische Effekte ergeben, die zeitlich fein aufgelöst werden müssen. Mit einer Simulationsdauer von 100s und $\Delta t = 0,1$ s ergibt sich die Vorhersage in Abb. 6.

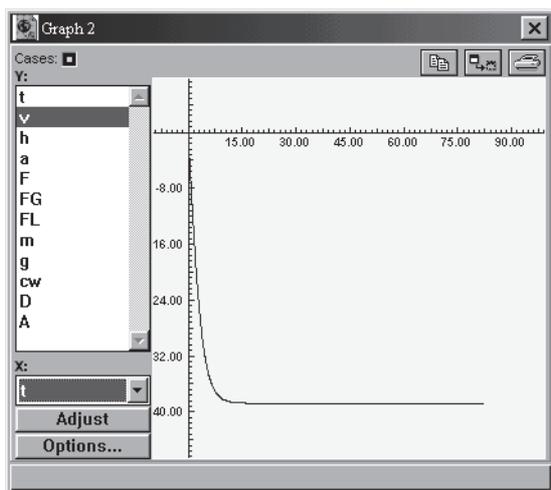


Abb. 6: Simulationsergebnis (Geschwindigkeit)

Man sieht, dass die Beschleunigungsphase nach dem Absprung bei etwa 15 s liegt. Es wird eine Fallgeschwindigkeit von knapp 40 m/s erreicht. Die Dauer der Phase des freien Falls bis auf eine Höhe von 1000 m liegt damit etwas über den oben genannten 44 s. Durch einen geringeren c_w -Wert oder eine geringere Querschnittsfläche ließe sich hier eine bessere Anpassung erreichen. Die Schüler sollen erkennen, dass eine Anpassung der Modellvorhersage an empirische Vergleichsdaten oftmals durch Variation der eingehenden Parameter zu erreichen ist, ohne das Modell in seiner physikalischen Struktur zu verändern. Allerdings muss der vorhergesagte Verlauf *qualitativ* korrekt sein.

5.4 Ausbau des Modells und neue Simulation

Im bisherigen Stand des Modells ist die Landung nicht berücksichtigt. Dafür muss sich der Fallschirm öffnen. Die einfachste Möglichkeit besteht darin, eine IF-Bedingung einzubauen:

```
IF(h>1000) THEN(A=1)
IF(h<=1000) THEN(A=40)
```

Der Wert von 40 m² ergibt sich aus einem abgeschätzten Schirmdurchmesser von 7 m. Für die Landegeschwindigkeit sagt das Modell in einem neuen Simulationslauf nun rund 6 m/s voraus - einen zulässigen Wert. Betrachten wir aber die Öffnung etwas genauer, so zeigt sich, dass - entfaltet sich der Schirm tatsächlich schlagartig von 1 auf 40 m² - in einem Zeittakt von z.B. 0,1s eine Geschwindigkeitsänderung von 34m/s auftritt, d.h. eine Beschleunigung von 340 m/s². Das ist entschieden zu hoch. Die Gurte des Schirms würden dem Springer in den Körper einschneiden. Um die Beschleunigung in Grenzen zu halten, muss sich der Schirm allmählich entfalten. Hier bietet sich eine interessante Aufgabenstellung für leistungsstärkere Schüler, wie man das ins Modell einbauen kann.

Eine elegante Lösung besteht darin, dem Schirm eine begrenzte Entfaltungsgeschwindigkeit $v_E = dA/dt$ zuzuordnen mit der Einheit "m²/s". Dazu braucht man einen weiteren Differenzialquotienten. Bei einer Entfaltungsgeschwindigkeit von $v_E = 20$ m²/s liegen die Beschleunigungen im Bereich von wenigen g und sind damit erträglich. Man muss nun noch durch modifizierte IF-Bedingung dafür sorgen, dass der Fallschirm nicht größer wird als 40 m². Die beiden letzten Abbildungen (Abb. 7 und 8) zeigen die Endfassung des Modells und die neue Vorhersage. Das Modell ist weiter ausbaufähig, z.B. auf die Bewegung von Meteoriten durch die Erdatmosphäre (s. dazu Schecker 1998, 102ff.).

Das Programm Modellus bietet zusätzlich zur Ausgabe von Simulationsergebnissen als Diagramme und Tabelle auch die Möglichkeit, damit kleine Animationen zu steuern.

6. Abschließende Bemerkungen

Tabellenkalkulation und Modellbildungsprogramme ermöglichen es, komplexe, bisher auf Schulniveau nicht behandelte Phänomene aus Alltag und Technik dem Unterricht zugänglich zu machen. Es darf aber nicht übersehen werden, dass damit möglicherweise das Bild der Physik grundsätzlich verändert wird: Traditionelles Ziel jeder Wissenschaft, besonders der Physik, ist es, Beobachtungen von allem Nebensächlichen zu befreien, den Kern des Phänomens zu erkennen und so Einzeldeutungen zu einer umfassenden Theorie zu gestalten. Insofern der Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe sich wissenschaftspropädeutisch begreift, muss er diesen wissenschaftstheoretischen Aspekt verdeutlichen. Damit ist auch eine besondere Strategie zur Lösung eines Problems verbunden: Bei der Suche nach der geschlossenen Lösung wird das Problem soweit reduziert, dass es mit den zur Verfügung stehenden mathematischen Mitteln bearbeitbar wird. Im Physikunterricht wird jedoch oftmals die Begrenzung der zur Verfügung stehenden mathematischen Werkzeuge so dominant, dass physikalisch interessante und elementar beschreibbare Phänomene ausgeblendet werden. Hier sollen Modellbildungssysteme gegensteuern. Es darf aber nicht der Eindruck entstehen, als bestünde das Hauptbestreben der Physiker in der Lösung komplexer Einzelfälle.

Der große Vorteil der eigenständigen Modellbildung gegenüber fertigen Simulationsprogrammen liegt darin, dass die

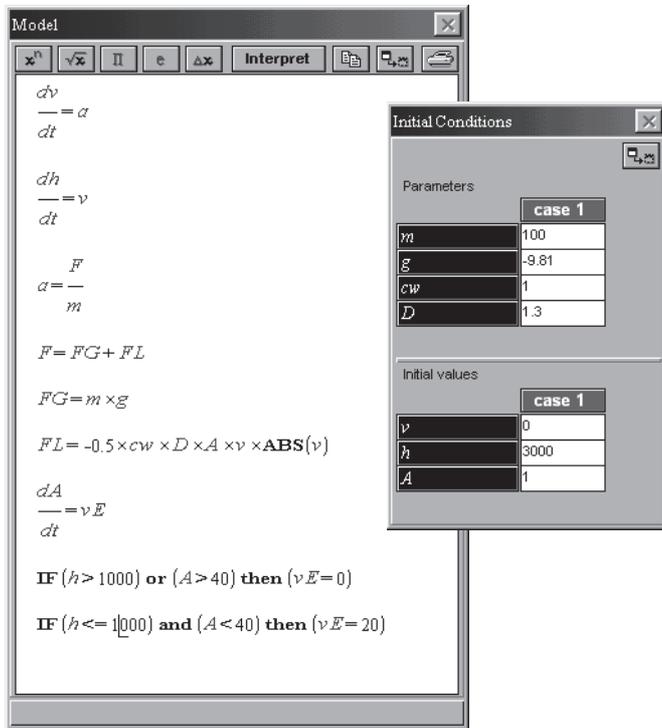


Abb. 7: Modellgleichungen und Parameter

Schüler die physikalischen Annahmen selbst formulieren müssen. Tabellenkalkulations- und Modellbildungsprogramme verfügen von sich aus über kein "physikalisches Wissen". Die Verantwortung für die physikalische Angemessenheit des Modells liegt beim Nutzer (Schüler, Lehrer). Das macht numerische Simulationen gleichzeitig anspruchsvoll und spannend.

Literatur

- Misner, C.W. & Cooney, P.J. (1991): *SpreadSheet Physics Workbook*. Reading, MA: Addison-Wesley.
 Ossimitz, G. (1990): *Materialien zur Systemdynamik*. Wien: Hölder-Pichler-Tempsky.
 Schecker, H. (1998): *Physik modellieren*. Stuttgart: Klett.

Software

- Powersim*. Bergen: Powersim AS.
Excel. München: Microsoft.
STELLA. Dartmouth, NH: High Performance Systems.
Moebius. Stuttgart: Klett.
Modellus. San Francisco, CA: Knowledge Revolution. (Die Software Modellus kostet ca. 100 Dollar. Sie finden Infos unter: <http://phoenix.sce.fct.unl.pt/modellus>)

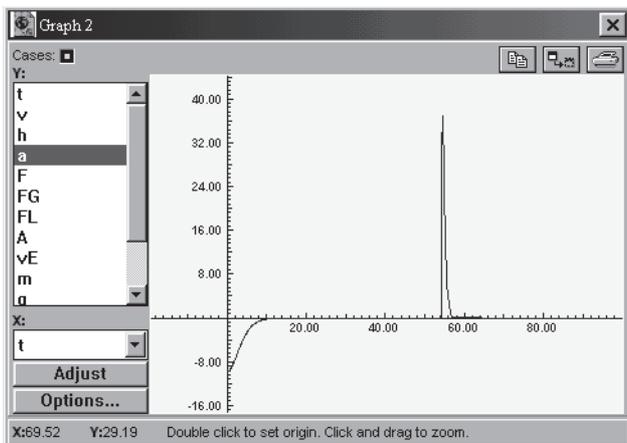
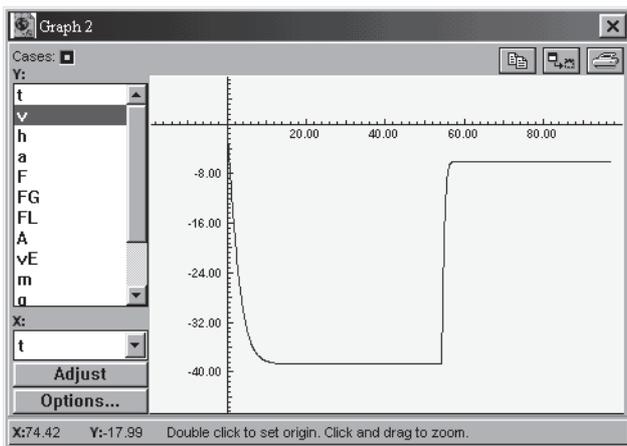


Abb. 8: Modellvorhersagen für Geschwindigkeit (oben) und Beschleunigung (unten). Bei $t \approx 55$ s öffnet sich der Fallschirm; alle Angaben in SI-Einheiten.

Bedeutende Physiker – Meilensteine der Physik

Unterrichtsprojekt für die 4. Klasse Hauptschule - Hauptschwerpunkt Physik und Informatik

Waltraud Knöbl

Ziel des Projekts

Der Lehrplan fordert unter anderem, im Unterricht immer wieder den aktuellen Stand der Wissenschaft einzubringen. Für die Physik in der Hauptschule ist es eine besondere Herausforderung, den Bogen zwischen klassischem Physikunterricht und aktuellen Themen zu spannen. Die Auseinandersetzung mit dem Neuen, dem Aktuellen wird aber doch durch den Einsatz moderner Technologien (Computer) in der Schule erleichtert.

Dem vorliegenden Projekt liegen zwei Gedanken zugrunde, von denen ich den ersten einem Artikel von Prof. Herbert Pietschmann ("Die großen Paradigmenwechsel der Physik in unserem Jahrhundert und ihre Konsequenzen" - siehe PLUS LUCIS 2/98, S. 3ff) verdanke. "Es hat ja gar keinen Sinn, vom Neuen zu sprechen, wenn man sich nicht überlegt, was denn vorher war."

Dieser Gedanke kann auch für den Hauptschüler der 4. Klasse umgesetzt werden. Im Rückblick auf das, was vorher war, auf bedeutende Themen und Persönlichkeiten der Physik, die im Laufe der drei Jahre Physikunterricht in der Hauptschule irgendwann zur Sprache gekommen sind, liegt gewiss die Chance, dem Schüler bewusst zu machen, wie sehr Fortschritte der Physik auch den Fortschritt allgemein und das Leben der Menschen beeinflusst haben und dies noch immer tun. "Die Naturwissenschaft hat buchstäblich unsere Welt geformt. Das moderne Leben ist unvorstellbar ohne technische Erfindungen wie Autos, Telefone, Satelliten, Wolkenkratzer und Computer." (Robert Stewart (Hg), *Ideen, die die Welt verändern*, Bertelsmann 1998)

Das zweite Ziel des Projekts ist es, sich an alle Schüler zu richten, und weniger "Spezialisten" anzusprechen. Viele Hauptschulabgänger werden sich kaum mehr intensiv mit Physik beschäftigen. Aber die Chance, dass der Schüler ein Stück mehr von jenen Erfahrungen, wie und wo man sich selbständig Informationen beschaffen kann, mit auf seinen Weg nimmt, sollte durch dieses Projekt genutzt werden.

Aber auch die Notwendigkeit, Wissen in einfacher Übersicht aufzuarbeiten, die den Schüler befähigt, sich über das Gelernte einen sinnvollen Überblick zu verschaffen und sich über bestimmte Entwicklungen eine Meinung zu bilden, kann auch aus demokratiepolitischen Überlegungen hervorgehoben werden: Die Schüler von heute sind jene Erwachsenen, die in Zukunft vielleicht über den Einsatz neuer - heute womöglich noch nicht benennbarer - Technologien und deren Folgen in Volksabstimmungen entscheiden werden. Dafür, dass solche Entscheidungen nicht in Unwissenheit getroffen werden, dass Schüler für Themen der Physik und moderne Entwicklungen

sensibilisiert werden und dass in jedem Schüler ein Mindestmaß an Interesse für physikalischen Themen geweckt bleibt, soll das vorliegende Projekt einen Beitrag leisten.

Zum fächerübergreifenden Arbeiten eignet sich das Projekt "Bedeutende Physiker" besonders für folgende Gegenstände:

- *Physik/Chemie* (inhaltlicher Schwerpunkt und computerunterstütztes Arbeiten)
- *Informatik* (Hauptschwerpunkt, Anwendung der Standardsoftware, Kennenlernen und Arbeiten mit CD-ROM-Lexikon, Arbeiten mit dem Internet (falls ein Internetanschluss vorhanden) sowie Anwendung von computerunterstütztem Messen und Auswerten)
- *Geschichte* (Auswirkung bestimmter technischer Entwicklungen auf die soziale Entwicklung am Beispiel der Industrialisierung im 19. Jahrhundert sowie Auswirkungen politischer Verhältnisse auf einzelne persönliche Schicksale (am Beispiel des Physiknobelpreisträgers 1936 Viktor Franz Hess und des Chemienobelpreisträgers 1998 Walter Kohn und der NS-Zeit)
- *Religion* (Einfluss von Religion, Zeitgeist und geltendem Weltbild auf die Wissenschaft und auf den Wissenschaftler selbst am Beispiel Galileo Galilei, sowie Haltung der christlichen Religion zu naturwissenschaftlichem Fortschritt heute)
- *Bildnerische Erziehung* (Grafisches Gestalten zum Thema "Meine Erfindung" oder "Eine Wundermaschine")

Projektbeschreibung



Im **ersten Abschnitt** (*Bedeutende Persönlichkeiten der Physik*) steht die Auseinandersetzung mit dem Physiker als Mensch, mit seiner Kurzbiographie im Vordergrund. Gerade dadurch tauchen für den Schüler wieder die "Highlights" der Physik auf, er setzt sich auch mit den Entdeckungen und besonderen Leistungen dieser Person auseinander. Viele Themen

sind dem Schüler der vierten Klasse bereits bekannt. Die Aufarbeitung und Sicherung des Unterrichtsertrages erfolgt mit Hilfe der Standardsoftware: Gestalten von Physikerportraits in Wort und Bild. Die dazu notwendigen Voraussetzungen für die Handhabung der Software werden im Unterricht der Verbindlichen Übung Informatik aufbereitet (sie können im zweiten Halbjahr der vierten Klasse Hauptschule beinahe vorausgesetzt werden):

1. Schreiben von Texten
2. Formatieren des Bildobjekts in Word

Je zwei Schüler ziehen ein Kärtchen, auf dem drei Namen stehen.

Die folgende Zusammenstellung kann selbstverständlich nicht den Anspruch auf Vollständigkeit erheben, sie ist jedoch für den Hauptschüler ein angemessener Überblick.

Hans C. Oersted Michael Faraday Georg S. Ohm	Archimedes Robert Brown Evangelista Toricelli	Albert Einstein Werner Heisenberg Erwin Schrödinger
Ptolemäus Nikolaus Kopernikus Johannes Kepler	Galileo Galilei Isaac Newton Ludwig Boltzmann	Lord Kelvin Anders Celsius Ernst Mach
Werner v. Siemens Auer v. Welsbach Thomas A. Edison	Henri Becquerel Marie und Pierre Curie Julius Meyer	G. Marconi Alexander Bell Samuel Morse
Wilhelm K. Röntgen Heinrich Hertz Leon Foucault	James Watt Nikolaus A. Otto Rudolf Diesel	Otto Hahn Lise Meitner Wolfgang Pauli
Andre M. Ampere Alessandro Volta Josef Loschmidt	Demokrit John Dalton Ernest Rutherford	Viktor F. Hess Niels Bohr Walter Kohn

Einstieg: Sucht gemeinsam zu den vorgegebenen Persönlichkeiten Informationen in *Lexika* (Exemplare, die von Schülern selbst mitgebracht werden, Harenberg - Lexikon), *Physikbüchern* (verschiedene Schulbuchautoren, Stichwortverzeichnis!), *Physikeranekdoten* (und *Zeitschriften* ("Wie geht das?", "Heureka")! Macht euch Notizen! Stellt jede Person schriftlich vor!

Auf das Scannen von Bildern und Bearbeiten mit Hilfe eines Bildbearbeitungsprogramms wurde im Rahmen dieses Projekts aus zeitlichen Gründen verzichtet. Vom Lehrer vorbereitete Bilder wurden als Bildobjekte auf einer Word-Datei bereitgestellt. Diese Bilder wurden über die Zwischenablage in die eigene Datei der Schüler eingefügt. Um die Schüler nicht zu überfordern, bearbeiten je zwei Schüler nur drei Physikerportraits, die Gesamtheit aller Arbeiten wurde in der Projektzeitung als Gemeinschaftsprojekt zusammengefasst. Damit

aber dennoch jeder Schüler den wünschenswerten Überblick über die vielen Namen erhält, wurde das von mir erstellte Visual Basic Programm "Entdecke die Welt der Physik" eingesetzt. Zur Sicherung des Unterrichtsertrages erarbeitet jeder Schüler mit Hilfe dieses Programms, das Kurzinformationen zu einer Sammlung von 44 Physikerpersönlichkeiten enthält, einen entsprechenden Merktext zu jeder Person. Der zweite Programmteil "Reise durch's Planetensystem" gibt dem Schüler die Möglichkeit, sich das Bild von der Welt zu verschaffen, wie wir es vielen bedeutenden Physikern zu verdanken haben.

Im **zweiten Abschnitt** (Computeranwendungen bei physikalischen Themen) werden aus der Sichtweise des Schülers vor allem drei Schwerpunkte geboten:

- Realexperiment (Viele Experimente sind im Unterricht zum Elektromagnetismus bereits durchgeführt worden und werden daher vorausgesetzt und nicht wiederholt, lediglich in Erinnerung gerufen. Eine Auswahl von einfachen Experimenten zu den Anfängen der Computertechnik (Erweiterungsstoff) soll die rasante Entwicklung auf diesem Gebiet bewusst machen)
- Arbeiten mit der Tabellenkalkulation Excel in Anwendung geeigneter Themen (Transformatorgleichungen, Einheiten der Geschwindigkeit)
- Kennenlernen von computerunterstützter Erfassung und unmittelbarer Auswertung von Versuchsergebnissen (mit Hilfe von CASSY - computer assisted science system, Leybold - Didaktik)

Bei der Auswahl der zu diesem Punkt passenden Beispiele wird der Bezug zur entsprechenden Physikerpersönlichkeit hergestellt.

Im **dritten Abschnitt** des Unterrichtsprojekts steht die Zusammenarbeit für die Gestaltung der gemeinsamen Projektzeitung im Vordergrund. Jeder Schüler konnte nach Mitarbeit im Projekt seinen Beitrag leisten. Durch ein geeignetes Titelblatt und die einzelnen Schülermeinungen wurde die gemeinsame Arbeit abgerundet.

Als außerschulischen Lernort haben wir die Dauerausstellung Siemens Forum gewählt.

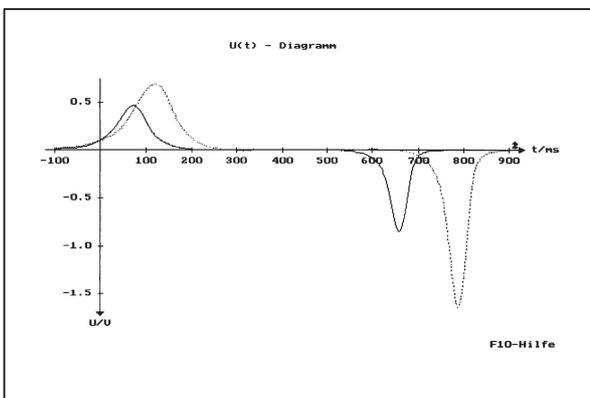
Da an unserer Schule noch kein Internetanschluss vorhanden ist, konnten wir zwar nicht direkt auf aktuelle Informationen zum Thema zugreifen, aber durch die Mitarbeit jener Schüler, die zu Hause über einen Internetanschluss verfügen, ist es uns dennoch gelungen, dieses Medium zu nutzen.

Die folgende Zeittafel gibt einen Überblick über das gesamte Arbeitsprogramm.

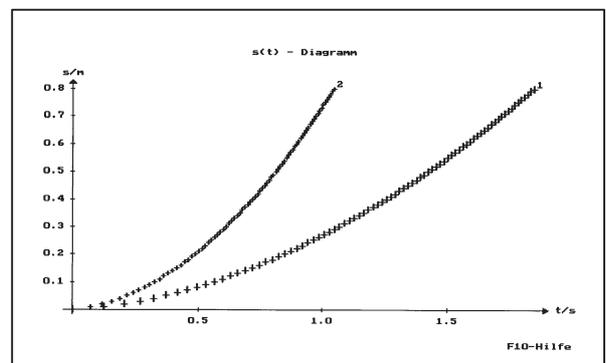
ABFOLGE DER GEPLANTEN UNTERRICHTSEINHEITEN (Zeittafel)			
Arbeit am Computer	AUFGABE	Themen, Inhalte	Stundenanzahl
ABSCHNITT 1			
	1	Beschaffen von Informationen zu vorgegebenen Namen (Verwenden von Lexika, Büchern, Zeitschriften)	1 UE
C	2	Arbeiten mit dem CD - ROM - Lexikon Microsoft Encarta 99	1 UE
C	3	Beschaffen von aktuellen Informationen aus dem Internet	1 UE

C	4	Arbeiten mit Word: Gestalten der Physikerportraits in Wort und Bild, Sammeln aller Ergebnisse	2 UE
C	5	Einsatz des Visual - Basic - Programms "Welt der Physik"	2 UE
ABSCHNITT 2			
C	6	Realexperimente (UND - ODER - und NICHT - Schaltung) und CASSY1 (Diode)	1 UE
C	7	Arbeitsblatt Schaltbild wird am Computer ausgefüllt	1 UE
C	8 und 9	Excel - Anwendungen zum Transformator und zur Geschwindigkeit	1 UE
C	CASSY 2	Abhängigkeiten zur magnetischen Induktion	1 UE
C	CASSY 3 CASSY 4	Messen der Schallgeschwindigkeit Messen und Aufzeichnen der Temperatur mit dem Temperaturfühler	1 UE
C	CASSY 5/6	Beschleunigte Bewegung und Messen der Radioaktivität	1 UE
ABSCHNITT 3			
C	10	Gestalten eines Physiker - Rätsels	1 UE
C	11 und 12	Schreiben von Schülermeinungen und Gestalten eines Titelblattes für die Projektzeitung	1 UE
	13	Projektzeitung: Fertigstellen der Kopiervorlagen (Physikerportraits, Arbeitsblätter und Schülermeinungen)	1 UE
Weitere Aktivitäten: Lehrausgang zu Siemens Forum			

Mit Hilfe des Computers können Ergebnisse bestimmter Versuche besser veranschaulicht werden



Magnetische Induktion: Vergleich von zwei Spulen mit unterschiedlicher Windungszahl



Vergleich von beschleunigten Bewegungen mit unterschiedlich großen Kräften

NetScience und ein GPS-Projekt

Kooperative, multimediale und vernetzte Forschung und Lehre im Pilotversuch

Michael Dobes, Walter Fertl, Markus Roethl

Das vom BMUK unterstützte Projekt NetScience versucht an Hand aktueller wissenschaftlicher Probleme, Kooperationen zwischen Universitäten und den höheren Schulen zu ermöglichen. Im Rahmen des Pilotprojektes "Global Positioning System" wurden erste Erfahrungen mit dem Einsatz modernster Technologien und der Zusammenarbeit von Wissenschaftlern und zwei höheren Schulen in Wien gemacht. Die Ergebnisse der Evaluation liegen nun vor. Ein Anknüpfen an diesen ersten Pilotversuch und die Entwicklung weiterer Themen ist derzeit im Gange.

Informationstechnologien im Unterricht

Die Zeiten des Theoretisierens und des missionarischen Argumentierens sind vorbei. Wir haben offensichtlich gerade jenes Tal durchschritten, das jede neue Technologie mitmacht, wenn die Zeit der Pioniere zu Ende ist und der Gebrauch der neuen Medien zu einer anerkannten Technologie und überall verwendeten Technik im Unterricht wird. Und dennoch gilt diese Bemerkung nur für den Bau der Infrastruktur und die Schaffung der rein physischen Voraussetzungen. Zugang zu Multimedia und dem Internet hat heutzutage an den Schulen schon fast jeder - oder doch nicht? Vielerorts brechen Schulen, Lehrergruppen, Protagonisten einzelner Fächer auf und wagen den Schritt zum Einsatz der Informationstechnologien im alltäglichen Unterrichtsgeschehen.

Und dennoch berichten wir hier von einem Pilotprojekt, d.h. wieder von einem neuen Ansatz? Gemeinsam versuchten wir in über eineinhalbjähriger Zusammenarbeit, den Gebrauch der Informationstechnologien in einen größeren Rahmen zu stellen und die inhaltliche Seite des Projektes zu forcieren. D.h. es war weniger wichtig, wie viel Zeit die Schüler im Internet und mit Computern zugebracht haben - der Computer als Werkzeug ist ihnen sowieso schon alltäglicher als der Mehrzahl der sie Unterrichtenden. Hauptaugenmerk wurde darauf gelegt, wie ein aktuelles komplexes physikalisches Thema, das in seiner Fülle die zeitlichen, organisatorischen und wissenschaftlichen Möglichkeiten einer Klasse und eines einzelnen Lehrers bei weitem übersteigt, in Zusammenarbeit mehrerer Schulen und vor allem auch mit Universitäten zu einem vertretbaren Inhalt eines doch an den Lehrplan gebundenen Physikunterrichts an einer AHS bzw. im Mathematikunterricht einer HTL zu machen sei.

Das Projekt NetScience

NetScience ist eine Initiative, die im Herbst 1997 anlässlich der European Netdays 97 von Helmut Kühnelt - Arbeitsgruppe

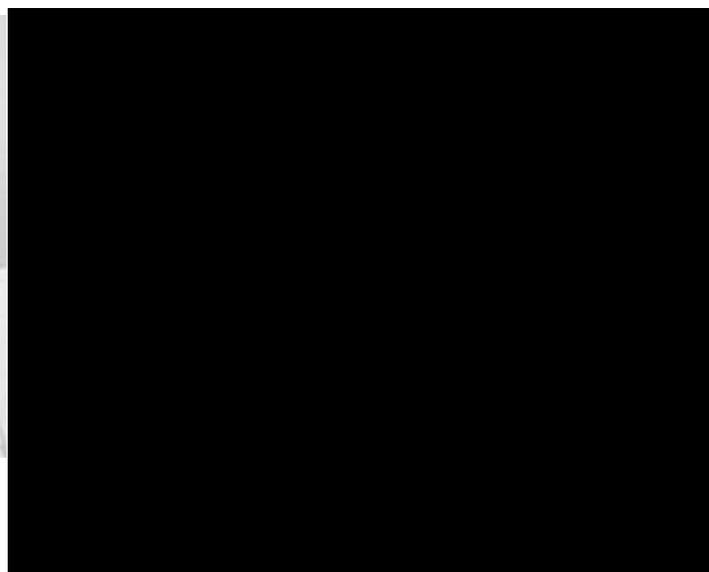
Mag. Michael Dobes, BG8 Wien; Mag. Walter Fertl, HTL 1040 Wien;
Markus Roethl, Univ. Wien
Dieser Artikel erscheint auch in *Call&Tell*.

Physikdidaktik am Institut für Theoretische Physik der Universität Wien - zusammen mit Studierenden ins Leben gerufen und von da an ständig weiterentwickelt wurde. Wurden anfangs Videokonferenzen zur Astronomie und Chats über "Schwarze Löcher und Gravitationswellen" durchgeführt, so werden jetzt auch Themenschwerpunkte angeboten, die sich für einen längeren Projektunterricht in Schulklassen eignen.

Schulklassen sollen zur Durchführung von Unterrichtsprojekten zu einem interessanten naturwissenschaftlichen Thema motiviert werden. Die Homepage <http://netscience.univie.ac.at> bietet Themenvorschläge an, die auch schon mit einigen Links und Literatortips versehen sind. Das Pilotprojekt war das Thema "GPS - Satellitennavigation", das sich aufgrund seiner Aktualität und seiner vielfältigen physikalischen, mathematischen, historischen u.a. Aspekten angeboten hat.

Dieses Ausgangsmaterial gilt es nun seitens der teilnehmenden Schulklassen durch eigene im Projektunterricht angefertigte Artikel zu ergänzen, so daß nach und nach eine Erarbeitung des Themas zustande kommt. Die ersten Ergebnisse finden Sie auf der Website. Weitere Schulklassen, die in das laufende Projekt einsteigen und das vorhandene Material ausbauen und verbessern wollen, sind herzlich eingeladen.

Im Rahmen dieses Projektes stellt das Projekt "Global Positioning System (GPS)" den ersten Versuch dar, ein Thema aktueller physikalischer Forschung mit Materialien aller Art, kleinen Simulations-Programmen, Graphiken, Dialogen mit Experten, aufbereiteten Internetverzweigungen und Sekundärliteratur für Lehrer und Schüler höherer Schulen nicht nur leichter zugänglich zu machen, sondern zu einer neuen Art des eigenverantwortlichen Physikunterrichts zu machen. Zwei Aspekte erscheinen also ganz wesentlich zu sein:



- Zusammenarbeit zwischen Lehrern und Experten verschiedener Institutionen. Dies ermöglicht ein gegenseitiges Lernen in methodischer wie in inhaltlicher Sicht und die Ausformung der Anforderungen jeder Institution (sei es Schule, sei es Universitäten) an die Studierenden und somit ein besseres Verständnis der möglichen Bildung der Abgänger. Es wird damit aktiv versucht, durch den Dialog der Institutionen einen besseren Übergang zu schaffen und für Naturwissenschaften zu werben.

Durch NetScience soll der *Kontakt zu Experten* hergestellt werden. So konnten für das Pilotprojekt die GPS-Experten Bernhard Hofmann-Wellenhof und Herbert Lichtenegger¹ vom Institut für angewandte Geodäsie der TU Graz zur Mitarbeit gewonnen werden. Univ.-Prof. Lichtenegger nahm mit der 8.A-Klasse vom BG Wien 8 an einer Videokonferenz auf der IST 98 im Austria Center teil und Univ.-Prof. Hofmann-Wellenhof referierte über Satellitennavigation auf der Fortbildungswoche 1999, wobei auch die 8.A-Klasse eingeladen war. Beide Male gab es natürlich die Gelegenheit Fragen zu stellen. Dieser Aspekt soll in Zukunft weiter ausgebaut und der direkte Kontakt zwischen Schülern, Lehrern und Experten über das Internet intensiviert werden. Dadurch Experten und Schulklassen nicht nur im Rahmen von Vorträgen zusammentreffen, sondern es können knifflige Fragen schon in der Vorbereitungsphase geklärt werden.

Neben diesen vorwiegend organisatorischen Tätigkeiten bieten die MitarbeiterInnen von NetScience auch Hilfe bei der inhaltlichen Betreuung von Schulklassen durch Studierende, die sich dadurch fachlich und didaktisch weiterentwickeln. Kleine von uns entwickelte Programme unterstützen das Verständnis durch Visualisierung und von Studierenden und Lehrenden verfaßte Artikel beleuchten besondere Aspekte oder dienen der Vertiefung.

- Einsatz der Informationstechnologien als integrativer Bestandteil des Unterrichtsgeschehens. E-Mails, Java-Applets, Recherchen im Internet, Bücher und Artikel aus Fachzeitschriften, Diskussionen mit Experten, persönlich oder moderiert in einem gemeinsamen Arbeitsbereich. All das schafft für Lehrer wie Schüler eine neue Arbeitsumgebung, eine fast laborartige Situation. Ganz bewußt steht nicht die Technologie im Vordergrund und auch nicht der Erwerb von Medienkompetenz oder sozialem Teamverhalten, wenn auch das natürlich "Ergebnisse" des Projektes sind, sondern immer wieder die Frage "Ist das Medium der Problemstellung adäquat? Erfüllt die Technologie ihre Rolle als Vermittlerin und Transportschiene von viel allgemeineren Konzepten, Inhalten, Ideen, Denkweisen und Methoden der Forschung?"

Ganz persönliche Zugänge

Dobes:

Letztlich war dieses Projekt für mich, die Klasse und auch unsere Schule nichts wirklich Neues, sondern eigentlich die natürliche und logische Fortsetzung einer jahrelangen Praxis der Verbindung von Technologie, Fachunterricht und Öffentlichkeitsarbeit. Dies soll nicht überheblich wirken, sondern einfach sagen, dass wir hervorragende Voraussetzungen hatten

¹B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, and J. Collins, "GPS - Theory and Practice", Springer-Verlag 1997

und Hürden, die sich bei anderen Schulen und Projektteams vielleicht zeigen werden, leichter bewältigen konnten.

Mehrfach durfte ich bereits zum Einsatz moderner Medien wie Multimedia referieren und habe auch bereits Beispiele veröffentlicht. Der Kontakt mit der Universität und die Diskussion über die erfolgreiche Vermittlung von Konzepten der modernen Physik beschäftigte mich bereits im Studium und die Diskussion wurde von mir seit damals immer wieder bei geeignetem Anlaß gerne fortgesetzt. Das Interesse an der Physik entspringt der Liebe zu diesem Fach - dort schlägt mein Herz bei den drei Fächern, die ich unterrichte. Bei der vielen Zeit, die ich der Informatik widmete, blieb die letzten Jahre zu wenig Zeit, um mich entscheidend und vertieft mit neueren Informationen zu den Forschungsgebieten der Physik und der Physikdidaktik auseinanderzusetzen. Gerne nahm ich daher die Gelegenheit wahr, mit Hilfe der Universität einmal wieder Energie in die moderne Physik der achten Klasse zu stecken. Für mich als Physiker war diese Auseinandersetzung mit "echter", also auch universitärer, Physik ein zugegebenermaßen ganz eigenütziger intellektueller Genuß.

Die 8. Klasse, die sich mit mir dieses Projekt zutraute, machte bereits in der 6. Klasse erste Erfahrungen im Gebrauch mehrerer Informationsmedien im Fachunterricht und war überaus geschult im Umgang mit allen technischen Anforderungen der "neuen" Medien. Von der Arbeitsmethode her war diese Klasse bereits in mehreren Fächern mit dem eigenständigem Wissenserwerb und eigenverantwortlichem Arbeiten konfrontiert. Methodisch waren also die Voraussetzungen zu Beginn des Projektes hervorragend - bei Schülern wie bei Lehrern.

Und schließlich die Präsentation eines Projektes in der Öffentlichkeit! Bereits seit 1990 haben wir immer wieder Projekte unserer Schule in der Öffentlichkeit, bei Messen und Ausstellungen präsentiert. Die für uns neue Dimension des Fernsehens, noch dazu digital-multimedial-global als zentraler Bestandteil eines (virtuellen) Klassenraumes zeigte faszinierende Möglichkeiten auf, die schon den nächsten Schritt der Medienintegration in die Schule ankündigen. So wie Internet und mobile Kommunikation selbstverständlich geworden sind, so wird es bald (10 Jahre - mehr oder weniger?) auch die volle Palette der Medienlandschaft in jedem Klassenraum sein? Trotz der guten Voraussetzungen, die wir hatten, waren es zum Teil ganz neue Erfahrung und wir haben viel gelernt. Und selbst wenn es noch mehr Anstrengung kostet, die Erfahrungen und die Ergebnisse rechtfertigen den hohen Einsatz - ich würde es jederzeit wieder angehen. Entscheidend waren für das Gelingen aber alle Beteiligten, denn das macht den Erfolg des Projektes aus - nur gemeinsam, unter Einsatz der individuellen Stärken war es möglich, diese komplexe Kooperation mit diesem Thema zu einem sinnvollen Unterricht werden zu lassen.

Fertl:

Im vorigen Schuljahr 1997/98 berichtete meine Unterrichtspraktikantin Dr. Schönfelder, daß das Institut für Theoretische Physik der Uni Wien, unterstützt vom BMUK, das Projekt NetScience betreut. Da ich bereits seit einigen Jahren mit Schülern an Projekten gearbeitet habe, war es für mich klar, daran mitzuarbeiten. Angeboten wurden Themen wie Schwarze Löcher, Quantenmechanik und ähnliches, aber eben auch GPS.

Mehrere Gründe sprachen dafür, GPS zu wählen:

- Unsere Schule, HTL Wien 4, hat als Schwerpunkt für alle Abteilungen die Telekommunikation gewählt. Unserem Direktor Dr. Weissenböck ist es ein Anliegen, daß alle Schüler mit den neuen Medien perfekt umgehen können. Für den Unterricht ist zudem die Beherrschung des Computers ohnehin eine Selbstverständlichkeit. Und NetScience sollte im Internet präsent sein.
- Das Thema interessierte mich persönlich.
- Die Klasse, die für das Projekt in Frage kam, unterrichtete ich in Mathematik. Es war ein dritter Jahrgang der Abteilung Maschinenbau/Automatisierungstechnik. Sie war sehr interessiert. Und sie waren einer Mitarbeit gegenüber durchaus positiv eingestellt.
- Darüber hinaus reizte mich einfach die Zusammenarbeit mit dem Physikalischen Institut.
- Die anderen Themen wurden im Unterricht besprochen.

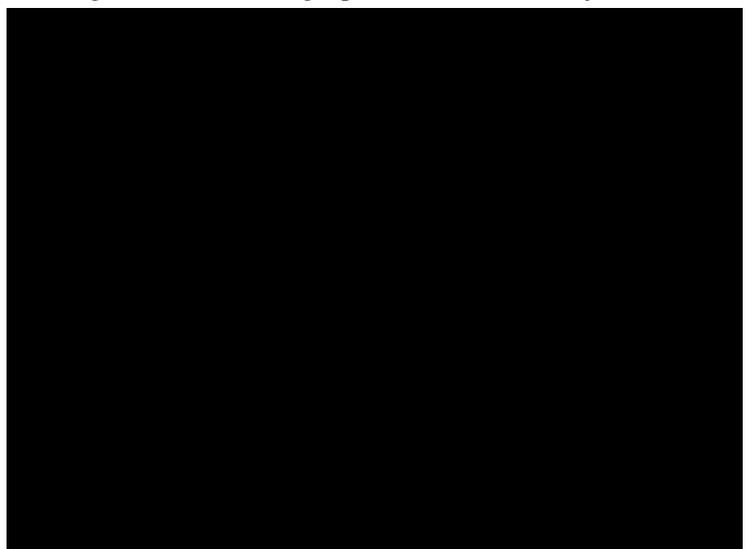
Beim ersten informellen Zusammentreffen wurden die einzelnen Themenbereiche, die mit den Schülern erarbeitet werden sollten, festgelegt. Da ich die Klasse in Mathematik hatte, war klar, daß wir die klassisch-mathematische Ortsbestimmung auf der Erdoberfläche ausarbeiten würden. Ausgehend vom rechtwinkligen sphärischen Dreieck mit Musterbeispielen wollte ich das allgemeine Dreieck auf der Kugeloberfläche sowie die Erdgestalt ausarbeiten. Eine genaue Zeiteinteilung war unumgänglich. Die Mathematik ist an einer HTL der Gegenstand, der das rechnerische Rüstzeug für Fachgegenstände wie Mechanik, Meßtechnik, Fertigungstechnik, Maschinenkunde etc. liefert. Der Spielraum für Kapitel außerhalb des Lehrstoffes ist daher sehr begrenzt. Auch die zeitliche Belastung der Schüler mußte berücksichtigt werden. Sie haben immerhin nur einen freien Nachmittag in der Woche zur Verfügung. Eine fächerübergreifende Behandlung des Themas, wie in der Partnerschule BG 8, kam wegen fehlender passender Gegenstände nicht in Frage. Für die Präsentation des Projektes im Internet konnte der Gegenstand "Elektronische Datenverarbeitung und angewandte Datenverarbeitung" gewonnen werden. Im dritten Jahrgang sind die Schüler im Umgang mit den Werkzeugen der Telekommunikation bereits ausreichend vertraut. So ist es uns gelungen, vor allem am Ende des Schuljahres 1997/98 einen Großteil des geplanten Programms zu erledigen. Heuer, im vierten Jahrgang, war die Anforderung an sie durch die Fachgegenstände noch größer als ein Jahr zuvor, so daß schließlich nur das sphärische rechtwinklige Dreieck soweit ausgearbeitet wurde, daß es im Internet präsentiert werden konnte. Dabei kam es aber doch noch zur Zusammenarbeit mit dem Gegenstand "Konstruktionsübungen". Die Zeichnungen im Internet stammen vom Schüler Robert Prinz, der mit AutoCad gezeichnet hat.

Die Zusammenarbeit mit der Uni, das Arbeiten mit der Klasse und auch die Beschäftigung mit einem schon lange nicht mehr gebrauchten Teilgebiet der Mathematik hat mir Spaß gemacht. Auch die Freude am Erreichten - obwohl nicht alles gemacht werden konnte - überwiegt die Wehmut über das Ende des Projekts. Die Erfahrungen, die ich dabei gemacht habe, können zukünftig ebenso im "normalen" Unterricht eingebracht werden.

Röthl:

Als ich zu diesem Projekt stieß, fand ich die Idee mit dem Brückenschlag zwischen Schule und Universität faszinierend. Erinnerung mich an meine eigene Schulzeit zurück, hätte mich ein solcher Kontakt sicher sehr interessiert. Doch wie kam es zu diesem Pilotprojekt? Nach unseren Erfahrungen mit dem Chat über "Schwarze Löcher und Gravitationswellen" sahen wir, daß ein Chat vom kommunikativen Standpunkt her zwar ganz nett ist, aber man sicher mehr gewinnen könnte, wenn dieser Kontakt über einen längeren Zeitraum aufrechterhalten werden könnte und auch eine gewisse Vorbereitung in der Klasse stattfinden würde. Der nächste Schritt hin zu Themenschwerpunkten, die im Projektunterricht erarbeitet werden, war nicht mehr weit. Was wir noch finden mußten, war ein interessantes Thema. Da einige Kollegen, die am Anfang dabei waren, und ich unsere Diplom- und Doktorarbeiten aus Relativitätstheorie machen, hätte sich natürlich ein Projekt in diesem Feld angeboten. Wenn es sich dabei um einen Stoff handelt, der für Schülerinnen und Schüler immer wieder faszinierend ist und zum Staunen anregt, so gibt es dazu schon einiges an gut aufbereitetem Material im Web. Eher zufällig erfuhr ich dann, dass beim Satellitennavigationssystem GPS relativistische Effekte eine Rolle spielen, und zwar nicht nur die der speziellen sondern auch jene der allgemeinen Relativitätstheorie. Wenn auch insgesamt diese Einflüsse gegenüber den anderen Ungenauigkeiten, insbesondere gegenüber dem künstlich eingebauten Fehler bei der Positionsbestimmung, nur sehr klein sind und das System so konzipiert ist, daß sich der Anwender überhaupt nicht den Kopf darüber zerbrechen muß, so ist die Tatsache, daß Aussagen der allgemeinen Relativitätstheorie eine Rolle im Alltag spielen, doch spannend. Die zahlreichen anderen Aspekte im Zusammenhang mit GPS, die das Thema gerade für einen fächerübergreifenden Unterricht geeignet erscheinen lassen, und seine Aktualität haben schließlich den Ausschlag gegeben.

Konnten wir die uns gesteckten Ziele mit diesem Projekt realisieren? Hilfreich bei der Beurteilung sind die Fragebögen, die ich am Anfang und Ende des Projekts in der 8.A- Klasse ausgeteilt habe und die den Schülerinnen und Schülern Gelegenheit zur Rückmeldung gaben. Der Grundtenor ist sehr positiv. Selbst diejenigen, die angeben, technisch nicht allzusehr interessiert zu sein, meinen abschließend, daß es sich hier um ein aktuelles Thema handelt und die Satellitennavigation eine wichtige Rolle im Alltag spielen wird. Die Projektarbeit



das Arbeiten im Internet.

scheint den Schülerinnen und Schülern, wenn auch ihrem Empfinden nach etwas aufwendiger als der traditionelle Unterricht und im ersten Semester des Maturajahrs, Spaß gemacht zu haben. Die Schülerinnen und Schüler haben sich zu Zweiergruppen zusammengeschlossen und ein Thema aus einer vorgegebenen Liste gewählt, über das sie später in der Klasse (mit Videoaufzeichnung) referierten. Es galt die englischen Beiträge für die Videokonferenz auf der IST 98 vorzubereiten und schließlich die Referate auch noch für das Web aufzubereiten. An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei Friedrich Kromberg bedanken, der sich im Laufe des Projektes HTML-Kenntnisse angeeignet hat und die Schülerartikel zu einer kleinen Website zusammenfasste. Was den fachlichen Aspekt betrifft, so kann er sicher noch ausgebaut werden. Den Kontakt zwischen Schule und Universität können wir noch ausbauen. Für dieses Projekt haben wir uns mehrmals persönlich getroffen. Mir schwebt jedoch der Email-Kontakt überall dort vor, wo Schülerinnen und Schüler trotz eigener Anstrengungen nicht mehr weiterkommen. Eine Handvoll solcher Emails gab es, Mails direkt an die GPS-Experten in Graz gab es nicht. Diesen Punkt möchte ich verbessern. Hier bin ich auf die Zukunft gespannt und möchte neue Schulklassen herzlich dazu einladen, sich an unserem Projekt zu beteiligen.

Resümee und Ausblick

Spannend wird es nun für uns ganz persönlich sein, wie andere Kolleginnen und Kollegen auf unser Material reagieren und wie daran weitergearbeitet wird. Ausserdem sind wir sehr in-

teressiert, andere Themen des Projektes NetScience von weiteren Gruppen aufgreifen zu lassen und durch Zusammenarbeit von Schulen mit den Universitäten für den Unterricht fruchtbar zu machen. Man stelle sich vor, jeder fügt nur ein kleines Teil in das Ganze ein, wie groß wäre dann das Gebäude, das man bauen könnte?

Es wird also zum Teil auch an den Spitzen des Projektes liegen, neuerlich Schulen zu begeistern, Lehrer und Lehrerinnen zu motivieren, Know-How zur Verfügung zu stellen und darauf zu dringen, dass das viele Gute, das in so vielen Klassen von so vielen engagierten Kolleginnen und Kollegen im Geiste einer modernen Vermittlung von moderner Physik geleistet wird, für alle zugänglich zu machen. Noch immer schwebt in mir auch eine Idee vor, doch einmal alle physikalischen Institute Österreichs, Europas, der Welt zu ersuchen, einen Katalog von Materialien zusammenzustellen, aus denen die Schulen für ihren Unterricht schöpfen können: was interessiert physikalische Forschung derzeit, warum ist Forschen geistig, technisch, wissenschaftstheoretisch und praktisch wichtig - für den Einzelnen, für die Gesellschaft, für die Zukunft der Erde und einfach nur zur Vervollständigung unseres Wissens.

Einer der neuen Themenschwerpunkte im Rahmen des Projektes NetScience wird "Moderne Quantenmechanik" sein, das in Zusammenarbeit mit dem Team um Univ. Prof. Zeilinger angeboten wird. Wir wollen alle Interessierten dazu ermutigen, unser Projekt im Internet zu besuchen, weiterzuführen oder ein neues Projekt zu beginnen.



<http://netscience.univie.ac.at>

NetScience ist eine Internet-Initiative zur Intensivierung des Kontakts zwischen Schule und Universität.

Die Funktionen von NetScience

- Klassen zum Durchführen von Unterrichtsprojekten zu einem aktuellen naturwissenschaftlichen Thema anregen und KONTAKT zu den Expertinnen und Experten der Universität herstellen.
- Hilfe bei der inhaltlichen Betreuung und Entwicklung von Unterrichtsmaterialien durch Studierende, die sich dadurch fachlich und didaktisch weiterentwickeln, und Lehrende an der Uni

NetScience sucht neue Partner

Wir suchen neue Partner, die das Unterrichtsprojekt "GPS - Satellitennavigation" fortsetzen und ergänzen oder die Arbeit an einem neuen Projekt aufnehmen wollen. Besuchen Sie uns auf unserer Homepage <http://netscience.univie.ac.at>

Kontaktpersonen

- Univ.-Prof. Helmut Kühnelt, Institut für Theoretische Physik Universität Wien, Boltzmanngasse 5, 1090 Wien, Tel (+43-1)4277-51515, helmut.kuehnelt@univie.ac.at
- Markus Röthl, roethl@galileo.thp.univie.ac.at
- Doz. Franz Embacher, fe@ap.univie.ac.at
- Mag. Michael Dobes, m.dobes@magnet.at
- Mag. Walter Fertl, fer@mail.htlw4.ac.at

GPS- Unterrichtsmaterialien

Kleine von NetScience entwickelte Programme unterstützen das Verständnis durch Visualisierung: Beispielsweise erklärt das Programm "GPS in a nutshell" von P. und M. Röthl, in vier Schritten, wie eine ganz einfache Positionsbestimmung mittels Funksignalen zweidimensional abläuft. Weiterführende Programme finden Sie auf unserer Homepage

In verschiedenen Beiträgen wird, wie z.B. im Artikel "Relativistische Korrekturen für GPS" von Doz. Franz Embacher, auch auf ganz spezielle Aspekte eingegangen. So spielen bei GPS Effekte der allgemeinen Relativitätstheorie eine - allerdings kleine - Rolle. Unter <http://netscience.univie.ac.at> finden Sie weiterführende Artikel zu Satelliten, zum Dopplereffekt, zur Auswertung der Signale und zu Fehlereinflüssen bei der Positionsbestimmung mit GPS.



Um ein gemeinsames Arbeiten im Web zu ermöglichen, wurde am Institut für Theoretische Physik ein BSCW-Server (Basic Support for Cooperative Workspace) installiert. Damit ist es allen Projektteilnehmern möglich, mittels eines Internetbrowsers Dokumente paßwortgeschützt zentral im Web abzulegen, zu diskutieren und gemeinsam weiterzuentwickeln. Weitere Infos zu BSCW finden sie unter <http://bscw.gmd.de>.

Torsionspendel, Blitz im Gaszylinder und andere Kuriositäten

Ein Bericht über die Aufgaben der 30. Internationalen Physik-Olympiade 1999 in Padua/Italien

Helmuth Mayr

Das alterwürdige Verdi-Theater in Padua war am Nachmittag des 26. Juli 1999 zum Bersten voll. Im Parkett saßen fast 300 Schüler und wenige Schülerinnen aus 60 Staaten und deren italienische Guides sowie hochrangige Wissenschaftler und prominente Politiker als Ehrengäste, während die Logen mit uns 120 Betreuern der Teilnehmer und Teilnehmerinnen, Beobachtern und "Visitors" aus mehr als zwei Dutzend Nationen dicht gedrängt besetzt waren. Sowohl lokale als auch einige ausländische TV-Teams trugen ihren Beitrag zur Steigerung der allgemeinen Nervosität bei. Die hochsommerlich heiße Luft schwappte bis in den allerletzten Winkel des Gebäudes und der Getränkeverkäufer im Foyer machte den Umsatz seines Lebens.

Mit Spannung wurde die Eröffnung der Feierlichkeiten erwartet, ging es doch um die Preisverleihung der 30. Internationalen Physikolympiade, zu der 60 Staaten je 5 Schüler oder Schülerinnen entsenden durften. Alle hatten am 20. Juli und am 22. Juli, jeweils innerhalb von 5 Stunden, umfangreiche experimentelle Untersuchungen bzw. drei theoretische Aufgaben zu bearbeiten. Ein ausgeklügeltes Punktesystem und ein aufwendiges Korrekturverfahren, in das auch wir nationale Betreuer eingebunden wurden, sorgte für faire Verhältnisse und eine Reihung der Schüler/innen nach ihren Leistungen. Die besten dreißig wurden mit einer Goldmedaille belohnt, die nächstfolgenden einundsiebzig durften sich über eine Silbermedaille freuen, und die nachfolgenden vierundfünfzig konnten stolz eine Bronzemedaille mit nach Hause nehmen.

Das Überkopf-Torsionspendel

Die experimentelle Aufgabe bestand in der Untersuchung des Systemverhaltens eines Überkopfpendels, dessen Fußpunkt an einem gespannten Stahldraht fixiert wurde und zu unterschiedlichsten Torsionsschwingungen angeregt werden konnte. (siehe Abb. 1). Der Pendelkörper selbst bestand aus zwei Teilen, die zwar verschieden tief ineinander geschraubt, aber nicht voneinander getrennt werden konnten, sodass auch die Pendellänge (und dadurch natürlich auch die Lage des Schwerpunktes) verändert werden konnten.

Von den Kandidaten wurde zunächst verlangt, die Einzelmassen der beiden Pendelkörperteile experimentell zu bestimmen. Danach mußten sie ein Verfahren entwickeln, mit dem man das Trägheitsmoment des gesamten Pendelkörpers als Funktion der relevanten Systemparameter bestimmen konnte. Bei der anschließenden Untersuchung des Bewegungsverhaltens des Pendelsystems musste die Bewegungsgleichung des Pendels für eine horizontale Drehachse aufgestellt werden. Auf Grund der dadurch gewonnenen Erkenntnisse sollten die

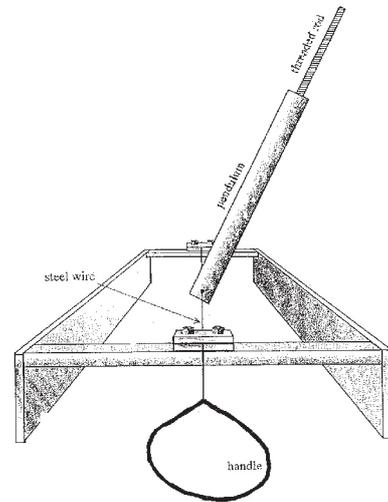


Abb. 1: Skizze des Überkopf-Torsionspendels

Schüler/innen anschließend diverse Systemparameter experimentell bestimmen. Anschließend war das Pendel so aufzustellen, dass seine Achse vertikal stand. Wiederum mussten diverse Parameter für diese Anordnung experimentell bestimmt werden. In einer Zusammenschau der bisherigen Erkenntnisse war abschließend das Pendelverhalten aus einer etwas allgemeineren Sicht zu analysieren.

Ein Blitz im Gaszylinder

Eigentlich trug diese Aufgabe den Titel "Strahlungsabsorption eines Gases". (Da ich hier nicht alle vier Aufgaben in voller Länge beschreiben kann, beschränke ich mich im Folgenden auf eine genauere Darstellung der Angabe und Lösung dieser Aufgabe und beschreibe die anderen nur kurz).

Untenstehend finden Sie die Originalangabe. Darüber hinaus erhielten die Kandidaten eine Tabelle sämtlicher Konstanten.

Angabe

Strahlungsabsorption eines Gases

Ein zylindrischer Behälter mit vertikaler Achse ist mit molekularem Gas gefüllt. Das Gas ist im thermodynamischen Gleichgewicht. Oben ist der Behälter mit einer beweglichen Glasplatte geschlossen. Wir nehmen an, daß das Gas nicht aus dem Behälter entweichen kann. Wir nehmen weiterhin an, daß die Reibung zwischen den inneren Wänden des Zylinders und der Glasplatte die Zylinderschwingungen dämpft, aber keinen bedeutenden Energieverlust verursacht (im Vergleich zu den anderen Energien, die in dieser Aufgabe vorkommen). Am Anfang ist die Gastemperatur gleich der Zimmertemperatur und der Luftdruck hat den Standardwert, der in der Konstantentabelle angegeben ist. Das Gas kann als ideal betrachtet werden. Wir nehmen an, daß die Wände des Zylinders (einschließlich der Basis) eine sehr kleine Wärmeleitfähigkeit und

Prof. Mag. Helmuth Mayr, BRG 15 Schmelz, Wien und Universität Wien

Wärmekapazität haben, so daß der Wärmeaustausch zwischen Gas und Umgebung sehr langsam erfolgt und für die Lösung des Problems außer Acht gelassen werden kann.

Durch die Glasplatte wird Licht konstanter Leistung eines kontinuierlichen ("continuous wave") Lasers in den Behälter eingestrahlt. Diese Strahlung durchdringt die Luft und das Glas absorptionsfrei, wird aber von dem Gas in Innern des Behälters vollständig absorbiert. Durch die Absorption dieser Strahlung gelangen die Moleküle in einen angeregten Zustand, aus dem sie durch Emission von Infrarotstrahlung schnell schrittweise in den Grundzustand zurückkehren. Die Infrarotstrahlung wird durch andere Gasmoleküle absorbiert und durch die Wände des Behälters (einschließlich der Glasplatte) reflektiert. Die absorbierte Strahlungsenergie des Lasers wird deshalb in sehr kurzer Zeit in thermische Bewegungsenergie umgewandelt (molekulares Chaos) und bleibt danach genügend lange Zeit im Gas.

Wir beobachten, daß sich die Glasplatte nach oben bewegt. Nach einer bestimmten Einstrahlungszeit schalten wir den Laser aus und messen die Verschiebung der Glasplatte.

- Berechnen Sie mittels der angegebenen Daten und - falls nötig - der Daten auf dem Blatt mit den physikalischen Konstanten den Druck und die Temperatur des Gases nach der Einstrahlung [2 Punkte]
- Berechnen Sie die mechanische Arbeit, die durch das Gas (aufgrund der Strahlungsabsorption) verrichtet wurde. [1 Punkt]
- Berechnen Sie die während der Einstrahlung absorbierte Strahlungsenergie. [2 Punkte]
- Berechnen Sie die durch den Laser eingestrahlte Leistung, die vom Gas absorbiert wurde und die zugehörige Photonenanzahl pro Zeiteinheit (und damit die Zahl der elementaren Absorptionsprozesse pro Zeiteinheit). [1.5 Punkte]
- Berechnen Sie den Wirkungsgrad des Umwandlungsprozesses von optischer Energie in die an der Glasplatte verrichtete mechanische Arbeit. [1 Punkt]

Nach der Einstrahlung wird der Behälter langsam um 90° gedreht und damit in eine horizontale Lage gebracht. Der Wärmeaustausch zwischen Gas und Behälter kann weiterhin vernachlässigt werden.

- Erklären Sie, ob sich der Druck und / oder die Temperatur des Gases aufgrund dieser Rotation verändern und berechnen Sie gegebenenfalls die neue Temperatur und / oder den neuen Druck. [2.5 Punkte]

Daten

Zimmertemperatur: $T_0 = 20.0^\circ \text{C}$
 Innendurchmesser des Zylinders: $2r = 100 \text{ mm}$
 Masse der Glasplatte: $m = 800 \text{ g}$
 Gasmenge innerhalb des Behälters: $n = 0.100 \text{ mol}$
 molare Wärmekapazität des Gases bei konstantem Volumen: $c_v = 20.8 \text{ J/(mol K)}$
 Wellenlänge der Laserstrahlung: $\lambda = 514 \text{ nm}$
 Einstrahlungszeit: $\Delta t = 10.0 \text{ s}$
 Verschiebung der beweglichen Glasplatte nach der Einstrahlung $\Delta s = 30.0 \text{ mm}$

Lösungen

1. Der gesuchte Druck ergibt sich aus dem der Summe des Außendruckes p_0 und den durch das Deckelgewicht verursachten zusätzlichen Druck, was

$$p = p_0 + \frac{m \cdot g}{\pi \cdot r^2}$$

ergibt und den Zahlenwert 102,3 kPa liefert.

Gemäß Gasgleichung gilt für das anfängliche Gasvolumen V_1 :

$$V_1 = \frac{nRT_0}{p}$$

Durch Umformen und Einsetzen der Beziehung für den Druck folgt daraus für die Höhe h_1 :

$$h_1 = \frac{V_1}{\pi \cdot r^2} = \frac{n \cdot R \cdot T_0}{p_0 \cdot \pi \cdot r^2 + m \cdot g}$$

Da sich nach der Einstrahlung die Höhe

$$h_2 = h_1 + \Delta s$$

einstellt, folgt für die gesuchte Temperatur

$$T_2 = T_0 \cdot \left(1 + \frac{\Delta s}{h_1}\right) = T_0 + \frac{\Delta s \cdot (p_0 \pi r^2 + m \cdot g)}{n \cdot R}$$

was den Zahlenwert 322 K = 49°C liefert.

2. Die vom Gas verrichtete Gesamtarbeit setzt sich aus den durch die Verschiebung des Deckels und der gegen den Außendruck verrichteten Arbeitsanteilen zusammen. Daher gilt:

$$W = (m \cdot g + p_0 \cdot \pi \cdot r^2) \cdot \Delta s = 24,1 \text{ J}$$

3. Für die innere Energie gilt:

$$\Delta U = n \cdot c_v \cdot (T_2 - T_1)$$

Für die vom System aufgenommene Energie gilt:

$$\begin{aligned} Q &= \Delta U + W = n \cdot c_v \cdot \frac{T_0 \cdot \Delta s}{h_1} + (mg + p_0 \pi r^2) \cdot \Delta s \\ &= \Delta s \cdot (p_0 \pi r^2 + mg) \cdot \left(\frac{c_v}{R} + 1\right) \end{aligned}$$

Dies ergibt: $Q = 84 \text{ J}$

4. Für die optische Laserleistung gilt:

$$P = \frac{Q}{\Delta t} = \left(\frac{c_v}{R} + 1\right) \cdot \frac{\Delta s}{\Delta t} \cdot (p_0 \cdot \pi \cdot r^2 + m \cdot g) = 8,4 \text{ W}$$

Da die Energie jedes Photons der Beziehung

$$E_1 = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

genügt, folgt für die Anzahl der Photonen:

$$N = \frac{P \cdot \lambda}{h \cdot c} = 2,2 \cdot 10^{19} \frac{\text{Photonen}}{\text{sec}}$$

5. Der gesuchte Wirkungsgrad ergibt sich durch die Änderung der potentiellen Energie der beweglichen Deckplatte. Daher muss gelten:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{m \cdot g \cdot \Delta s}{Q} = \frac{1}{\left(1 + \frac{p_0 \pi r^2}{mg}\right) \cdot \left(1 + \frac{c_v}{R}\right)} \\ &= 2,8 \cdot 10^{-3} \approx 0,3 \% \end{aligned}$$

6. Durch das "Hinlegen" des Gaszylinders ergibt sich eine adiabatische Druckänderung von p auf p_0 . Dadurch stellt sich auch eine neue Temperatur T_3 ein. Aus der Adiabatengleichung $p \cdot V^\gamma = \text{konstant}$ folgt durch Umformen:

$$T_3 = T_2 \cdot \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

Wobei für γ gilt:

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v} = \frac{c_v + R}{c_v} = 1 + \frac{R}{c_v} = 1,399$$

Damit ergibt sich: $T_3 = 321 \text{ K} = 48^\circ\text{C}$

Magnetfeld eines V-förmigen Drahtes

Dieser Aufgabe liegt der historische Disput zwischen Ampere und Biot-Savart über das Wesen des Magnetismus zugrunde. Um die Auffassungsunterschiede experimentell zu untersuchen betrachteten sie das Magnetfeld eines V-förmig gebogenen Drahtes, der von einem elektrischen Strom konstanter Stromstärke durchflossen wird. (siehe Abb. 2).

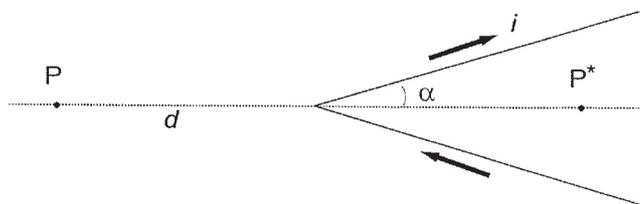


Abb.2

Die Kandidaten wurden mit derselben Anordnung konfrontiert. Zunächst wurde nach der Richtung des B-Feldes im Punkt P gefragt. Anschließend war der Proportionalitätsfaktor k in folgender Beziehung zu bestimmen:

$$|B(P)| = k \cdot \tan \frac{\alpha}{2}$$

In der dritten Teilaufgabe war die Feldstärke $B(P^*)$ in einem Punkt, der P gegenüber liegt zu bestimmen. In der vierten Teilaufgabe wurde angenommen, dass sich im Punkt P eine (idealisierte) kleine Magnetnadel befindet, die um einen festen Punkt schwingen könne. In diesem Fall wurde nach einer Beziehung zwischen der Periodendauer (für sehr kleine Auslenkungen) und den relevanten Systemparametern gefragt. Da Biot-Savart und Ampere ein derartiges Schwingungsverhalten als Kriterium für ihre verschiedenen Auffassungen verwendet hatten, war die Frage der Messbarkeit von besonderer Brisanz. Daher wurden die Kandidaten aufgefordert, eine bestimmten Messbarkeitskriterien entsprechende Dimensionierung dieses Experimentes zu berechnen.

Eine Raumsonde zum Jupiter

Die dritte theoretische Aufgabe behandelte die Geschwindigkeitsänderungen einer Raumsonde, die knapp am Riesenplaneten Jupiter vorbeirast. Zunächst war aus gegebenen Daten sowohl die Geschwindigkeit als auch der Abstand von Jupiter relativ zur Sonne zu berechnen. Dann musste die Bewegung der Raumsonde relativ zum Jupiter in allen Raumrichtungen analysiert und die Gesamtenergie der Sonde im Jupitersystem

berechnet werden. In weiterer Folge wurde der örtliche Bahnverlauf des Jupiters um die Sonne als Hyperbelast angenähert. Mit dieser Näherung musste die Bahn der Raumsonde bzw. deren Geschwindigkeitsänderung berechnet werden. Anschließend waren auf Grund gegebener Annäherungsverhältnisse diverse Systemparameter auszurechnen. Danach waren die Geschwindigkeitsänderungen der Sonde sowohl vom Jupiter aus als auch von der Sonne aus gesehen zu berechnen.

Erfreuliches

Mit Freude können wir feststellen, dass der Schüler Michael Schiestl aus Innsbruck sich so "wacker geschlagen" hatte, dass er sich eine Bronzemedaille verdiente. Herzliche Gratulation!

Physik-Olympiade-Kurse

Wie an dieser Stelle schon öfters erwähnt, beginnen bei uns alle olympischen Aktivitäten mit Physikolympiadekursen, die als spezielle unverbindliche Übung für Oberstufenschüler prinzipiell an allen AHS (und auch BHS) abgehalten werden können und normalerweise während einer Doppelstunde am Nachmittag stattfinden. In diesen Kursen sollen sich interessierte Schüler möglichst selbständig mit dem Knacken "physikalischer Nüsse" beschäftigen. Über Wettbewerbsstufen, die an der Schule, im betreffenden Bundesland und österreichweit abgehalten werden, können sich die besten bis zur Internationalen Physikolympiade qualifizieren. Jenen, die nicht so weit kommen, winken auf den verschiedenen Wettbewerbsebenen Buchpreise, Diplome (eventuell auch Sachpreise) und ab dem Landeswettbewerb auch Medaillen.

Falls Sie, geschätzte Leserin, lieber Leser, in der Oberstufe Physik unterrichten, kann ich Ihnen die Abhaltung eines solchen Olympiadekurses nur wärmstens ans Herz legen. Nicht nur die Schüler profitieren davon, auch Sie. Man bekommt so viele Anregungen, dass der "Normalunterricht" durch Neues immer wieder noch spannender und ergiebiger gestaltet werden kann.

Die nächste Internationale Physikolympiade findet vom 8. bis 16. Juli 2000 in Leicester/Großbritannien statt.



Peter Pippan (BRG Leoben), Klaus Schiessl (BG Berndorf), Michael Schiestl (BRG Innsbruck), Josef Stöckl (BRG Wörgl), Patrick Strasser (Bisch. Gymn. Graz) wurden von Mag. H. Mayr und Mag. G. Lechner betreut.

Fachbereichsarbeiten aus Physik 1999

Zur Prämierung wurden 17 Arbeiten eingereicht. Die Zahl der reinen Literaturarbeiten hat zugunsten eigener kleiner Untersuchungen abgenommen. Schwachstellen sind gelegentlich jedoch das saubere Zitieren, Rechtschreibung und Interpunktion. Das Niveau und die Ausführung sind durchwegs ausgezeichnet.

Die ÖPG hat stellvertretend für die übrigen die folgenden drei Arbeiten durch Preise ausgezeichnet und hat die Preisträger zur Jahrestagung an die Universität Innsbruck und zur Besichtigung des Forschungszentrums Seibersdorf und des Vienna Environmental Research Accelerator VERA eingeladen:

- Bozuk Marek (betreut von Mag. Kohaut Erwin, BRG12, Rosasgasse Wien): *Auserwählte Laserexperimente für die Schule*
- Flechl Martin (betreut von Mag. Oberer Arnold, BG/BRG Oeverseegegasse Graz): *Das Neutrino*
- Sonnweber Bettina (betreut von Mag. Leitl Kurt, BRG Imst): *Stationäre Ozonmessung der stratosphärischen Ozonschicht*

Die weiteren Einreichungen:

- Abart Martin (betreut von Mag. Stremitzer Bernd, BG/BRG Carnerigasse Graz): *Nach den Quarks,...?*
- Biernat Elmar (betreut von Mag. Hergan Heimo, BORG Hasnerplatz Graz): *Das Polarlicht - Sichtbares Resultat eines komplexen Prozesses*
- Fabian Daniel (betreut von Mag. Stütz Florian, Bisch. Gym. Linz): *Holographie*
- Graif Christoph (betreut von Mag. Hergan Heimo, BORG, Hasnerplatz Graz): *GPS - Die Orientierung der Zukunft*
- Javor Andrija (betreut von Mag. Natschläger Franz Josef, Kollegium Aloisianum Linz): *Hochenergetische Strahlen in der Medizin*
- Käfmüller Florian (betreut von Mag. Pachatz Gunter, BG/BRG Steinach): *Amateurfunk und seine physikalischen Grundlagen*
- Knapp Christian (betreut von Mag. Leitl Kurt, BRG Imst): *Radonproblematik in Umhausen*
- Lenz Patrick (betreut von Mag. Haider Gerold, BORG Lauterach): *Sternentwicklung*
- Marksteiner Markus (betreut von Mag. Natschläger Franz Josef, Kollegium Aloisianum Linz): *Astrofotografie*
- Mössler Martin (betreut von Mag. Hergan Heimo, BORG Hasnerplatz Graz): *Nikola Tesla - Leben und Werk eines verkannten Genies*
- Nehonsky Florian (betreut von Mag. Zawischa Felix, BRG VI Marchettigasse Wien): *Entfernungsmessung im Weltall*
- Sandor Alexander (betreut von Dr. Rath Gerhard, BRG Keplerstr. Graz): *Die Zukunft des Verbrennungsmotors*
- Schedler Fabian (betreut von Mag. Kohaut Erwin, BRG12 Rosasgasse Wien): *Selbstbau einer großen Tesla-Anlage*
- Sporn Christian (betreut von Mag. Natschläger Franz Josef, Kollegium Aloisianum Linz): *Historische Verfahren in der Fotografie*
- Waitz Sabrina (betreut von Mag. Kern Rudolf, BORG, Georgigasse Graz): *Transparente Wärmedämmung*

Die eingereichten Arbeiten werden im Einverständnis mit den Verfassern in den Bestand der Zentralbibliothek für Physik aufgenommen. Einige der Arbeiten können unter der Adresse <http://pluslucis.univie.ac.at/FBA/FBA99> eingesehen werden. Sie enthalten oft Material, das für den Unterricht einsetzbar ist.

Wie in den Vorjahren stellte der Verlag HPT, nun ÖBV-HPT, dankenswerterweise Buchpreise zur Verfügung.



Abb.: Die Preisträger M. Bozuk, B. Sonnweber und M. Flechl besuchten die Physikertagung 1999

Ausschreibung - Prämierung von Fachbereichsarbeiten Physik

Die Österreichische Physikalische Gesellschaft lädt Physiklehrer, die eine von ihnen im Schuljahr 1999/2000 betreute Fachbereichsarbeit für auszeichnungswürdig erachten, ein, diese Arbeiten bis zum **1. Mai 2000** einzureichen.

Hiezu ist es erforderlich, eine Kopie der Arbeit, welche im Einvernehmen mit dem Verfasser erstellt wurde, zusammen mit einer Begründung (etwa 1 A4-Seite) an

Univ. Prof. Dr. Walter Kutschera
VERA-Labor, Universität Wien
Währingerstraße 17
1090 Wien

zu senden. Die Arbeiten werden von einer vom Vorstand der ÖPG eingesetzten Jury beurteilt. Die Preisverleihung findet anlässlich der Jahrestagung der Österreichischen Physikalischen Gesellschaft im September 2000 in Graz statt.

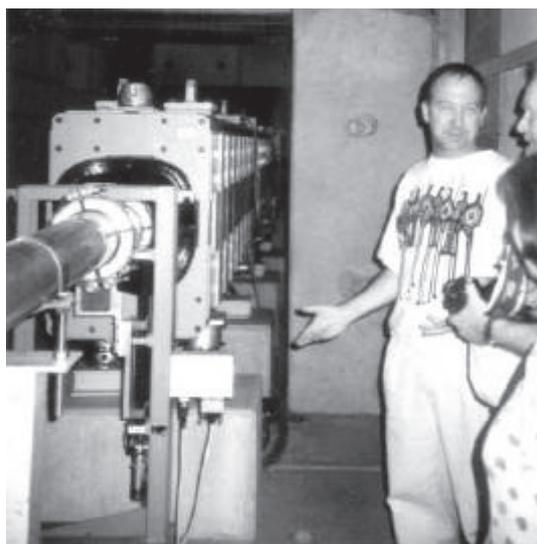
Neben einem Anerkennungsschreiben und einem Sachpreis winkt den Ausgezeichneten und ihren Betreuern ein ganztägiger Besuch eines Forschungsinstituts. Die prämierten Arbeiten sollen ferner im Rahmen der Jahrestagung als Poster präsentiert werden und über die Zentralbibliothek für Physik und den VFPC-Informationsserver der Öffentlichkeit zugänglich werden (WWW-Adresse: pluslucis.univie.ac.at).

Physiklernen soll Spaß machen!

Seminar für High School Lehrer im CERN

Bettina Burger

Jedes Jahr im Sommer tauchen viele neue Gesichter im CERN (= Europäisches Kernforschungszentrum in der Nähe von Genf) auf. Normalerweise gehören sie zu den Sommerstudenten, für die CERN jedes Jahr eine Vorlesungsreihe veranstaltet. Doch letzten Sommer wurde ein Pilotprojekt für "High School" Lehrer mit 8 Physiklehrern gestartet. Heuer durften 23 Lehrer aus 17 Mitgliedsstaaten von CERN und den USA im Juli 3 Wochen lang die Atmosphäre dieser einzigartigen "Teilchenfabrik" genießen. Ich, Lehrerin für Mathematik und Physik an der HTL in Wels, war die Teilnehmerin aus Österreich. Es war mein dritter Aufenthalt im CERN nach einer kurzen Besichtigung und einem wunderbaren viertägigen Seminar im Februar dieses Jahres mit 20 Lehrern aus ganz Österreich unter der Leitung von Dr. Christian Gottfried. Was uns schon damals überraschte, war die Offenheit, mit der uns die dort arbeitenden Wissenschaftler gegenübertraten. Sie beantworteten geduldig unsere oft von Unwissenheit zeugenden Fragen. Groß war daher meine Freude, als ich erfuhr, daß meine Bewerbung für das Sommerseminar angenommen wurde.



Welches Interesse verfolgt CERN mit diesem Projekt? Wie uns Michelangelo Mangano und Marcella Diemoz, die Koordinatoren des Seminars, erklärten, ist das Hauptziel nicht, neue Physiker auszubilden (obwohl die Zahl der Physikstudenten in vielen Ländern sinkt), sondern durch die Begeisterung der Lehrer für dieses Fach, das Interesse an modernen Naturwissenschaften bei den Schülern zu wecken und sie mit einem Basiswissen und Verständnis auch für moderne Erkenntnisse und Technologien auszustatten. "Physik Lernen soll Spaß machen"- war das Motto dieser Veranstaltung.

Ein weiterer wichtiger Punkt war der Austausch von Erfahrungen der einzelnen Teilnehmer. So stellten sich am ersten Tag alle Teilnehmer vor und gaben einen Überblick über ihren Unterricht bzw. den Lehrplan. Dieses Thema war auch Schwerpunkt aller Gespräche bei den informellen Zusammenkünften

Bettina Burger, HTL Wels, Fischergasse 30, 4600 Wels,
e-mail: b.burger@mail.asn-linz.ac.at

in der Cafeteria, wo wir vor allem die Mittagszeit und die Abendstunden verbrachten. (Übrigens trifft man dort mit etwas Glück auch auf Nobelpreisträger.) Dabei zeigten sich viele Unterschiede in der Stundenanzahl, den Lehrinhalten (so ist z.B. Teilchenphysik noch nicht überall im Lehrplan), der Klassengröße, der Ausstattung für Experimente und der Beurteilung (z.B. beurteilt teilweise ein Lehrer einer anderen Schule und stellt auch die Aufgaben). In manchen Ländern liegt der Schwerpunkt in Physik auf der Theorie inklusive Berechnungen unter Verwendung höherer Mathematik, in anderen auf der Beschreibung und Veranschaulichung der Phänomene durch Analogien aus dem täglichen Leben. Auch der Stellenwert von Experimenten ist sehr unterschiedlich, so gibt es in manchen Ländern Vorschriften über die Anzahl der durchzuführenden Experimente und die Verpflichtung für Schülerexperimente.

Diese Unterschiede waren auch bei unseren Projekten in den einzelnen Arbeitsgruppen zu berücksichtigen. Ziel dieser Aktivitäten war es, Materialien für den Unterricht über Teilchenphysik zu erstellen. So wurde die Arbeit an den Internetseiten, die letztes Jahr begonnen wurde, fortgesetzt. Man findet sie unter <http://teachers.cern.ch/> und sie beinhalten unter anderem nützliche Informationen über Lehrpläne der einzelnen Länder, Teilnehmer des Seminars, Bücherliste, Links zu wichtigen Internetseiten, Beschreibung von Experimenten, die auch in der Klasse durchgeführt werden können, (wir hatten die Gelegenheit, einige live zu erleben) und Informationen über einen Besuch bei CERN. Es wurde auch begonnen, ein Unterrichtsbuch für Schüler zu verfassen, bisher existiert jedoch nur eine Inhaltsangabe, die ebenfalls unter der oben angegebenen Adresse zu finden ist.

Jeden Vormittag verbrachten wir mit 157 Sommerstudenten im großen Auditorium um gemeinsam die Vorlesungen zu verfolgen, eine Erfahrung, die die meisten von uns schon lange nicht mehr gemacht hatten. Nach einer Einführung von Direktor Luciano Maiani standen "Strahlenschutz", "Einführung in die Teilchenphysik", "Fundamentale Konzepte", "Das Standardmodell", "Klassische Experimente der Teilchenphysik", "Große Experimente", "Teilchendetektoren", "Trigger und Datenerfassung", "Von den Rohdaten zu Physikresultaten" und "Computing im CERN" am Programm. Manchmal war das Englisch der Vortragenden das größere Problem, aber im Laufe der Zeit wurden es die mathematischen Beschreibungen und fehlende oder schon längst vergessene Kenntnisse der theoretischen Physik. Trotz dieser Schwierigkeiten waren diese Stunden eine Bereicherung, da sie einen Einblick in den neuesten Wissensstands und die Arbeitsweise der Physiker lieferten. Es wurde immer wieder auf noch offene Fragen, die sich aufgrund der Experimente bzw. Theorien ergeben, hingewiesen und in den zweimal wöchentlich stattfindenden Fragestunden diskutiert. Besonders wichtige Inhalte für den Unterricht scheinen mir nach diesen drei Wochen: der Zusammenhang zwischen Teilchenphysik, Kosmologie und Urknall und das Standardmodell mit drei Familien Leptonen (es wurde im-

mer wieder darauf hingewiesen, daß die experimentellen Daten am besten mit drei Familien übereinstimmen), den drei Quark Familien und den Austauschteilchen der vier fundamentalen Wechselwirkungen. Umfassende Informationen erhielten wir auch über den neuen Beschleuniger LHC (Large Hadron Collider), dessen Fertigstellung für 2005 geplant ist, und der im Gegensatz zum derzeitigen LEP (Large Electron Positron Collider) Protonen und Ionen beschleunigen wird. Durch die höheren Energien dieses Beschleunigers möchte man das Higgsboson nachweisen und damit die Theorie des Higgsmechanismus bestätigen, der verantwortlich für die Masse der Teilchen sein soll. Der LHC wird anstelle des LEP in die bestehende 27 km lange Tunnelröhre gebaut.

An den Nachmittagen gab es ein Spezialprogramm für uns Lehrer, etwa Vorlesungen z.B. über Teilchenphysik und Kosmologie oder Anwendungen der Beschleuniger nicht nur in der Physik, sondern auch in Medizin und Technik, die direkt für den Unterricht umsetzbar sind.

Ein Höhepunkt des Aufenthalts war zweifellos die Besichtigung eines der riesigen Detektoren des LEP, nämlich Delphi. Es ist schon ein eigenartiges Gefühl, wenn man weiß, daß während man oben am Detektor steht, Teilchen einige Meter darunter aufeinanderprallen. Besonders interessant war auch ein Nachmittag, an dem je vier bis sechs Lehrer unmittelbar an Versuchen teilnehmen und so die Arbeit eines Physikers hautnah erleben konnten.

Vielfache Informationen erhielten wir über Unterlagen von CERN für Schulen, was für mich der Grund war, diesen Artikel zu schreiben. Es werden Dia, Poster, Broschüren und Videokassetten (z. B. "Die unterirdischen Sterne" auch in Deutsch!) kostenlos an Schulen verschickt. (Übrigens gibt es Material auch von DESY in Hamburg gegen Porto.) In Planung sind eine CD-ROM mit Bildern vom CERN, die auch im Internet zur Verfügung stehen (sehr empfehlenswert: Bild der Woche: <http://outreach.cern.ch/public/cern/Page1.html>), eine CD-ROM, mit Daten von CERN Detektoren, wo Teilchen aufgrund ihrer Spuren identifiziert werden sollen. Außerdem wird für November ein Webcasting über Antimaterie direkt aus einem CERN-Studio vorbereitet.

Daß CERN auch keine Berührungängste mit anderen Forschungseinrichtungen hat, beweist die Tatsache, daß ein Nachmittag für die Öffentlichkeitsarbeit und die Aktivitäten für den Physikunterricht am Fermilab, Chicago reserviert war. (Das Fermilab bietet übrigens im Internet Information zu diesem Thema auch mit Spielen).

Zum Abschluß möchte ich noch darauf hinweisen, daß ein Besuch von CERN auch mit einer Klasse ohne große Schwierigkeiten möglich und sehr empfehlenswert ist. Auch die permanente Ausstellung: "Mikrokosmos" ist kostenlos zu besichtigen.

Es waren drei Wochen voller Information und Arbeit, aber es blieb auch Zeit für anderes, z.B. Genf zu besichtigen, wandern und feiern. Für mich war es eine wunderbare Erfahrung und ich hoffe, daß dieses Programm auch nächstes Jahr durchgeführt wird.

Genauere Informationen bzw. Internetadressen finden Sie unter <http://teachers.cern.ch/>. Für Ergänzungen dieser Internetseiten wäre ich sehr dankbar. Bitte wenden Sie sich an mich.



Ankündigung: Exkursion CERN

Seminar 920138 *K PIB Wien

Sonntag, 06. Februar 2000 bis Mittwoch, 09. Februar 2000

Ort: Europäisches Kernforschungszentrum CERN Genf

Zielgruppe: Lehrkräfte naturwiss. und techn. Fächer.

Ziel: Einführung in die neuesten Erkenntnisse der Teilchenphysik. Kennenlernen der für die Experimente nötigen Hochtechnologie. Kennenlernen des CERN als Ort internationaler Begegnung und Zusammenarbeit in Europa.

Inhalt: Standardmodell (Teilchen, Naturkräfte) und seine Beziehung zur Urknalltheorie. Experimentelle Methoden der Teilchenphysik. Die internationalen Kollaborationen am CERN. Besichtigungen: PS (Wie die Teilchenbeschleuniger arbeiten); ISOLDE und LEAR (Nukleosynthese und Antimaterie); SPS: NA48 (CP Verletzung) u. NA49 (Quark-Gluonenplasma); LEP, LHC (Z0-Fabriken) und die Jagd auf "Higgs"-Teilchen; SM 18 (die Werkstatt der Höchsttechnologie); Datenverarbeitung (wo das WWW erfunden wurde)

Programm: vormittags: Referate und Einführung zu den Führungen und Besichtigungen; nachmittags: Führungen und Besichtigungen (ein Nachmittag Genf)

Leitung: Prof. OStR DI Dr. Christian Gottfried (Höhere Technische Bundeslehranstalt Wien 1)

Lehrbeauftragte: CERN-Physiker

Bemerkungen: Die Kosten für die Fahrt und Verpflegung sind von den Teilnehmern zu tragen. Die Seminarteilnehmer werden im CERN Hostel untergebracht, wofür CERN freie Station in Aussicht gestellt hat. Der Seminarleiter bietet die Organisation einer Gruppenreise (Bahn 2. Klasse, Viererliegewagen) an, wofür mit Kosten von ca. ATS 2.000,- zu rechnen ist. Essen in den CERN Kantinen und CERN Restaurants möglich. Der Preis pro Mahlzeit bewegt sich dort zwischen SFr 8,- und SFr 18,-.

Maximale Teilnehmerzahl ist 15.

Von Teilnehmern/innen, die die Bahnfahrt in Anspruch nehmen, wird eine Anzahlung von ATS 2000,- eingehoben. Teilnehmer, die ihre Fahrt selbst organisieren, zahlen eine Kaution von ATS 900,-. Damit die Anmeldungen wirksam werden, sind die Zahlungen bei Anmeldung auf Konto "Christian Gottfried" Kto.Nr. 300 184 12 bei der "Ersten" BLZ 20111 durchzuführen. Nach Anmeldeschluss ergeht an alle Teilnehmer ein Schreiben des Seminarleiters mit den weiteren Details zur Organisation.

Anmeldung an: PIB (Grenzackerstr. 18, 1100 Wien), Fax (01) 60118-4500, z. Hdn. OstR Dr. H. Moritz

Die griechische Mythologie und der Atommüll

Günter Alfanz

Nun, Sie werden sich sicher fragen: "Was können griechische Mythologie und Atommüll schon gemeinsam haben, liegen doch mehr als zwei Jahrtausende dazwischen?" Ihnen sind sicher noch die heißen Auseinandersetzungen um die deutschen Atommülltransporte in das Zwischenlager Gorleben in Erinnerung. Man sprach immer wieder von den "Castor-Transporten". Wobei niemand so richtig erklären konnte, woher das Wort "Castor" stammt. Einige Erklärungen sprechen von einem Kunstwort aus dem Englischen (vgl. Laser, Smog etc.). Castor stamme von den Wörter *carrige* (Wagen, Beförderung, Transport) und *storage* ((Ein)Lagerung). Auch die Erklärung "*Cask for storage*" (Faß, Tonne) ist in der Literatur zu finden.

Während der Osterexkursion der ÖPG, Arbeitskreis Kärnten, die immer wieder von Mag. Josef Gröchenig, BG/BRG Spittal an der Drau, hervorragend organisiert wird und 1998 nach Berlin führte, stand ein Besuch bei der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) auf dem Programm. Diese staatliche Untersuchungsbehörde befaßt sich unter anderem auch mit der Sicherheit solcher Castor-Behälter. Als Erklärung für die Namensgebung wurde auf den in der griechischen Mythologie lebenden Kastor verwiesen.

Wer war Kastor?

Kastor und sein Zwillingbruder Polydeukes werden als die Dioskuren bezeichnet. Sie sind Brüder der Helena und Klytämestra. Die mythologische Überlieferung über ihre Herkunft ist widersprüchlich. Bei Homer ist nur Helena göttlicher Abstammung. Die anderen Geschwister sind die sterblichen Kinder des Tyndaros und der Leda. Doch die Bezeichnung Dioskuren deutet darauf hin, daß Kastor und Polydeukes als Söhne des Zeus gelten. Eine andere Version läßt Kastor einen sterblichen Sohn des Tyndareos, Polydeukes einen unsterblichen Sohn des Zeus sein.

Kastor wird als Roßbändiger, Polydeukes als Faustkämpfer berühmt. Die beiden Zwillingbrüder ziehen gegen Theseus zu Felde, der ihre Schwester Helena (von Troja), in der Mythologie die schönste Frau Griechenlands, geraubt hat. Sie erobern dabei Aphidnai und befreien ihre Schwester. Die Dioskuren nehmen am Argonautenzug teil, ziehen mit Herakles gegen die Amazonen und sind an der kalydonischen Jagd beteiligt. Bei der Hochzeit der messenischen Vettern Lynkeus und Idas bemächtigen sie sich der Bräute. Im anschließenden Kampf fällt Kastor durch die Hand des Idas, Polydeukes tötet Lynkeus. Zeus erschlägt mit einem Blitz Idas. Polydeukes wird in den Olymp aufgenommen, erbittet aber von Zeus die Erlaubnis, mit seinem sterblichen Zwillingbruder beisammen sein zu dürfen. So verbringen sie abwechselnd je einen Tag im Olymp und einen Tag in der Unterwelt.

Diese Sage beruht einerseits auf der Tatsache, daß man Kastors Grab wissen wollte, andererseits aber gehörte die Vorstellung eines gemeinsam auftretenden Zwillingspaars zum tief verwurzelten Volksglauben.

Mag. Günter Alfanz, Gymnasium der Erzdiözese Wien in Sachsenbrunn,
2880 Kirchberg am Wechsel

Die religiöse Verehrung der Dioskuren

Die Verehrung der Zwillingbrüder ging von Sparta aus, wo sie beheimatet waren und verbreitete sich über ganz Griechenland und Italien. Der Glaube an ein göttliches Zwillingspaar als Helfer in der Not kannt.

Das Auftreten von Kastor und Polydeukes bei den verschiedensten Gemeinschaftsunternehmungen (siehe oben) verdanken sie den Erfindungen einzelner epischer Dichter. Im Sieg gegen ihre beiden Vettern kommt möglicherweise der historische Sieg Spartas über Messenien zum Ausdruck.

In Rom wurden die Zwillingbrüder unter den Namen Castor und Pollux am Forum Romanum verehrt. Ihr Tempel befand sich neben den Quellen der Juturna. Der Legende nach hätten sie den Römern 499 v. Chr. bei der Seeschlacht am See Regillus erfolgreiche Waffenhilfe geleistet und die Botschaft über den römischen Sieg selbst nach Rom gebracht, wo sie ihre Pferde an diesen Quellen wuschen.

So wie Kastor in der griechischen Mythologie ein begrenztes Leben hatte, ihm also nur eine gewisse Lebensspanne "vorbestimmt" war, so ist es auch mit den Atommüllbehältern. Die Castor-Behälter sind für die Zwischenlagerung gedacht und konzipiert. Das zeigt sich auch darin, daß sie verschraubt sind und im Prinzip jederzeit wieder geöffnet werden können. Neben den Castor-Behältern sind auch Behälter für eine Atommüllendlagerung vorgesehen. Prototypen wurden bereits hergestellt. Diese werden als Pollux-Behälter bezeichnet.

Der Castor-440-Behälter

Allgemeines

Die Beschaffenheit von Castor-Behältern ist vielfältig. Als Beispiel sei der Castor-440-Behälter angeführt, der für den Transport und die Lagerung von 84 abgebrannten Brennelementen, wie sie im sowjetischen Reaktortyp WWER-440 Verwendung finden, vorgesehen. Der Behälter besteht aus einem dickwandigen Corpus, der mit Kühlrippen an der äußeren Oberfläche versehen ist. Damit soll für die Ableitung der Restwärme aus den gelagerten abgebrannten Brennstäben gesorgt werden. Im Inneren des Behälters befindet sich ein Korb aus Aluminium. Seine Ausführung soll einerseits gewährleisten, daß das gelagerte Material nicht zur Kritikalität kommt, andererseits begünstigt Aluminium die Wärmeleitung der Restwärme an die Oberfläche. Nach der Befüllung wird der Behälter getrocknet, die Luft abgesaugt und der Corpus mit Helium (0.8 bar) befüllt. Der Behälter wird mit einem System aus mehreren Deckeln verschlossen.

Technische Daten des Castor-440-Behälters

Durchmesser mit Rippen	2660 mm
Durchmesser ohne Rippen	2540 mm
Durchmesser des Innenraums	1800 mm
Länge	4160 mm
Länge des Innenraums	3260 mm
Wandstärken:	
Boden	366 mm
radialer Teil	370 mm
Primärdeckel	366 mm
Sekundärdeckel	81 mm
Material für den Corpus	Gußeisen mit Kugelgraphit GGG-40
Material für beide Deckel	rostfreier Stahl
Neutronenabschirmung	Polyethylen
Masse des leeren Behälters	93.000 kg
Masse des befüllten Behälters	120.000 kg

Bewilligter Inhalt: Brennelemente aus WWER-440-Reaktoren mit 3,6% U235 und mittleren Abbrand von 33 GWd/tU, nach einer Kühldauer im Abklingbecken von drei Jahren

Dichtungssystem der Castor-440- Behälters

Das Verschlusssystem des Primärdeckels wird durch eine Metalldichtung und eine Elastomerdichtung gebildet. Im Zwischenraum zwischen beiden Dichtungen im Primärdeckel befindet sich eine Verbindung zur Oberfläche des Primärdeckels, um Undichtigkeiten kontrollieren zu können. Bei langfristiger Lagerung wird nur die Metalldichtung überprüft. Auch beim Sekundärdeckel wird eine Metalldichtung und eine Elastomerdichtung verwendet. Für eine lange Lebensdauer der Metalldichtungen ist es notwendig, jegliche Korrosionsprozesse im Dichtungsbereich auszuschalten. Das soll durch eine Vakuumtrocknung sichergestellt werden.

Abschirmung

Die wesentliche Abschirmung erfolgt durch die 370 mm dicke Wand aus Gußeisen GGG-40 mit einer zusätzlichen Neutronenabschirmung. Diese bilden 58 Stäbe aus Polyethylen mit einem Durchmesser von 59 mm. Diese Stäbe sind in der Wandmitte in axialen Blindbohrungen, die mit Gußeisen verschlossen sind, eingelegt. Die Länge der Stäbe beträgt 3100 mm. Ferner trägt der Kohlenstoff im Gußeisen (3,5%) zur Neutronenabschirmung bei.

Literatur

Akademischer Senat der Universität Wien, Projekt "Nukleare Sicherheit": *Analyse der Sicherheitsaspekte des geplanten Brennelemente-Zwischenlagers im Areal des KKW Dukovany*, Wien, 1994

Hunger, Herbert: *Lexikon der griechischen und römischen Mythologie*, 5. Auflage, Verlag Brüder Hollinek, Wien, 1959
Microsoft Encarta '98

Exkursion Waldviertel

Das PI-Wien, Bereich Chemie führte am 7. und 8. Juni 1999 eine Bildungsfahrt ins obere Waldviertel unter Leitung von Werner Rentzsch und Christian Fürst durch, an der Kollegen aus Wien, Niederösterreich und der Steiermark teilnahmen.

Der erste Tag begann mit dem Besuch des Alchemistenmuseums in Kirchberg/Wagram, das das einzige vollständig erhaltene Labor des 16. Jahrhunderts zeigt (Lit. R.W. Soukup, H. Mayer, *Alchemistisches Gold - Paracelsistische Pharmaka*, Böhlau, Wien 1997).

Nach der Mittagspause in Weitra (Gasthausbrauerei und Stadtrundgang) folgte ein Praktikum in der letzten Papiermühle Österreichs beim Mörzinger in Bad Großpertholz. Der erste Tag endete nach kurzer Begrüßung durch den Bürgermeister im Stadtmuseum der Granitstadt Schrems, durch das uns launig und informativ eine Schremser Kollegin führte, die uns dabei den industriellen Hintergrund dieser Gegend zeigte.

Am 2. Tag standen zu Beginn drei Themen zur Auswahl: Ein Steinmetzbetrieb mit Besuch eines Granitsteinbruches, eine fast schon historische Schremser Weberei und Färberei unter besonders engagierter Führung und ein viel zu kurzer Besuch der Elektronikfirma Felten und Guillaume, ebenfalls in Schrems. Gemeinsam erfolgte dann eine Besichtigung der Glashütte Zalto in Neunagelberg. Als letzter Punkt vor der Rückreise stand eine Visite bei der Brauerei Schrems auf dem Programm.

Alle erwähnten Firmen und Personen waren in weit über das erwartete Maß entgegenkommend und bemüht, uns den Besuch informativ und nett zu gestalten. An dieser Stelle dafür ein herzliches Dankeschön. Den Teilnehmern dieser Fahrt bleiben diese Tage sicher in angenehmer Erinnerung.

Christian Fürst



In der letzten Papiermühle Österreichs

Photovoltaikanlage am Gymnasium Laaerbergstraße

Hans Heiderer

Gebaut sollte die neue Schule am Laaerberg ja schon lange werden, aber im Jänner des Jahres 1996 begannen tatsächlich die Aushubarbeiten. Doch bei der Energieversorgung der neuen Schule wollten wir mitreden. Am Anfang stand ein Projekt einer 6. Klasse. Wir montierten an der Südfassade der alten Schule ein schwenkbares Photovoltaikpanel (1 m²) inklusive Meßgeräten für Gleich- und Wechselstromkreis. Der Strom wurde direkt und meßbar ins schuleigene Netz eingespeist. Einfach, nachvollziehbar, faszinierend. "Warum nicht in einem größeren Maßstab an der neuen Schule?" war die logische Frage. Die Anlage an der neuen Schule sollte groß werden - 2000 m² - sehr groß für österreichische Verhältnisse. Ein Projektvorschlag wurde ausgearbeitet, Kontakte zu Bauaufsicht und Architekt sowie zu den Bezirksvertretern geknüpft. Die Finanzierung sollte durch *kostengerechte Vergütung* erfolgen - d.h. die Vergütung für jede ins Netz eingespeiste Kilowattstunde sollte so hoch sein, daß ein wirtschaftlicher Betrieb der PV-Anlage möglich ist.

Am 14. 9. 96 luden wir zur ersten Pressekonferenz, bei der das Projekt von SchülerInnen und LehrerInnen vorgestellt und sehr emotional diskutiert wurde. Obwohl bei dieser Pressekonferenz die Medien nur spärlich vertreten waren, trug die Veranstaltung wesentlich zur Verbreitung unserer Ideen bei. Im Bezirksparlament wurden Anträge im Sinne unseres Vorschlages gestellt, diskutiert, abgelehnt und einige Monate später doch einstimmig angenommen. Für Bundesschulen ist der Bezirk allerdings nicht zuständig. Am 5. Oktober 96 wollten wir es von Bgm. Dr. Michael Häupl wissen. Anlässlich einer Wahlkampfveranstaltung marschierten wir in die Favoritner Fußgängerzone und trugen unser Anliegen plakativ vor. Im persönlichen Gespräch gab Dr. Häupl seine Zusage zur Unterstützung des Projektes.

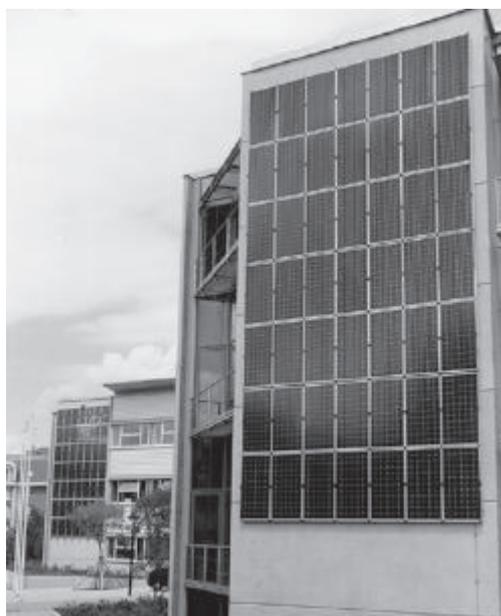
Viel Zeit vergeht: Den Weltumweltag 97 nutzten wir für unsere zweite Pressekonferenz *Sonnengespräch am Laaerberg*: Mit großem Eifer diskutierten die SchülerInnen mit Politikern, Vertretern von Wienstrom, Stadtschulrat und Energieverwertungsagentur. Am Tag der offiziellen Schuleröffnung, dem 20.10.97, bekennen sich die Festredner, unter ihnen Frau BM Gehrler und SSR-Präsident Dr. Scholz, zur Nutzung der Sonnenenergie. Im Rathaus wandert die Zuständigkeit für unser Projekt zu Herrn Obersenatsrat Dipl.Ing. Wimmer, Leiter der MA 32, der an einer raschen Umsetzung des Projektes interessiert ist. Wir legen ein neues, abgemagertes Konzept vor: Verkleidung der beiden südseitigen Betonfassadenelemente mit Photovoltaikpanelen, wobei die linke Fassade das Schullogo aus farbigen Solarzellen trägt. Unterhalb der Panele wird ein Display mit den aktuellen Daten (Leistung und Stromproduktion ab Einschaltdatum) angebracht. Der Strom wird mit 5 Wechselrichtern ins Stromnetz eingespeist. Die Wechselrichter werden in den Stiegenhäusern gut sichtbar angebracht. Eine Datenleitung verbindet die Anlage mit dem EDV-Netz der Schule.

Technische Daten: Gesamtfläche: 85 m², Leistung: 10,8 kWp. Zellentyp: monokristalline Solarzellen der Firma Sie-

mens. Logo: gefärbte polykristalline Solarzellen. (Fläche 7 m²). Wechselrichter: 4 Fronius Wechselrichter + 1 Siemens Wechselrichter (für Logo). Kosten: 1,5 Mio öS (excl. Steuern und Honorare).

Die Anlage wurde zur Hälfte vom Bundesministerium für Unterricht/Stadtschulrat für Wien und von Wienstrom finanziert.

Anfang Juni 98 wurden die Panele geliefert und rechtzeitig vor der Photovoltaikweltkonferenz, die Anfang Juli 98 in Wien stattfand, wurde unsere Anlage fertiggestellt. Das Gymnasium Laaerbergstraße besitzt nun die größte PV-Fassadenanlage an einer Schule in Österreich. In den ersten drei Monaten produzierte die Anlage schon über 3000 kWh elektrischen Strom, also fast die Hälfte des prognostizierten Jahresertrages von 7000 - 8000 kWh. Die SchülerInnen der "Sonnenschule" am Laaerberg erleben täglich und hautnah eine umweltgerechte und zukunftsfähige Form der Energieversorgung.



85 m² Photovoltaikzellen zieren die Fassade des BRG 10

Aktuell

Shell International Renewables, der Geschäftszweig von Shell für erneuerbare Energien, eröffnete am 16.11.1999 in Gelsenkirchen Europas modernste, weitgehend automatisierte Fabrik für Solarzellen. Zunächst sollen jährlich polykristalline Solarzellen mit einer Gesamtleistung von 10 MW, später mit 25 MW erzeugt werden. Die weiteren Produktionsanlagen von Shell Renewables in Holland und Japan haben derzeit eine Kapazität für 13 MW. Die Produkte werden für netzgekoppelte Anlagen von 400 W bis MW, Kleinanwendungen im Alltag und Elektrifizierung in abgelegenen Gebieten der Dritten Welt eingesetzt. Die immer noch hohen Kosten der Herstellung von Solarzellen sollen systematisch durch Verbesserung der Prozesse gesenkt werden. Die langfristige Forschung zielt auf den Ersatz der polykristallinen Zellen durch Dünnschichttechnologie ab.

Freihandexperimente

Das erfrorene Anthocyan oder die fraktionierte Erstarrung

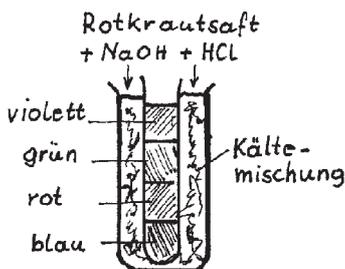
Material: Becherglas 1l - hohe Form, 4 kleine Bechergläser (z.B. 100 ml), Reagenzglas, Reagenzglasständer, Stativ und Stativmaterial, 2 Tropfpipetten, Tuch, Hammer, Kunststofflöffel, Kochsalz, Eiswürfel, Rotkrautsaft, verd. Natronlauge, verd. Salzsäure

Durchführung: Das 1l-Becherglas wird mit einer Mischung aus zerstoßenen Eiswürfeln und Kochsalz (= Kältemischung) gefüllt. In die vier kleinen Bechergläser füllt man verdünnten Rotkrautsaft; durch Zugabe von wenig Salzsäure und Natronlauge erhält man in den 3 Gläsern verschiedene Farben - Säurezugabe rot, Basenzugabe - blau, grün. Im vierten Glas läßt man die Farbe unverändert.

Nun füllt man in das Reagenzglas ca. 2 cm hoch blauen Rotkrautsaft und stellt es in die Kältemischung. Nach einigen Minuten nimmt man das RG aus der Kältemischung und füllt 2 cm hoch roten Rotkrautsaft auf die gefrorene Schicht. Ebenso verfährt man mit dem grünen und dem violetten Saft. Um die Zeit während des Erstarrens zu überbrücken, kann man außen in die Kältemischung ein wenig neutralen Rotkrautsaft träufeln und abwechselnd (nebeneinander) etwas Salzsäure und Natronlauge zutropfen.

Sind alle vier Schichten gefroren, nimmt man das RG aus der Kältemischung und spannt es gut sichtbar im Stativ ein - Reagenzglas mit einem Tuch sauberwischen.

Beobachtung: Außerhalb der Kältemischung beginnt das bunte Eis zu schmelzen. An den Farbgrenzen kommt es durch Änderungen der pH-Werte zur Ausbildung anderer Farben. Auch im großen Becherglas kommt es zu Farbveränderungen. Zusätzlich ist am Becherglas Reifbildung zu beobachten.



Hinweise:

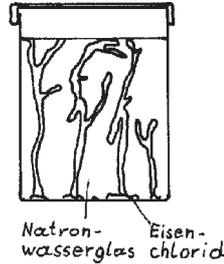
- Herstellung des Rotkrautsaftes: Feinblättrig geschnittenes Rotkraut wird in heißes Wasser gegeben - nach einiger Zeit gießt man den Rotkrautsaft durch ein Sieb ab.
- Herstellung der Kältemischung: Eiswürfel werden in ein Tuch eingeschlagen und mit einem Hammer zu "Schnee" zerstoßen. 3 Teile "Schnee" werden mit einem Teil Kochsalz gut vermengt (Temperatur bis ca. - 20° C).
- Der Rotkrautsaft muß so stark mit Wasser verdünnt werden, dass die Farben im Reagenzglas durchscheinend sind.
- Die Schichtung der einzelnen Farben kann natürlich auch anders als beschrieben vorgenommen werden. Möchte man noch mehr verschiedene Schichten, nimmt man weniger Flüssigkeit (z.B. 1 Schicht nur 1 cm hoch).

Aufschießen eines Marsbaumes

(Aus Schwedt, *Goethes chemische Experimente* - siehe Buchbesprechungen)

Gerät: Präparateglas (mit Deckel)

Chemikalien: Natronwasserglas (Xn, R 22-37/38-41, S 26-37/39), entmin. Wasser, Eisen(III)chlorid in Kristallform (Xn, gesundheitsschädlich, reizend, R 22-38-41, S 26-39)



Durchführung: Das Natronwasserglas (ölige Flüssigkeit) wird mit entmin. Wasser verdünnt (gründlich umschütteln) - gestuft 1:2, 1:3, 1:4, 1:5. Ein Teil der Lösung wird jeweils in ein verschließbares Präparateglas gefüllt, der Boden mit Eisen(III)chlorid-Kristallen bedeckt, die man nach und nach mit Hilfe einer Pinzette hineinbringt. Schon

nach wenigen Minuten "wachsen" dicke braune, oft verzweigte und eingeschnürte Äste in die Höhe. Die Lösung kann abgesaugt werden, so daß sich "trockene" Marsbäume gewinnen lassen.

Erläuterung: Das sich in der Wasserglaslösung auflösende Eisen(III)chlorid setzt sich zu schwerlöslichem Eisen(III)silicat $Fe_2(SiO_3)_3$ um, das auf dem Kristall ein kleines Häutchen bildet. Die Membran ist semipermeabel, Wasser diffundiert in den Zwischenraum zwischen Kristalloberfläche und der Membran des Eisen(III)silikats und löst dort erneut einen Teil des Metallsalzes. Diese konzentrierte Salz-Lösung in unmittelbarer Umgebung des Kristalls hat das Bestreben sich zu verdünnen und zieht daher mehr Wasser an. Dadurch steigt der osmotische Druck, die Membran platzt schließlich auf. Nach einigen Stunden sind diese sich wiederholenden Vorgänge beendet, die Metallsilicate erstarren.

Hinweise von Werner Rentzsch:

- Sehr schön läßt sich dieser Versuch in einem kleinen Marmeladeglas mit Schraubdeckel ausführen - bei Verwendung von Bechergläsern ist darauf zu achten, dass man die Flüssigkeit nicht zu lange (mehrere Wochen) im Glas beläßt; die Flüssigkeit wird hart und das Becherglas läßt sich nicht mehr reinigen.
- Während des Kristallwachstums dürfen die Gläser nicht bewegt werden - die empfindlichen braunen "Korallen" brechen sehr leicht ab.
- Das Absaugen der Flüssigkeit ist problematisch; meist zerbrechen die zarten Kristalle.
- Statt den ganzen Boden mit Kristallen zu bedecken, können auch nur wenige Kristalle in die Flüssigkeit eingebracht werden. Schwimmen die Kristalle an der Oberfläche, stößt man sie leicht mit einem Glasstab an, bis sie zu sinken beginnen.
- Eine für den Versuch günstige Verdünnung Wasserglas zu Wasser ist das Verhältnis 1:4; der Versuch gelingt auch, wenn das Wasserglas nur mit Leitungswasser verdünnt wird.
- Sehr schöne "Chemische Gärten" mit "Pflanzen" in den verschiedensten Farben und Formen erhält man auch bei Verwendung der folgenden Salze: Kupfersulfat, Cobaltnitrat, Cobaltchlorid, Nickelsulfat, Aluminiumsulfat, Bleinitrat, Manganchlorid, Mangansulfat, Kupfernitrat, ...

Werner Rentzsch

Bücher

Goethes chemische Experimente

Georg Schwedt

Unterrichtshilfen Naturwissenschaften, ISBN 3-7614-2170-2, Aulis Verlag Deubner&CoKG, Köln 1999, DM 28,-

Ein neues Experimentierbuch von Georg Schwedt folgt dem Buch "Farbstoffen analytisch auf der Spur" aus dem Jahr 1996. Rechtzeitig im "Goethejahr" erschienen, behandelt das Buch die chemischen Arbeiten Goethes, die sicher weniger bekannt sind als seine berühmte Farbenlehre.

In einer längeren Einführung beschreibt der Autor Goethes Zugänge zur Alchemie und Chemie, die z.B. in alchemistischen Szenen im "Faust" ihren Niederschlag finden.

Faust zu Mephistopheles:

"Mir widersteht das tolle Zauberwesen;

Versprichst du mir, ich soll genesen,

In diesem Wust von Raserei?

Verlang ich Rat von einem alten Weibe?

Und schaffst die Sudelköcherei

Wohl dreißig Jahre mir vom Leibe?

Weh mir, wenn du nichts Bessers weißt!

Schon ist die Hoffnung mir verschwunden.

Hat die Natur und hat ein edler Geist

Nicht irgendeinen Balsam ausgefunden?"

Goethe wäre so einem Lebenselixier im höheren Alter sicher nicht ganz abgeneigt gewesen.

Unerwähnt bleibt das Treffen im Oktober 1819 in Jena, das zwischen Goethe und dem Chemiker Friedlieb Ferdinand Runge stattfand. Runge zeigte Goethe an einem Katzenauge die Wirkung von Bilsenkraut und erhielt als Dank dafür eine Schachtel mit Kaffeebohnen, aus denen er später das Coffein isolierte.

Es folgt ein längerer Experimenteteil mit 36 Versuchen, die sowohl alchemistische wie auch wissenschaftliche Arbeiten beschreiben. Vor jedem Experiment wird der Zusammenhang beschrieben, wann und warum dieses durchgeführt wurde. Die Versuche sind nach dem Schema: Geräte, Chemikalien, Durchführung und Erläuterung gegliedert.

Aus dem Vorwort des Herausgebers Prof.Dr. Heinz Schmidkuz: "Der Inhalt des vorliegenden Büchleins läßt sich sehr gut unterrichtsbezogen und handlungsorientiert auswerten. In fast idealer Weise können historische Bezüge mit Alltagsvorgängen zusammen mit dichterischen Aspekten in den Chemieunterricht einfließen. Es ist gut denkbar, einmal 'Chemie bei Goethe' oder 'Goethe und Chemie' als Projekt oder projektorientiert zu gestalten. In vortrefflicher Weise eignen sich die Ausführungen in dem Buch für eine Präsentation des Themas in der Schule oder für einen Elternabend. Der Autor hat die Thematik bereits sehr gut aufgearbeitet, so daß es nicht schwer fällt, sie gestaltend in den Unterricht umzusetzen."

Ein einfacher Versuch aus dem Büchlein wird bei den "Freihandexperimenten" beschrieben.

Werner Rentzsch

Unterricht Chemie: Band 9 - Formeln und Reaktionsgleichungen

Alfred Schleip, Georg Köhler

Aulis Verlag Deubner & CoKG, Köln 1998, ISBN 3-7614-2064-1, DM 42,-

Im neunten Band der Reihe "Unterricht Chemie" werden die beiden Themen Formeln und Reaktionsgleichungen behandelt. Bisher erschienen die folgenden Bände: "Säuren und Basen", "Wasser", "Metalle", "Salze", "Atombau und chemische Bindung", "Luft", "Materie/Stoffe - Reinstoffe - Stoffgemische" und "Boden" - geplant sind noch die Bände 10 - 19.

Wie in den vorhergehenden Bänden ist der Inhalt folgendermaßen gegliedert: fachliche und didaktische Grundlagen, Sequenzen von Unterrichtseinheiten zum Thema "Formeln und Reaktionsgleichungen" sowie ein Anhang mit Glossar, Literaturverzeichnis und einem ausklappbarem Faltblatt (R- und S-Sätze, Gefahrenstoffkennzeichnungen, Sicherheit und Entsorgung). In einer Klarsichttasche der Einbandinnenseite befinden sich noch farbige Overheadfolien - "Periodensystem der Elemente", "Wichtige Strukturtypen von Ionenkristallen" und "Lösen eines Ionenkristalls in Wasser".

Vom unterrichtspraktischen Teil sind die im Band enthaltenen 50 (!) Folienvorlagen und die 29 Arbeitsblätternvorlagen hervorzuheben. Genau behandelt werden die verschiedenen Bindungsarten und dazugehörig die entsprechenden Experimente.

Aus dem Vorwort der Autoren: "Die chemische Formelsprache und das Aufstellen von Reaktionsgleichungen erfreut sich bei den Schülern nicht gerade großer Beliebtheit. Es soll nicht verkannt werden, dass es sich um eine schwierige und abstrakte Thematik handelt, die an den Schüler erhebliche Anforderungen stellt. Umso notwendiger ist es, die Materie didaktisch so aufzubereiten, dass dem Schüler unnötige Abstraktionen erspart bleiben und dass man ihm ein Instrumentarium an die Hand gibt, das ihm entsprechende Hilfen bietet. Ohne Lernbereitschaft geht es natürlich nicht, aber das Lernen sollte so erfolgen, dass es zu Verzahnungen und einem Netz von Hilfen führt, die verhüten, dass Reaktionsgleichungen ohne tieferes Verständnis auswendig gelernt und rasch wieder vergessen werden." "Im Vordergrund unserer Bemühungen stand und steht der Schüler, dem wir Hilfen geben wollen, die nicht immer einfache Materie der chemischen Formelsprache zu bewältigen."

Die Inhalte in diesem Themenband sind sehr anschaulich behandelt und können gut zur Behandlung der Themen "Bindungsarten", "Aufstellen von Formeln" und "Erstellen von Reaktionsgleichungen" verwendet werden.

Werner Rentzsch

Neue Wege im Elektrikunterricht.

Vom Tun über die Vorstellung zum Begriff

Heinz Muckenfuss und Adolf Walz

2. überarb. Aufl., Unterrichtshilfen Naturwissenschaften, Aulis Verlag Deubner & Co KG Köln, 1997. 205 S., 89 Abb., DM 32,-, ISBN 3-7614-1922-8

Unter verschiedenen Gesichtspunkten hat das in 2. Auflage vorliegende der praktischen Didaktik zuzurechnende Büchlein an Aktualität eher gewonnen: Der immer wiederkehrende Befund des geringen Erfolgs von Physikunterricht auch in Bereichen mit starkem Alltagsbezug wurde durch die Ergebnisse der TIMS-Studie erhärtet, in neuen Lehrplänen wird das Tun im Physikunterricht stark betont.

Zwei Aspekte zeichnen das im wesentlichen von Heinz Muckenfuss, der manchen Teilnehmern der Fortbildungswoche 1997 noch in Erinnerung sein dürfte, verfaßte Büchlein aus: Eine scharfe fachdidaktische Analyse der Schwierigkeiten des herkömmlichen Unterrichts, insbes. der Elektrizitätslehre, von den Problemen des Übergangs von Umgangssprache zu Fachsprache (wobei auch der Physiklehrer durch seinen Gebrauch der Alltagssprache zur Verwirrung beiträgt) - die aus der didaktischen Literatur bekannten Fehlvorstellung/naiven Vorstellungen sind ja durch den vorangegangenen Unterricht mitgeprägt - bis zur Überfrachtung des Unterrichts mit Lehrinhalten, die zur Allgemeinbildung wenig beitragen. Gerade diese Fülle an Details, die nur für den Fachmann wichtig sind, wirkt auf viele Schüler (und insbesondere Mädchen) abschreckend und lähmt die Motivation. Und andererseits bietet er einen in der Praxis von verschiedenen Lehrkräften erprobten neuen Ansatz zum Unterricht.

Das Buch ist in vier Kapitel gegliedert. Kapitel 1 nennt Beweggründe zur Umgestaltung des Elektrikunterrichts und befaßt sich speziell mit den Zielen eines allgemeinbildenden Unterrichts zur Elektrizität und mit Problemen der Sprache und Nomenklatur. Kapitel 2 diskutiert Grundlagen der elektrischen Energieübertragung unter pointiert fachdidaktischem Gesichtswinkel. Insbesondere geht es um begriffliche Klarheit, dieses Thema wird in Kapitel 4 von Walz unter der Überschrift "Zur Physik elektrischer Stromkreise" auf höherer Ebene wieder aufgegriffen und durch Betrachtungen zur Elektronenbewegung in Metallen, zur Felderzeugung, zu Wandlern, bis zum Pegelkonzept der Elektronik vertieft. Diese Kapitel diskutieren in gelungener Darstellung Themen, die in der Ausbildung unter dem Stoffdruck zu kurz kommen, jedoch grundlegend sind.

Kapitel 3 stellt mit über 100 Seiten das zentrale Kapitel dar und skizziert den Unterrichtsgang, in dem die Energieübertragung das didaktische Leitmotiv ist. Dies wird in handlungsorientierter Form vorgeschlagen, wofür Muckenfuß den bei Cornelsen (hier beim Verlag Ivo Haas in Salzburg) erhältlichen robusten handbetriebenen Gleichstromgenerator/motor perfektioniert hat. Der Unterrichtsgang ist in 11 Einheiten gegliedert, von denen die unkonventionellen ausführlich besprochen werden. Als Abfolge wird vorgeschlagen: Zweck elektrischer Anlagen. Was bewegt sich im Leiter? Wie kann man Elektronen anschieben? Strommessung. Elektronenstrom und Energie-transport. Quellenspannung. Spannung an Leitern und Widerstand. Ohmsches Gesetz. Berechnung von Energieumsätzen. Von Oerstedt zum Elektromotor. Von Faraday zum Transformator. Zu 7 der 11 Einheiten folgen eingehende Diskussionen

der Unterrichtsziele, des Unterrichtsweges (bei dem aber der eigenen Kreativität keine Grenzen gesetzt werden sollen, und didaktische, fachliche und technische Anmerkungen. Dort werden eine Fülle von einfachen Experimenten beschrieben, die vor allem von den Schülerinnen und Schülern durchgeführt werden sollten - allein wegen dieser Experimente wäre das Buch sehr zu empfehlen, doch wird sich der Leser der Argumentation von Muckenfuß nicht entziehen können, die ein kohärentes Bild vermittelt.

Empfehlenswert für Lehrer der Unter- und Oberstufe, wie auch Studierenden, die sich eigener Verständnisschwierigkeiten bewußt auf die Suche nach einem didaktischen Modell der Elektrizitätslehre machen.

Abschließend sei dem Verfasser noch das Wort erteilt: "Der Physikunterricht soll kommenden Generationen Grundkenntnisse, Einstellungen und Haltungen vermitteln, die in der alltäglichen Auseinandersetzung mit Fragen einer sinnvollen Lebensgestaltung ihren Wert erweisen müssen. ... Dazu muß die Lebensbedeutsamkeit für den Lernenden stets erkennbar sein. Zum anderen erfordert die Fähigkeit zur Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen und technischen Fragen Ordnungsstrukturen, die es dem Einzelnen ermöglichen, sich in der Vielfältigkeit seines Wissensbestandes zurechtzufinden. Diese Ordnungsstrukturen können sich nicht in den traditionellen Einteilungen der Physik in Fachgebiete erschöpfen, denn diese strukturieren ... nicht die Lebenswelt des naturwissenschaftlich gebildeten Laien. Es wird eine der ... künftigen Aufgaben der Didaktik sein, für den Laien fruchtbare Strukturen unseres Wissensbestandes herauszuarbeiten, die ... auch eine fachlich-systematische Unterweisung ermöglichen. Letztere ist ... nicht verzichtbar, wenn nicht ein oberflächliches Reproduktionswissen in Kauf genommen werden soll..."

Sonnenfinsternisse und andere faszinierende Erscheinungen am Himmel

Andreas Walker

189 Seiten, 45 Farb- und 130 sw-Abb., geb., öS 364,-. Birkhäuser Verlag 1999. ISBN 3-7643-6024-0

Die Sonnenfinsternis 1999 ist vorbei, ein gewisser Rest an Interesse darf bei Schülern für ein, zwei Jahre angenommen werden. Da kommt ein populäres Buch gerade recht, das Sonne, Mond und ... zum Thema nimmt. Der kulturelle Aspekt kommt nicht zu kurz (Sonnenfinsternisse in der Literatur), auch geographische Kuriositäten wie ein Loch in einer schweizer Felswand, durch das die Sonne zweimal im Jahr eine Kirche beleuchtet. Die Stärke des Buches sind die zahlreichen Abbildungen, durch die die Aufmerksamkeit auf immer wiederkehrende Erscheinungen (z.B. variable Neigung des Halbmonds) gelenkt wird. Zur Sonnenfinsternis 1999 sind dem Autor einige eindrucksvolle Bilder des wolkenverhangenen schwarzen Mittagshimmels im Saarland gelungen. Jenen Lesern, die auch im Regen standen, mag dies ein Trost sein, während die Glücklichen, die die Verfinsterung bei klarem Himmel erleben konnten, auf diese Weise einen besonderen Eindruck von Düsternis erhalten können. Nach der Lektüre wird man sicher etwas aufmerksamer die Variation der Sonnen- und Mondbahn am Himmel und verwandte Erscheinungen betrachten. Als Geschenk für interessierte Laien ist das Buch zu empfehlen. H.K.