Von IMST² zu IMST3

Das Projekt IMST² - Innovations in Mathematics, Science and Technology Teaching - endet mit Ende September 2004. Eine Analyse der Ergebnisse der österreichischen Maturanten in Mathematik und Physik bei der TIMS-Studie führte zum Vorschlag an das Unterrichtsministerium, den zahlreichen, jedoch isoliert ablaufenden innovativen Unterrichtsentwicklungen einen Rahmen und ein Podium für Verbreitung einzurichten. So begann auf Initiative von Prof. Konrad Krainer (IFF Klagenfurt) im Oktober 2000 das Pilotjahr von IMST². Im Lauf dieses Pilotjahres konnte das BMBWK überzeugt werden, dass ein solches Projekt nur Sinn macht, wenn es über mehrere Jahre finanziell gesichert abläuft.

Mit dem Projekt IMST² (2000-2004) wurden zwei wichtige Aufgaben verfolgt:

1. Initiieren, Fördern und Sichtbar-Machen von Innovationen sowie deren wissenschaftsgeleitete Analyse und Verbreitung, mit besonderem Augenmerk auf die Erarbeitung von Konzepten von "good practice" und auf Professionalisierung.
2. Mitwirkung beim Aufbau eines Unterstützungssystems für die Weiterentwicklung der Schulpraxis im Bereich der Mathematik und Naturwissenschaften, wobei hier die Erfahrungen von (1) kontinuierlich einfließen sollen.

Die erste Aufgabe wurde im Rahmen der vier IMST²-Schwerpunktprogramme - Grundbildung, Entwicklung von naturwissenschaftlichen Schwerpunkten, Lehren und Lernen sowie Praxisforschung mit Fokus auf selbstständiges Lernen - für AHS-Oberstufe und BHMS in Angriff genommen. Aus über 10% der in Frage kommenden Schulen nahmen in den vier Projektjahren Lehrkräfte teil. Die Dokumentationen der durchgeführten Unterrichts- und Schulentwicklungsprojekte sind über Internet verfügbar, insgesamt bereits über 200. Über die Arbeit in den Schwerpunkten wurde im IMST²-Newsletter laufend berichtet. Ein weiterer Erfolg ist die Mitwirkung des Grundbildungsteams beim neuen AHS-Oberstufenlehrplan.

Im Rahmen der zweiten Aufgabe wurde dem BMBWK ein Unterstützungssystem mit sieben Maßnahmen (Aufwertung von Fachkoordinatoren und Arbeitsgemeinschaftleitern, regionale Netzwerke, Förderung der Fachdidaktiken und Einrichtung eines Instituts für Unterrichts- und Schulentwicklung, MNI-Fonds) vorgeschlagen. Diese stellen zusammen das Nachfolgeprojekt IMST3 dar. Sie sollen die Infrastruktur des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts nachhaltig verbessern.

Neben den regionalen Netzwerken, die in der Steiermark und in Wien bereits eingerichtet sind, wird der Fonds für Unterrichts- und Schulentwicklung - Didaktik der Mathematik, Naturwissenschaften und Informatik (MNI-Fonds) am Unmittelbarsten wirksam werden. Er wird ab Herbst 2004 eingerichtet, finanziell ist er zumindest bis 2006 gesichert.

Der MNI-Fonds bringt folgende Neuentwicklungen:

1. er unterstützt auch Entwicklungsprojekte der Unterstufe, bezieht also auch die Hauptschulen (und PTS) ein;
2. er bringt eine einheitliche Förderstruktur (Sach-, Beratungs- und Reisekosten, Honorar für den Projektbericht) mit einem klaren Konzept zur Projektunterstützung und -vernetzung;
3. er führt die erfolgreichen Initiativen IMST² und Naturwissenschaftswerkstatt zusammen;
4. er nimmt durch eine Unterscheidung in "Einsteiger"-, Normal- und Multiplikatorenprojekte auf einen unterschiedlichen Unterstützungsbedarf Rücksicht;
5. er bündelt in sechs Schwerpunkten Projekte mit verwandten Zielen;
6. er bietet zusätzliche Seminare zu aktuellen Themen an;
7. er unterstützt die Leitlinien von Gender Sensitivity und Gender Mainstreaming in allen Schwerpunkten;
8. er unterstützt als Nachwuchsförderung auch Sachkosten bei fachdidaktischen Dissertationen.

Was ist unter Entwicklungsprojekten zu verstehen?

Gefördert werden sowohl Vorhaben zur Entwicklung von Unterricht im Bereich der Mathematik, Naturwissenschaften inklusive Geografie und Informatik sowie verwandter Fächer - beispielsweise die Ausarbeitung und Erprobung neuer Zugänge zu Grundkonzepten wie etwa Grundvorstellungen zum Funktionsbegriff - als auch Schulentwicklungsvorhaben, an denen die MNI-Fächer maßgeblich beteiligt sind - beispielsweise Schwerpunktbildungen, bzw. Entwicklung der MNI-Anteile in Schulprofilen. Weitere Beispiele finden sich im Ausschreibungstext in diesem Heft. Sie sollen sich aber dadurch in Ihrer Fantasie nicht einschränken lassen.

Analog zu den bisherigen IMST²-Schulprojekten spielen Evaluation und Dokumentation eine wichtige Rolle, sie sind gerade für die Verbreitung erprobter guter Praxis wesentlich.

Um die Nachhaltigkeit von Unterrichtsentwicklungen zu vergrößern, sind Teams von Lehrkräften - auch schulübergreifend - besonders zur Teilnahme eingeladen, was aber partnerlose Interessenten nicht an der Teilnahme hindern sollte. Wichtig ist die Unterstützung durch die Schulleitung, die Projekte sollen zur Weiterentwicklung des Unterrichts beitragen, sie sind keineswegs "Privatsache" der Engagierten.

Das Neue baut auf dem Alten auf, und doch gibt es viele Unsicherheiten. Wie wird die Ausweitung auf die Unterstufe funktionieren, wie lassen sich die berufsbildenden Schulen in stärkerem Maß als bisher ansprechen? Wird es gelingen, innerhalb der neuen Schwerpunkte Synergien zu fördern, die Breitenwirkung zu stärken? Mit Ihrer Beteiligung wird der MNI-Fonds bald effizient arbeiten.

Die Einreichfrist 31. Mai 2004 ist knapp, damit ein Neustart mit Schulbeginn möglich ist, der ein kräftiges Signal für den mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht setzt. Noch im Juli wird über die Förderung der beantragten Vorhaben entschieden, am 23. September erfolgt mit der Tagung "Innovationen" in Klagenfurt ein Abschluss und Neubeginn.

Es lädt Sie herzlich zur Mitarbeit ein

Ihr Helmut Kühnelt

Fonds für Unterrichts- und Schulentwicklung Mathematik, Naturwissenschaften, Informatik

Das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur, Abteilungen I/3 und II/8, gibt die neue Unterstützungsstruktur für Projekte der Mathematik-, Informatik und Naturwissenschaftsdidaktik, den Fonds für Unterrichts- und Schulentwicklung (MNI-Fonds), bekannt. Lehrerinnen und Lehrer der Unterstufe (Hauptschule, PTS, AHS-Unterstufe), der Oberstufe (AHS, BMHS) und aus dem tertiären Bildungsbereich (Universitäten, Pädagogische Akademien), wie auch Dissertanten aus den Fachdidaktiken werden eingeladen, Projekte und Innovationsvorhaben in den MNI-Fächern (Mathematik, Physik, Biologie, Chemie, Geographie, Ernährungslehre, Informatik, sowie verwandte Fächer) beim MNI-Fonds für Unterrichts- und Schulentwicklung einzureichen.

A. Was ist der "MNI-Fonds"?

Der MNI-Fonds unterstützt finanziell und organisatorisch ab Herbst 2004 schulpädagogische Initiativen an österreichischen Schulen und schulbezogene fachdidaktische Forschung zur wirksamen Stimulierung von Innovationen im Unterricht und in der Schulentwicklung, in der Professionalisierung der Lehrenden und systemischen Weiterentwicklung an den Schulstandorten. Er richtet sich dabei bevorzugt an Lehrerteams (auch schulübergreifend), steht aber auch einzelnen Lehrkräften und Studierenden offen. Er setzt die beispielsweise im IMST²-Projekt (http://imst.uni-klu.ac.at) sowie in der Naturwissenschaftswerkstatt NWW (http://www.nww-web.at) erfolgreich angelaufene Förderung von Innovationen nach einem einheitlichen Konzept fort.

Die geförderten Projekte können von der Entwicklung und Erprobung von Unterrichtseinheiten und Kursen über die Selbstevaluation des eigenen Unterrichts bis hin zu größeren Forschungs- und Entwicklungsprojekten und Dissertationen reichen. Der MNI-Fonds versteht sich ausdrücklich auch als eine Plattform zur Unterstützung von kreativen und innovativen Vorhaben, sofern sie einen Beitrag zur Weiterentwicklung des MNI-Unterrichts erwarten lassen.

Ein wichtiges Kriterium für die Förderwürdigkeit - auch bei fachdidaktischen Projekten und Dissertationsvorhaben - ist ein unmittelbarer Bezug zu konkretem Unterricht. Damit wird sichergestellt, dass sich das geförderte Projekt direkt im Unterricht auswirkt und somit auch auf Unterrichtsebene evaluierbar ist.

Der Fonds ist in sechs Schwerpunkte gegliedert:

1. Lernen mit Neuen Medien:
Projektthemen betreffen u.a.: Lernen und Lehren mit elektronischen Medien; Entwicklung und Erprobung von e-learning- und webbasierten Materialien; Didaktik und spezifische Unterrichtsmethoden im IKT-gestützten Unterricht; Veränderung der Lerninhalte bei Einsatz von elektronischen Lernhilfen, Computeralgebra, CAD-Programmen, online Datenerfassung; Leistungsdifferenzierung und Leistungsbeurteilung in computergestützten Unterrichtseinheiten.

2. Grundbildung und Standards:
Projektthemen betreffen u.a.: Unterrichtsentwicklung unter dem Grundbildungsaspekt; schulpraktische Umsetzung von fachdidaktischen Entwicklungsarbeiten, z.B. zu Grundvorstellungen in Mathematik; Erprobung von Standards; Schnittstellenprobleme beim Wechsel von Schulstufen, Schultypen und Ausbildungsformen, beim Übergang von HS zu AHS/BHS, von HS/AHS zu BHS, von AHS/BHS zu Universität und Fachhochschule; schultypenspezifische Fragestellungen; Sicherung von MNI-Grundbildung durch Schulentwicklung.

3. Themenorientierung im Unterricht:
Projektthemen betreffen u.a.: Naturwissenschaften und Mathematik im Kontext; Entwicklung und Erprobung von Unterrichtsgängen zu Lehrplaninhalten insbes. unter dem Gesichtspunkt eines sinnstiftenden Lernens; Berücksichtigung von schülerrelevanten Themen, Entwicklung und Erprobung von Materialien und Unterrichtsbeispielen für fächerübergreifende Kooperationsformen; Entwicklung von Bedeutung und Verständnis von Begriffen, Methoden, Verfahren, Theorien; Alltags- und Fachsprache im Unterricht.

4. Interaktionen im Unterricht:
Projektthemen betreffen u.a.: Entwicklung und Erprobung von Unterrichtsmethoden im MNI-Bereich; wirkungsvolle Unterrichtsanalysen und nachhaltige Veränderungen von Normalunterricht; Formen der Leistungsbeurteilung und ihre Rückwirkung auf die Unterrichtspraxis; Leistungsdifferenzierung; gezielte Maßnahmen zum Ausgleich, bzw. zur Verhinderung von gruppenspezifischen Benachteiligungen;

5. Teambezogenes und selbstständiges Lernen:
Projektthemen betreffen u.a.: Praktisches Arbeiten in kleinen und großen Gruppen (z.B. Schülerexperimente in Unter- und Oberstufe, Laborunterricht); Schulentwicklung in Hinblick auf MNI-Schwerpunkte; fächerübergreifende Aspekte; "Angreifen und Begreifen"; handlungsorientierter Unterricht; Lernen durch Lehren.

6. Anwendungsorientierung und Berufsbildung:
Projektthemen betreffen u.a.: Lernen durch Anwenden; außerschulische Lernorte; Verbindung von theoretischer und praktischer Ausbildung; Reorganisation und Evaluation von Praktika/Fachlabors; spezifische Probleme des MNI-Unterricht an berufsbildenden Schulen; Berufsorientierung an allgemein bildenden Schulen; Verbindung von Berufsbildung und Grundbildung.

In allen Projektanträgen sollen folgende Prinzipien angemessen beachtet werden:
- Gender sensitivity und gender mainstreaming
- Lernen im sozialem Umfeld
- Methodenvielfalt
- Selbstständigkeit und Eigenverantwortung im MNI Unterricht
- Fächerverbindendes und fachspezifisches Arbeiten
- Aus Fehlern lernen - Leistungsbeurteilung im Sinne einer förderlichen Rückmeldung

Innerhalb jedes Schwerpunkts sind drei Stufen der Mitarbeit vorgesehen:

Stufe 1 richtet sich vorwiegend an engagierte Lehrer und Lehrerinnen, die Erfahrung mit Reflexion, Evaluation und Dokumentation von Unterrichtsinnovationen gewinnen wollen oder Unterstützung, Beratung und Projektbegleitung von außen suchen. Die Projekte sind in kleinem Rahmen angelegt (Kleinprojekte, kleinere Unterrichtssequenzen, etc).

Stufe 2 richtet sich vorwiegend an Lehrerinnen und Lehrer, die einschlägige Erfahrung bei der Durchführung, Weiterentwicklung, Reflexion, Evaluation und Dokumentation von Unterrichtsinnovationen oder Projekten haben. Projektumfang und Zeitrahmen erreichen ein größeres Ausmaß als in Stufe 1.

Stufe 3 richtet sich vorwiegend an Lehrerinnen und Lehrer, die bereits entwickelte und erprobte Unterrichtsinnovationen weiterentwickeln und Unterrichtssequenzen im Rahmen von Seminarreihen weitergeben (Multiplikatoren), um sie so anderen Lehrkräften und Ausbildnern/-innen zugänglich zu machen.

B. Welche Unterstützung bietet der MNI-Fonds?

Der MNI-Fonds fördert Sach- und Beratungsaufwendungen, die in unmittelbarem Zusammenhang mit den Innovationsvorhaben stehen:

a) Sachkosten wie zum Beispiel Verbrauchsmaterialien, Literatur, Unterrichtssoftware, etc. (Stufe 1: max. € 500,-; ab Stufe 2 max. € 1000.-).

b) Kosten für Beratung und Unterstützung durch Experten, für Durchführung und Auswertung von projektbezogenen Erhebungen, Befragungen, Unterrichtsanalysen und Evaluationen, für das zusätzliche Seminar- und Fortbildungsangebot des Fonds (max. € 2000.-).

c) Honorar für das Verfassen des Projektberichtes
(Stufe 1: € 500,-; ab Stufe 2: € 1000.-).

Aufwendungen, die bereits durch Dritte finanziert werden oder der allgemeinen Infrastruktur der betreffenden Bildungseinrichtung zuzurechnen sind (Kopien, allgemeine Literatur, Computerausstattung, Netzwerkkosten, etc…) werden nicht finanziert.
Höhere Förderungen in a) und b) werden nur in besonders begründeten Ausnahmefällen gewährt.
Dissertationen werden mit max. € 2000,- pro Antrag gefördert.
Nähere Details entnehmen Sie direkt den Erläuterungen zum Antragsformular auf der Homepage des MNI-Fonds.

Förderung von fachdidaktischen Dissertationen

Zur Nachwuchsförderung in der Fachdidaktik unterstützt der MNI-Fonds auch einschlägige fachdidaktische Dissertationen in den MNI-Fächern. Finanziert werden Sachaufwände bis € 2.000,- pro Jahr. Die Abwicklung der Dissertationsförderungen erfolgt direkt durch den Fonds-Vorstand.

C. Von der Antragstellung zum fertigen Projekt

1. Informationen zum MNI-Fonds:
   - auf der Fonds-Webseite http://imst.uni-klu.ac.at/mni
   - optionale Beratung zur Antragstellung im Rahmen von Informationsveranstaltungen im Mai 2004
   - bei den Ansprechpersonen der einzelnen Fonds-Schwerpunkte, für Dissertationsprojekte beim Fondsvorstand.
2. Projektantrag: Der Projektantrag erfasst alle Angaben, die für die Entscheidung über die Förderwürdigkeit des Vorhabens relevant sind. Die Antragstellung soll sinnvollerweise im Einvernehmen mit der Direktion der betreffenden Schule erfolgen (gilt nicht für Dissertationsprojekte). Die Antragstellung bitte ausschließlich über das elektronische Formular (http://imst.uni-klu.ac.at/mni/antrag/) durchführen!
3. Begutachtung und Genehmigung des Antrages: Der Antrag wird von der Fonds-Leitung zur Begutachtung an ein Expertenteam übergeben. Das Kuratorium entscheidet auf Basis der Gutachten über die Förderung. Bewilligte Projekte werden inhaltlich einem Schwerpunkt zugeordnet und im Rahmen dieses Schwerpunkts betreut (gilt nicht für Dissertationsprojekte). Die Antragsteller werden bis Ende Juli 2004 von der Genehmigung verständigt.
4. Fördervereinbarung: Nach Genehmigung des Projektantrags wird zwischen dem MNI-Fonds, dem Projektnehmer und der betreffenden Schule (letzter Punkt gilt nicht für Dissertationsprojekte) ein Vertrag über die rechtlichen Aspekte, die Förderung und die wechselseitigen Verpflichtungen abgeschlossen.
5. Teilnahme an der MNI-Jahrestagung: Das Projektjahr beginnt für alle Projektnehmer mit der Tagung "Innovationen im Mathematik- und Naturwissenschaftsunterricht", die am 23./24. September 2004 in Klagenfurt stattfindet. Am 23.9. werden Innovationsprojekte des letzten IMST2 und NWW-Projektjahres 2003/04 präsentiert, um einen Erfahrungsaustausch mit bereits erfolgreich durchgeführten Innovationen zu ermöglichen. Der zweite Tag ist den Startup-Workshops des ersten MNI-Projektjahres gewidmet.
6. Durchführung des Projekts: Die Durchführung des Projekts im Laufe des Schuljahres 2004/05 wird durch Beratung, Betreuung, einen Schreibworkshop (Workshop begleitend zur Projektentwicklung, Dokumentation und Evaluation), sowie durch ein optionales Angebot an Seminaren unterstützt. Für alle Projekte ist die Abgabe eines knappen, standardisierten Zwischenberichtes für Ende Februar 2005 vorgesehen. (Punkt 6 gilt nicht für Dissertationsprojekte, ausgenommen den Zwischenbericht)
7. Erstellen und Abgabe eines Endberichtes: Der Projektbericht mit ausgewogenem Evaluationsteil und Materialien für den Unterrichtseinsatz soll die Intentionen, den Verlauf und den Erkenntnisgewinn des durchgeführten Projekts in einer Weise dokumentieren, die für Kolleginnen und Kollegen der Projektnehmer/-innen von Nutzen ist. Die Berichte sind für die Veröffentlichung auf der Fonds-Website vorgesehen. Der Umfang des Endberichtes soll 20 Seiten nicht übersteigen (bei Stufe 1 ca. 10 Seiten).
8. Endabrechnung: Mit der Abgabe des Endberichtes ist auch eine Abrechnung der Projektausgaben inklusive Belege abzuliefern.
9. Präsentation der Projektergebnisse auf der Jahrestagung 2005: Als Abschluss des Projektjahres 2004/05 präsentieren sich die erfolgreich abgeschlossenen Projekte auf der Tagung "Innovationen im Mathematik- und Naturwissenschaftsunterricht" im Herbst 2005.

Die Projektanträge müssen bis spätestens 31. Mai 2004 eingereicht werden. http://imst.uni-klu.ac.at/mni

Lehrplan Chemie - AHS Oberstufe

Bildungs- und Lehraufgabe

Chemische Grundbildung soll mit dem für die Chemie charakteristischen "Zwiedenken", das im submikroskopischen Bereich Erklärungen für Vorgänge im Makroskopischen sucht und findet, vertraut machen. Stoffeigenschaften und Stoffartumwandlungen können auf relativ wenige auch philosophische Deutungssysteme und Grundvorstellungen zurückgeführt werden. Als Grundlage von Eingriffen in materielle Prozesse soll das Kennenlernen dieser Denkweise zum Verstehen des heutigen Weltbildes und der Entwicklung unserer Kultur beitragen.

Der Chemieunterricht in der Oberstufe erweitert und vertieft die erworbenen Kenntnissen und Fertigkeiten aus der Unterstufe. Er bereitet auf wissenschaftliches Denken und Arbeiten vor, indem unterschiedliche Zugänge zu den verschiedenen Dimensionen des Erforschenswerten eröffnet werden.

Im Verbund mit Biologie, Mathematik und Physik soll Chemieunterricht auf exemplarische Weise den Weg der Erkenntnisfindung über Entwicklung und Anwendung von Deutungssystemen, also über Modelldenken, Systemdenken, Planen und Auswerten von Experimenten zu Stoffartumwandlungen zeigen. Die abwechselnde und bedarfsgerechte Anwendung von induktiv orientiertem Hypothesen-Bilden und deduktiv orientiertem Hypothesen-Prüfen hilft dabei. Dadurch schafft der Chemieunterricht die Basis für lebensgestaltende Lernstrategien und fördert über die Schule hinaus die Eigenständigkeit und Eigenverantwortung beim Erwerb von Wissen und Kompetenzen wie Teamfähigkeit, Problemlösekompetenz und Kommunikationsfähigkeit mit Expertinnen und Experten.

Ziel ist der Einblick in die Vielgestaltigkeit und Omnipräsenz chemischer Prozesse: Dies soll nicht nur eine berufliche Orientierung erleichtern, sondern stoffliche Veränderungen als materielle und energetische Grundlage des Lebens und der Zivilisation erkennbar machen und auch Verständnis für die europäische und globale Bedeutung der chemischen Industrie schaffen.

Die Übernahme von Verantwortung und die Ausbildung von Kritikfähigkeit gegenüber Ge- und Missbrauch wissenschaftlicher Erkenntnisse sollen die Teilnahme an wesentlichen gesellschaftlichen Entscheidungen ermöglichen.

Beitrag zu den Aufgabenbereichen der Schule:

Die bereits im Lehrplan der Unterstufe definierten Beiträge sind altersadäquat weiter zu entwickeln und zu vertiefen.

Beiträge zu den Bildungsbereichen:

Mensch und Gesellschaft: Verantwortung für den nachhaltigen Umgang mit materiellen und energetischen Ressourcen über Grenzen hinweg; Berücksichtigung ethischer Maßstäbe in der gesellschaftsrelevanten Umsetzung chemischer Erkenntnisse

Natur und Technik: Grundlegende Kenntnisse über Funktion und Vernetzung natürlicher und anthropogener Stoffkreisläufe; vertieftes Verständnis für die Beziehung von Struktur und Eigenschaften von Stoffen und deren gezielte Veränderungen; Einblick in technische und naturwissenschaftliche Studien- und Berufsfelder

Sprache und Kommunikation: Erweiterung und sicherer Einsatz der chemischen Fachsprache als zusätzliche Form der Kommunikation innerhalb und außerhalb des fachwissenschaftlichen Bereiches; Beschreibung, Protokollierung und Präsentation chemischer Sachverhalte

Kreativität und Gestaltung: Ästhetik bei ausgewählten chemischen Reaktionen; kreative Problemlösestrategien und Modellentwicklung; Bereicherung emotionaler Erfahrungen

Gesundheit und Bewegung: Grundlagen für den gesundheitsfördernden und -bewussten Umgang mit Stoffen der Alltagswelt; vertieftes Kritikbewusstsein gegenüber der Ambivalenz von Drogen und Pharmazeutika.

Didaktische Grundsätze

Die Auswahl der Inhalte und Methoden ist so vorzunehmen, dass die Entwicklung und Anwendung folgender Konzepte verwirklichbar ist:

Stoff-Teilchen-Konzept: Die erfahrbaren Phänomene der stofflichen Welt und deren Deutung auf der Teilchenebene werden konsequent unterschieden

Eigenschafts-Konzept: Art, Anordnung und Wechselwirkung der Teilchen bestimmen die Eigenschaften eines Stoffes

Donator-Akzeptor-Konzept: Säure-Base-, Redox- und Komplexbildungsreaktionen lassen sich als Protonen- und Elektronenübertragungen- bzw. Elektronenpaarverschiebungen beschreiben

Energiekonzept: Alle chemischen Reaktionen sind mit einem Energieumsatz verbunden

Größenkonzept: Stoff- und Energieumsätze können quantitativ beschrieben werden

Gleichgewichtskonzept: Reversible chemische Reaktionen können zu einem dynamischen Gleichgewichtszustand führen

Im Sinne anzustrebender Methodenvielfalt sind folgende Leitlinien zu berücksichtigen:

Empirisch arbeiten und erfahrungsgeleitet lernen

Planung, Durchführung, Dokumentation und Deutung von Experimenten und sicherer Umgang mit den Stoffen stellen einen wesentlichen und unverzichtbaren Bestandteil des Chemieunterrichts dar. Die minimale Realisierung wird durch gemeinsames Beobachten und Auswerten von Demonstrations- und Schülerexperimenten erreicht. Eine optimale Erfüllung dieser Leitlinie ist die selbstständige experimentelle Problembearbeitung.

Situiert und an Hand authentischer Probleme lernen

Ausgangspunkt für Lernen müssen realistische und relevante Probleme sein, die dazu motivieren neues Wissen und neue Fähigkeiten zu erwerben. Dabei wird auf Vorkenntnisse und Grundwissen der Schülerinnen und Schüler aufgebaut. Maxi-

Begutachtungsvorlage des BMBWK. Neuer Lehrplan ab 1. Sept. 2004

mal realisiert wird dieser Anspruch, wenn Schülerinnen und Schüler in eine authentische Situation versetzt werden, die konkretes fachübergreifendes und fächerverbindendes Arbeiten erfordert. Eine minimale Realisierung kann durch eine Anknüpfung an aktuelle Probleme, authentische Fälle oder persönliche Erfahrungen gewährleistet werden.

In vielfältigen Kontexten lernen
Um zu verhindern, dass ursprüngliche und neu erworbene Kenntnisse auf eine bestimmte Situation fixiert bleiben, sind dieselben Inhalte in mehreren verschiedenen Zusammenhängen gelernt und bearbeitet werden. Die Realisierung kann vom Verweisen auf unterschiedliche Anwendungssituationen bis hin zur tatsächlichen Anwendung des Gelernten in einer konkreten Situation reichen.

Unter multiplen Perspektiven lernen
Einzelne Inhalte und Probleme müssen aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet und behandelt werden. Lehrausgänge und Exkursionen unterstützen dies. Die minimale Realisierung besteht in der Verdeutlichung unterschiedlicher Sichtweisen bei der Darbietung neuer Inhalte, die maximale im konkreten Erleben.

In einem sozialen Umfeld lernen
Gemeinsames Lernen und Arbeiten wie auch Kooperation von Schülerinnen und Schülern mit Expertinnen und Experten im Rahmen situierter Problemstellungen hat Bestandteil möglichst vieler Lern- phasen zu sein. Maximal realisieren lässt sich diese Leitlinie durch gemeinsames Lernen und Arbeiten in einer Expertengemeinschaft, für die minimale Realisierung werden Gruppenarbeiten vorgeschlagen.

Mit instruktionaler Unterstützung lernen
Lernen ohne jegliche Instruktion ist in der Regel ineffektiv und führt leicht zu Überforderung. Die Lernumgebung (der Unterricht) ist so zu gestalten, dass neben vielfältigen Möglichkeiten eines Lernens in komplexen Situationen auch das zur Bearbeitung von Problemen (Aufgaben, Projekten usw.) erforderliche Wissen bereitgestellt und erworben wird.

Mit medialer Unterstützung lernen
Die Beschaffung, Bewertung und Verarbeitung von Informationen müssen auch mit Hilfe zeitgemäßer Medien erfolgen. Die Verwendung von chemiespezifischer Software dient der Optimierung altersgemäßer Lernprozesse. Ergebnisse eigenständiger Arbeit sind in Form einer sachgerechten und ansprechenden Darstellung von den Schülerinnen und Schülern zu präsentieren.

Lehrstoff

Kursiv gesetzte Teile gelten als verbindliche Zusätze für alle realgymnasialen Schulformen.

7. und 8. Klasse:

Strukturen und Modellbildung

Die Schülerinnen und Schüler sollen:

- Einsicht gewinnen in die Entwicklung chemiespezifischer Modellvorstellungen
- durch Kombination von Hypothesenbildung und experimenteller Überprüfung Verständnis für die Zusammenhänge von Strukturen und Eigenschaften der Stoffe gewinnen
- durch Erlernen der chemischen Fachsprache die Kommunikation auf fachwissenschaftlicher Ebene führen können

Für die Erreichung dieser Ziele sind folgende Inhalte vorgesehen:

- wellenmechanisches Atommodell und Aufbauprinzipien des Periodensystems der Elemente
- Modelle der chemischen Bindung und der Wechselwirkungen zwischen Teilchen
- Strukturen von Stoffen mit kovalenten Bindungen unter Mitberücksichtigung von Kohlenstoffverbindungen inklusive funktioneller Gruppen und Arten der Isomerien
- delokalisierte Elektronensysteme
- *Molekülgeometrie, Hybridisierung*
- Anwendung der Modellbildung bei der Behandlung von Themen aus allen chemierelevanten Bereichen

Stoffumwandlungen und Energetik

Die Schülerinnen und Schüler sollen:

- das Verständnis von Beziehungen zwischen stofflichen und energetischen Veränderungen vertiefen
- an einfachen Beispielen die Möglichkeiten quantitativer Betrachtungsweisen von Stoff- und Energieumsätzen aufzeigen können
- die Deutung, Vorhersagbarkeit und Steuerung chemischer Prozesse durch erweiterte und vielschichtige Betrachtungen der Dynamik von Reaktionen erfahren
- Donator-Akzeptor-Wechselwirkungen als grundlegendes Prinzip chemischer Reaktionen erkennen.

Für die Erreichung dieser Ziele sind folgende Inhalte vorgesehen:

- Stöchiometrie
- Energiebilanz chemischer Reaktionen
- Katalyse
- chemische Gleichgewichtsdynamik und ihre Beeinflussung
- Protolysegleichgewichte
- Redoxreaktionen
- Reaktionen organischer Moleküle
- *Elektrochemie*
- *ausgewählte Beispiele chemischer Analysenmethoden*
- *Lösungsgleichgewichte und Komplexbildung*

Zusätzliche Inhalte im Realgymnasium ohne Darstellende Geometrie:

- *quantitative Behandlung von Protolysegleichgewichten*
- *quantitative Behandlung elektrochemischer Prozesse*
- *Reaktionsmechanismen*

Diese Kenntnisse sind eine wesentliche Voraussetzung für die Bearbeitung zahlreicher ökonomischer und ökologischer Fragestellungen, wie sie in den nachfolgenden Themenbereichen manifest werden.

Rohstoffe, Synthesen und Kreisläufe

Die Schülerinnen und Schüler sollen:

- über grundlegende Kenntnisse von Funktion und Vernetzung natürlicher und anthropogener Stoffkreisläufe Verantwortung für den nachhaltigen Umgang mit materiellen und energetischen Ressourcen entwickeln und dabei regionale und europäische Besonderheiten berücksichtigen

- die Umwandlung von Naturprodukten sowie die Synthese von neuen Stoffen mit ausgesuchten Eigenschaften und die damit verbundene erhöhte Lebensqualität, aber auch den Umgang mit potentiellen Risken an Hand der folgenden Themen kennen lernen:
  - fossile Rohstoffe und Energieträger - Schadstoffe und Umweltanalytik
  - wichtige chemische Grundprodukte und ihre Verwendung
  - *Gewinnung, Verwendung und Wiederverwertung von Metallen, keramischen und makromolekularen Stoffen*

Zusätzliche Inhalte im Realgymnasium ohne Darstellende Geometrie:
- *Nachwachsende Rohstoffe*

Chemie und Leben

Die Schülerinnen und Schüler sollen:
- erkennen, dass alle Lebensvorgänge auf stofflichen und energetischen Veränderungen beruhen und die Menschen von ihrer stofflichen Umwelt abhängig sind
- durch kritisch reflektierenden Einsatz von differenzierten Stoffkenntnissen die Wichtigkeit einer gesundheitsbewussten Lebensführung und der sicherheitsbewussten und sachgerechten Verwendung von Alltagschemikalien erkennen
- eine mündige Lebenshaltung im Sinne einer Konsumentensouveränität ausbilden; dazu ist die exemplarische Behandlung der folgenden Themen vorgesehen:
- molekulare Grundlagen der Genetik
- Stoffwechselprozesse
- Lebensmittel, Genussmittel und Drogen
- Chemie im Haushalt
- *enzymatische Steuerung von Stoffwechselprozessen*

Zusätzliche Inhalte im Realgymnasium ohne Darstellende Geometrie:
- *Struktur und Funktion biologischer Membranen*
- *Aspekte der Pharmakologie und Toxikologie an ausgewählten Beispielen*

Reaktion zum Lehrplan

Sg. Herr Prof. Kühnelt,
mit Interesse habe ich den Beitrag über den neuen Lehrplan Physik an der AHS Oberstufe gelesen.

Weitgehend bin ich auch mit Ihren Aussagen konform, in wenigen Punkten vertrete ich jedoch eine differenzierte Sichtweise:

1. Zur "Konterkarierung" der Lehrplanarbeit durch den "Entlastungserlass":
   Auch wir als pädagogische Fachabteilung haben diesen bildungspolitischen Eingriff bedauert. Da wir alle jedoch politische Setzungen akzeptieren müssen, haben wir sofort mit allen Lehrplan-AG der betroffenen Unterrichtsgegenstände Kontakt aufgenommen. In einigen Fachlehrplänen haben wir auf deren Empfehlungen bzw. Rückmeldungen noch Lernziele oder Themenbereiche herausgenommen, generell wurde jedoch die Ansicht vertreten, dass die vorliegenden Lehrplanentwürfe auch mit reduzierter Stundenanzahl von den Lehrerinnen und Lehrern umgesetzt werden können. Die Erklärung bzw. Begründung dafür sprechen Sie in Ihrem Artikel ja selbst an: Der Lehrstoff ist verbindlich umzusetzen (auch im Falle schulautonomer Reduktionen, in Physik also auf min. 5 oder 7 Stunden wie Sie richtig zitieren); dazu ist die Bearbeitungstiefe durch die Lehrkräfte anzupassen.

2. Dass "dabei die Schule den Lehrplan selbst erstellen muss" ist überhaupt nicht der Fall. Ich kann mir nicht erklären, wie Sie zu dieser Schlussfolgerung kommen. Gehen wir an einem Beispiel die Möglichkeiten durch: Physik im Gymnasium hat subsidiäre 0-3-2-2 Stunden zur Verfügung. D.h. die Dotation wurde durch die "Stundenentlastung" nicht verringert, bloß der autonome Mindestrahmen wurde um eins abgesenkt. Wenn eine Schule eine autonome Beschlussfassung erzielt, kann in Physik im G also auf 6 oder auf 5 abgesenkt werden, es kann aber auch beliebig aufgestockt werden. Bei jeglicher Absenkung ist der vorliegende Lehrplan aber zu erfüllen, ohne dass die Schule einen Lehrplan selbst erstellen muss. Die Lehrkräfte müssen die ausgewählten Inhalte und Themenbereiche zu den Zielstellungen eben entsprechend zeitlich dimensionieren.

   Nur wenn eine Schule über die Lehrplaninhalte hinaus zusätzliche Ziele/Themenbereiche verbindlich festlegt und diese mit zusätzlichen (von wo anders freigemachten) Stunden dotiert, dann ist ein Lehrplanzusatz an der Schule zu erstellen.

3. Letztlich schreiben Sie, die Abschnitte Bildungs- und Lehraufgabe sowie Didaktische Grundsätze würden vom Ministerium ohnehin stark verändert werden, daher bringe ein Abdruck des Entwurfes nichts. Ich kann Ihnen versichern, dass gerade diese wichtigen Passagen des Fachlehrplans von uns in der Redaktionsarbeit zwar vom Sprachduktus bearbeitet werden mussten (Ansprüche der Juristen in Richtung verbindlicherer Aussagen), dass aber jegliche inhaltliche Anliegen unverändert geblieben sind.

   Und ich denke, dass gerade in diesen Abschnitten der Lehrpläne die Zielstellungen, die Konzentration auf Kompetenzen, die Fokussierung auf die Aktivierung der Schülerinnen und Schüler besonders zum Ausdruck kommen. Schade, dass Sie sie Ihren Leserinnen und Lesern vorenthalten haben.

Mit freundlichen Grüßen
MinR Mag. Augustin Kern
Referat I/2c, AHS-Abteilung des BMBWK

Danke für die Klarstellung. In der Zwischenzeit ist der Begutachtungsentwurf auf der Website des BMBWK unter
www.bmbwk.gv.at/medienpool/11182/VO_Lehrplaene_AHS_Entwurf.pdf
veröffentlicht. Die von der Lehrplangruppe formulierten Abschnitte Bildungs- und Lehraufgabe sowie Didaktische Grundsätze sind im Wesentlichen unverändert geblieben.

(HK)

Die eingeschränkte Vorhersagbarkeit chaotischer Systeme verstehen

Reinders Duit und Michael Komorek

Die Theorien nichtlinearer Systeme haben in den vergangenen Jahren in den Naturwissenschaften, in der Mathematik und selbst in den Sozialwissenschaften große Bedeutung erlangt. Auch in einer breiten Öffentlichkeit haben bestimmte Ideen des deterministischen Chaos und der Fraktale einige Aufmerksamkeit gefunden, nicht zuletzt durch die philosophischen und weltanschaulichen Diskussionen, die sie angeregt haben. In unserem Vorhaben geht es um zwei Ziele. Zum einen analysieren wir, welche Grundeinsichten dieser Theorien vermittelnswert sind, zum anderen untersuchen wir mit Hilfe von Lernprozeßstudien, wie weit Schülerinnen und Schüler diese Einsichten verstehen. Unsere Arbeit hat sich bislang auf die eingeschränkte Vorhersagbarkeit chaotischer Systeme und auf einige Aspekte von Fraktalen, wie die Selbstähnlichkeit und das Entstehen von Dendritenstrukturen, konzentriert. Es hat sich gezeigt, dass diese Einsichten, die als wichtige Vertiefungen des Physikunterrichts anzusehen sind, bereits am Ende der S I vermittelt werden können.

1. Nichtlineare Systeme als Thema des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts

Eine Reihe von Beiträgen der Zeitschrift MNU hat sich in den vergangenen Jahren mit Aspekten nichtlinearer Systeme, also mit Themen wie Chaos, Fraktale und Selbstorganisation auseinandergesetzt ([1] bis [7]). Dabei ist einerseits aus fachlicher Perspektive diskutiert worden, welche neuen Einsichten durch die Beschäftigung mit Aspekten nichtlinearer Systeme gewonnen werden können (z.B. [1] und [2]). Andererseits ist die didaktische Bedeutung dieses neuen faszinierenden Gebiets unter die Lupe genommen worden (für den Mathematikunterricht vor allem in [6]). Für den Physikunterricht gibt es einen konkreten Unterrichtsvorschlag zur "Chaos-Physik" ([4]). Damit zeigt sich in der MNU ein ganz ähnliches Bild wie in der übrigen Literatur zu fachdidaktischen Arbeiten über die Rolle von Eigenschaften nichtlinearer Systeme im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht [8]. Es gibt Artikel, in denen wissenschaftliche Erkenntnisse, die nichtlineare Systeme betreffen, für die Schule aufbereitet werden. Darin werden die Lehrkräfte über das faszinierende Verhalten dieser Systeme informiert und meist auch mit Konsequenzen für das wissenschaftliche Weltbild vertraut gemacht (s. z.B. [1] oder [9]). Weiterhin gibt es ein reichhaltiges Angebot von Experimenten und Computersimulationen zu wichtigen Aspekten von Chaos, Fraktalen und Selbstorganisation (s. z.B. [10] und [11]). Ausgearbeitete Unterrichtsvorschläge, in die diese Materialien eingebettet sind, findet man allerdings erstaunlich selten. Erprobungen solcher Vorschläge, die im nennenswerten Maße evaluieren, inwieweit die entwickelten Experimente, Simulationen und Argumentationen von den Lernenden verstanden werden, gibt es kaum.

Das Gebiet der nichtlinearen Systeme ist also bis zu einem gewissen Grade fachlich so aufgearbeitet worden, dass auf dieser Grundlage Unterricht entwickelt werden kann. Allerdings scheint das genuin Didaktische noch zu kurz zu kommen. Überlegungen zur Frage, warum diese neuen Inhalte im Unterricht behandelt werden sollten, also Analysen zu ihrem Bildungswert, greifen häufig zu kurz (s. dazu [6]). Ob Schülerinnen und Schüler die zwar faszinierenden, aber auch recht komplexen Zusammenhänge durchschauen können, bleibt meist völlig ungeklärt.

An diesen Defiziten fachdidaktischer Arbeit greift unser Vorhaben an. Wir bemühen uns, fachliche Klärungen, Überlegungen zum Bildungswert und Untersuchungen zu Lernschwierigkeiten und -möglichkeiten eng miteinander zu verbinden. Im hier vorliegenden Beitrag konzentrieren wir uns auf Arbeiten zur Erschließung der Chaostheorie. Das Gesamtvorhaben ist Teil eines Arbeitsgebietes des Instituts für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN). Zur Zeit laufen Arbeiten zur Entwicklung und Evaluation einer exemplarischen Unterrichtseinheit zur Nichtlinearen Physik für Grundkurse in der Sekundarstufe II, erste Studien zum Lernen im Bereich selbstorganisierender Systeme und Untersuchungen zum Erlernen von Aspekten fraktaler Strukturen. Bei letzteren geht es um das Prinzip der Selbstähnlichkeit, das Entstehen vom Komplexität aus einfachen Bildungsgesetzen (z.B. bei der Koch-Kurve) (vgl. [22]) und um das Wachsen von Dendritenstrukturen bei einfachen Experimenten (vgl. [23]).

Unsere Arbeiten zur Chaostheorie und zu Fraktalen beschäftigen sich vor allem mit dem subtilen Zusammenspiel von Determination (also der Bestimmung von Naturvorgängen durch deterministische Gesetze) und Zufall (hier der eingeschränkten Vorhersagbarkeit des Verlaufs des Naturgeschehens durch hohe "Sensitivität" bestimmter nichtlinearer Systeme). Wir beschränken uns auf sehr einfache Systeme. Im Falle chaotischer Systeme handelt es sich dabei um so alltägliche Objekte wie Würfel oder Lottomaschine, vor allem aber um das Verhalten eines einfachen "Magnetpendels". Alle diese Systeme haben "sensitive" Stellen labilen Gleichgewichts ("Scheidepunkte", wie sie in [4] genannt werden), die für die eingeschränkte Vorhersagbarkeit verantwortlich sind.

Wir beschränken uns auf qualitative Aspekte, mathematische Berechnungen bleiben erst einmal außen vor; Untersuchungen zu "Schülervorstellungen" (s. z.B. Kapitel 6 in [12]) haben nämlich immer wieder gezeigt, wie weit die Erwartungen, was Schülerinnen und Schüler verstehen können und was sie tatsächlich gelernt haben, auseinander liegen. Wir beginnen des-

Prof. Dr. Reinders Duit und Dr. Michael Komorek, Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel, Abteilung Didaktik der Physik, Olshausenstraße 62, 24098 Kiel, email: duit@ipn.uni-kiel.de, komorek@ipn.uni-kiel.de

Dieser Artikel basiert auf einem Vortrag gehalten auf der MNU Hauptversammlung 1999 und erschien erstmals in MNU 53/2 (2000), 94-103

halb mit einfachen und elementaren Aspekten. Bereits hier treten erhebliche Lernprobleme auf. In anderen Worten, auch das scheinbar Einfache hat sich für viele unserer Schülerinnen und Schüler als schwierig erwiesen.

2. Zur didaktischen Erschließung der Chaostheorie

Unsere Arbeiten zur didaktischen Erschließung nichtlinearer Systeme für den Unterricht orientieren sich an einem Modell der Didaktischen Rekonstruktion (s. Abb. 1). Kurz zusammengefaßt, geht es dabei um das bereits angesprochene Programm, Fachliches und Didaktisches eng miteinander zu verbinden (s. genauer [13]). Sachanalysen zur fachlichen Klärung sind verbunden mit didaktischen Analysen zur Bestimmung des Bildungswertes und mit empirischen Untersuchungen zum Lernen und zu Interessen der Schülerinnen und Schüler. Bereits recht früh im Prozeß der didaktischen Erschließung werden kleine Pilotunterrichtseinheiten entwickelt, erprobt und evaluiert.

Unsere Arbeiten belegen, dass das Zusammenspiel der in Abb. 1 aufgeführten Komponenten erstens fachliche und didaktische Aspekte ins Gleichgewicht zu bringen erlaubt und zweitens Lernfähigkeiten und Interessen der Lernenden von vornherein zu berücksichtigen gestattet. Es hat uns immer wieder überrascht, dass die genaue Kenntnis der Schülerperspektiven zu einer neuen Sicht auf die fachlichen Aspekte führt, zu einer Sicht durch die Vorstellungen unserer Schülerinnen und Schüler hindurch. Unter diesem Blickwinkel lassen sich die fachlichen Aspekte angemessener für den Unterricht aufarbeiten. Drittens sorgt die frühzeitige Konstruktion von Unterricht und seine Erprobung dafür, dass die didaktische Erschließung gewissermaßen auf dem Boden der Unterrichtsrealität bleibt und nicht allein für ideale Laborsituationen geeignet ist.

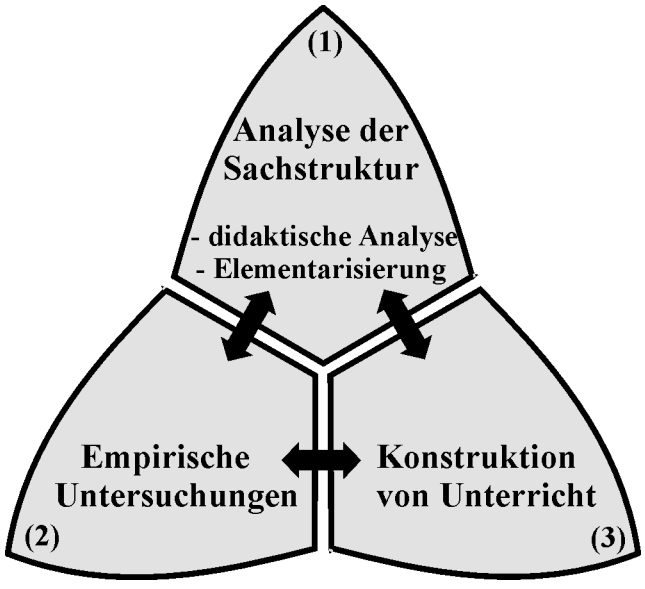


Abb. 1: Komponenten der Didaktischen Rekonstruktion

Chaotische Systeme sind zwar streng determiniert, die Vorhersagbarkeit ihres Verhaltens ist im Detail aber eingeschränkt. Bei diesen Systemen gilt das Kausalitätsprinzip, allerdings nur in der sogenannten "schwachen" Form, die behauptet, dass gleiche Ursachen immer gleiche Wirkungen haben. Die "starke" Kausalität, wonach "ähnliche" Ursachen zu "ähnlichen" Wirkungen führen, gilt nicht. Da diese Systeme streng determiniert sind, spricht man auch vom "deterministischen" Chaos [14]. Chaotische Systeme lassen sich durch zwei elementare Aspekte charakterisieren. Auf einer lokalen Ebene sind sie durch dynamische Instabilität gekennzeichnet [15]. Das bedeutet, dass ein System, das zweimal hintereinander mit minimal unterschiedlichen Anfangswerten startet, stark voneinander abweichende Prozesse durchläuft. Im Phasenraum betrachtet, entfernen sich benachbarte Trajektorien exponentiell voneinander (Abb. 2a). Überdies können kleinste Störungen dazu führen, dass ein System gewissermaßen auf eine andere Trajektorie springt. Chaotische Systeme sind also durch eine hohe "Sensitivität" gegenüber kleinsten Änderungen der Anfangsbedingungen und gegenüber kleinsten Störungen gekennzeichnet. Alle chaotischen Systeme haben Instabilitätsstellen (wie in Abb. 3 dargestellt), die immer wieder durchlaufen werden.

Auf einer globalen, systemischen Ebene sind chaotische Systeme durch strukturale Stabilität gekennzeichnet (Abb. 2 b) - sie besitzen trotz dynamischer Instabilität gewisse Ordnungsstrukturen im Phasenraum. Diese Strukturen werden chaotische Attraktoren genannt; Trajektorien aus der Umgebung streben auf diese Attraktoren zu und schmiegen sich ihnen asymptotisch an. Die Attraktoren stehen also für die "Ordnung im Chaos". Sie haben in der Regel fraktale Struktur.

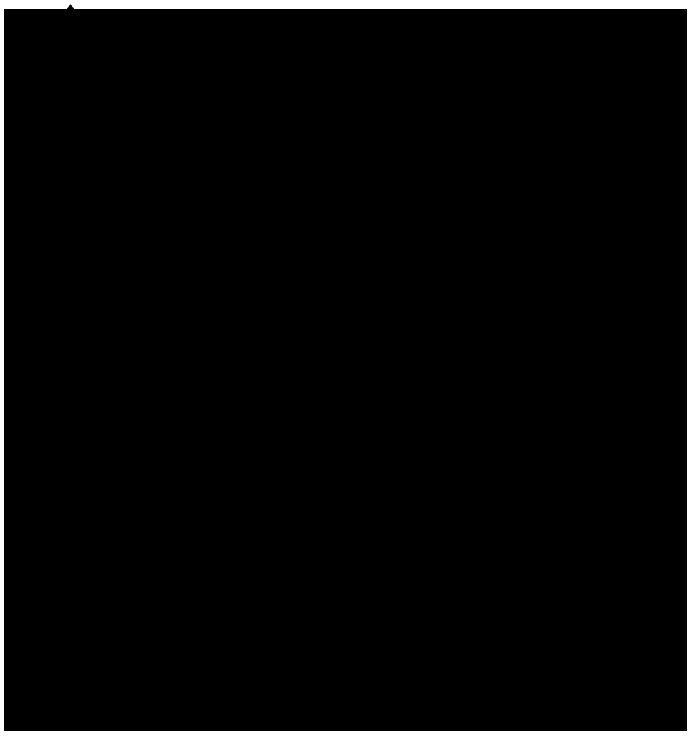


Abb. 2: Dynamische Instabilität (a) und strukturale Stabilität (b) chaotischer Systeme

Dynamische Instabilität und strukturale Stabilität sind komplementäre Aspekte, sie bedingen sich gegenseitig. Chaotische Systeme sind gewissermaßen im doppelten Sinne determiniert: Auf der lokalen Ebene durch die Differentialgleichungen, die zu bestimmten Trajektorien führen, auf der globalen Ebene durch dieselben Differentialgleichungen, die hier chaotische Attraktoren hervorbringen. Aufgrund dieser doppelten Determination kann man von einer eigenständigen Form des Determinismus, dem "Chaotischen Determinismus" reden (s. [16]).

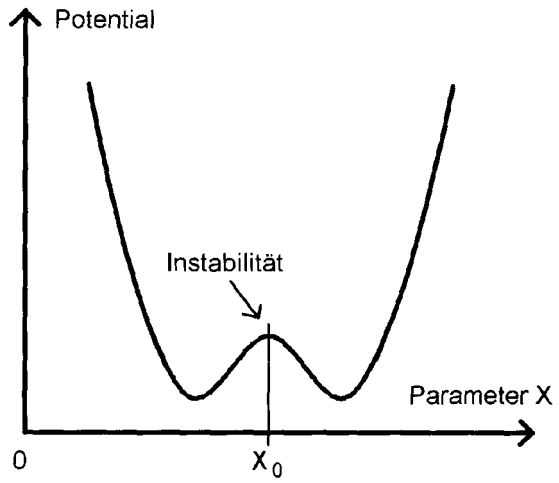


Abb. 3: Prinzipieller Potentialverlauf bei chaotischen Systemen

Wie bereits erwähnt, haben wir uns auf die elementaren Ideen der Chaostheorie konzentriert. Wir wollten zunächst erkunden, inwieweit diese elementaren Einsichten vermittelbar sind, bevor wir uns den physikalisch anspruchsvolleren Aspekten zuwenden. Aus diesem Grunde schied der Aspekt der "Ordnung im Chaos" erst einmal aus; dieser läßt sich nur dann einsichtig machen, wenn es gelingt, das Phasenraumkonzept angemessen zu vermitteln. Die Entscheidung für den Aspekt der eingeschränkten Vorhersagbarkeit hat einen weiteren wichtigen didaktischen Grund. Überlegungen zum Beitrag der Vermittlung der Chaostheorie zu einer naturwissenschaftlichen Allgemeinbildung haben uns zur Auffassung geführt, dass der Aspekt der eingeschränkten Vorhersagbarkeit ebenso wichtig ist wie der Aspekt der Ordnung im Chaos, obwohl letzterer innerwissenschaftlich die größere Aufmerksamkeit erfahren hat. Im Physikunterricht, so scheint es, wird der Aspekt der Berechenbarkeit des Naturgeschehens sehr stark betont, wenn nicht überbetont. Die Beschäftigung mit chaotischen Systemen zeigt den Schülerinnen und Schülern, dass die Berechenbarkeit, also die exakte Vorhersagbarkeit des zukünftigen Verhaltens bei einigen - auch sehr einfachen - Systemen eingeschränkt ist. Die intensive Beschäftigung mit der eingeschränkten Vorhersagbarkeit chaotischer Systeme stellt also einen "naiven" Determinismus, von dem viele Schülerinnen und Schüler ausgehen, in Frage. Unsere Studien zeigen, dass es bereits im 10. Schuljahr möglich ist, die eingeschränkte Vorhersagbarkeit bestimmter Systeme verständlich zu machen und mit Schülerinnen und Schülern erstaunlich tiefe Gespräche über ihre Determinismusvorstellungen zu führen.

3. Eine Unterrichtseinheit zur eingeschränkten Vorhersagbarkeit chaotischer Systeme im 10. Schuljahr

Zur Sachstruktur

In unserer Unterrichtseinheit dient ein Magnetpendel als Prototyp eines chaotischen Systems. Eine kleine Eisenkugel schwingt an einem Faden über drei symmetrisch angeordnete Magneten. Der Zielmagnet, über dem die Kugel zur Ruhe kommt, läßt sich nicht vorhersagen, auch wenn versucht wird, die Kugel bei jedem Durchgang nach Möglichkeit genau vom gleichen Punkt seitlich der Magneten zu starten. Dies liegt daran, dass die anziehenden Kräfte zum linken und rechten Magneten auf den drei Linien genau zwischen ihnen gleich groß sind. Sie bilden einen dreizähligen Stern, den Schülerinnen und Schüler "Mercedesstern" oder "Y" genannt haben. Bei diesem Stern handelt es sich um Bereiche labilen Gleichgewichts, die man als Wall oder Berggrat verstehen kann (vgl. die Elementaranalogien unten in Abb. 4). Bei ihrer Bewegung passiert die Eisenkugel die Zonen labilen Gleichgewichts sehr häufig. Aufgrund dieser Zonen wird die Bahn der Eisenkugel minimal verändert, weil man sie nie zweimal genau vom gleichen Punkt aus starten kann und weil kleine Störungen während des Laufs auftreten. Beim Passieren dieser Zonen kann einer der Fälle eintreten, die in Abb. 4 unten (bei den Elementaranalogien) skizziert sind. Die Kugel läuft so auf einen Grat zu, dass kleinste Änderungen der Bahn darüber entscheiden, ob sie nach links oder rechts hinunterläuft oder ob sie es gerade noch schafft, den Wall zu passieren. Zwei minimal unterschiedliche Bahnen entwickeln sich von da an unterschiedlich. Bei dieser Erklärung handelt es sich um eine Vereinfachung in didaktischer Absicht, denn starke Nichtlinearitäten, die "Wälle" bzw. "Grate" hervorrufen, sorgen dafür, dass bereits kleine Differenzen zwischen dicht beieinander liegenden Bahnen überproportional verstärkt werden. Der Einfachheit halber betrachten wir gewissermaßen nur die stärkste Nichtlinearität an der Stelle des labilen Gleichgewichts (zur Physik des Magnetpendels s. [16]).

Die Beispiele für chaotische Systeme, die im unten beschriebenen Unterricht eingesetzt werden (Abb. 4) weisen sämtlich sensitive Zonen labilen Gleichgewichts auf, die mehrfach

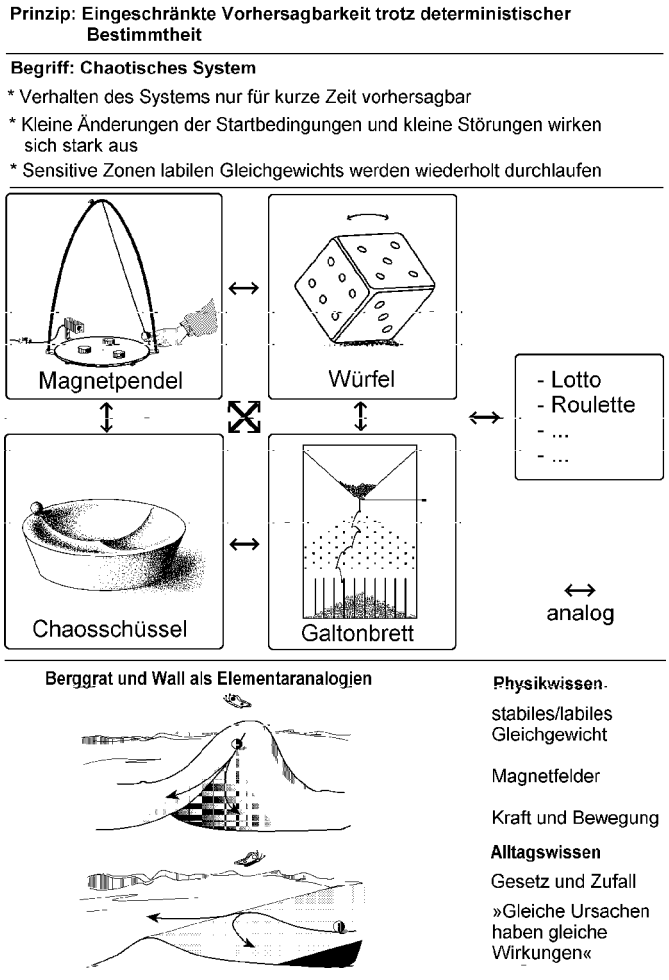


Abb. 4: Zur Sachstruktur der Unterrichtseinheit über die eingeschränkte Vorhersagbarkeit chaotischer Systeme

durchlaufen werden. Beim Würfel sind es die Kanten, über die er abrollt, beim Galtonbrett die Nägel, auf die Kügelchen auftreffen. Ein Analogmodell für das Magnetpendel stellt die Chaosschüssel dar. Bei allen diesen Systemen handelt es sich um sogenannte "transient" chaotische Systeme, die nicht "unendlich" lange in Bewegung sind, wie es bei den Systemen der Fall ist, mit denen sich die Theorie des deterministischen Chaos beschäftigt [14]. Mit ihrer Hilfe läßt sich aber das Ziel des Unterrichts erreichen, nämlich den Begriff des chaotischen Systems, wie er oben in Abb. 4 umrissen ist, herauszuarbeiten. Dieser Begriff schließlich dient als Schlüssel, um das Prinzip von der eingeschränkten Vorhersagbarkeit dieser Systeme zu verstehen und so den naiven Determinismus der meisten Schülerinnen und Schüler herauszufordern.

Unterrichtsverlauf

Wir versuchen, den Schülerinnen und Schülern so viel Gelegenheit wie möglich zu geben, das Verhalten der chaotischen Systeme selbst aufzuklären. Wir sind überzeugt davon, dass nur das "wirklich" verstanden wird, was sich die Lernenden in eigener aktiven Auseinandersetzung erarbeiten. Deshalb wird der Unterricht zu einem erheblichen Teil in Gruppenarbeit (Gruppengröße vier bis fünf Schülerinnen und Schüler) durchgeführt. Damit die eigenständige Arbeit in den Gruppen nicht in unerwünschte Richtungen verläuft, gibt die Lehrkraft eine Reihe von Hilfen, z.T. durch Arbeits- und Informationsbögen. Die Unterrichtseinheit gliedert sich in fünf Abschnitte, für die jeweils eine Unterrichtsstunde nötig ist.

(1) Beobachtung des merkwürdigen Verhaltens des Magnetpendels

Das Pendel wird der Klasse vorgestellt. Es wird gefragt, wie die Bahnen aussehen, wenn die Pendelkugel losgelassen wird. Der Versuch wird durchgeführt. In aller Regel liegen die Voraussagen und die Beobachtungen weit auseinander. Nun wird gefragt, was geschehen wird, wenn das Pendel erneut von der gleichen Stelle aus gestartet wird. Anschließend erforschen Schülerinnen und Schüler in ihren Gruppen, ob die Reihenfolge der Zielmagnete zufällig ist oder nicht. Viele Gruppen meinen, es müsse sich irgendeine Regelmäßigkeit zeigen, da doch alles gleich bleibt. Sie machen viele Versuche, können letztlich aber keine Regelmäßigkeit entdecken.

(2) Untersuchung der Kräfte, die auf die Pendelkugel wirken

Die Kräfte, die auf die Pendelkugel einwirken, werden aufgelistet. Es bereitet den Schülerinnen und Schülern hier erstaunlich große Mühe zu erkennen, dass an jedem Punkt der Bahn die *drei* Magneten *und* die Gravitationskraft auf die Pendelkugel einwirken. Es werden hier Vorstellungen deutlich, die aus Untersuchungen zu "Schülervorstellungen" gut bekannt sind. So wird gar nicht selten nur die jeweils stärkste auf die Kugel wirkende Kraft in Betracht gezogen. Auch endet für manche Schülerinnen und Schüler das Magnetfeld des einen Magneten dort, wo es mit einem anderen Magnetfeld zusammentrifft. Bei der Erklärung der Bahn der Kugel unter der Einwirkung der Kraft werden häufig eine "Kraft" in Richtung der Bewegung und die stärkste gerade wirkende Kraft miteinander verrechnet.
Schülerinnen und Schüler untersuchen die Stärke und Richtung der Kräfte an verschiedenen Stellen mit einer kleinen Eisenkugel an einem Faden und tragen ihre Ergebnisse auf einer Folie ein. Es ergeben sich Bereiche gleicher Kraft nach links und rechts zu den jeweiligen Magneten hin. Diese Figur zeigt sich auch in einem Eisenfeilspanbild. Der sternförmige Bereich wird als "Mercedesstern" bzw. als "Y" bezeichnet. Es bereitet den Lernenden Schwierigkeiten, diese Linien als Zonen labilen Gleichgewichts zu erkennen. Eine Reihe von ihnen sieht diese Linien als "kräftefreie" Zonen an, in denen sich nach ihrer Auffassung folglich kleine Störungen besonders gut auswirken können.

(3) Auf der Suche nach einer Deutung des chaotischen Verhaltens

In Gruppen bemühen sich die Schülerinnen und Schüler um eine Deutung des chaotischen Verhaltens auf der Basis des entwickelten Wissens über die "Struktur des Feldes", in dem sich das Magnetpendel bewegt. Nach einiger Zeit gibt die Lehrkraft den Gruppen die Chaosschüssel mit der Aufforderung zu überlegen, ob ihnen das Verhalten der Kugel in dieser Schüssel hilft, das Verhalten des Magnetpendels zu verstehen. Die "Wälle" und "Berggrate", die man sich beim Magnetpendel nur denken kann, sind bei der Chaosschüssel anschaulich zu sehen und mit den Händen zu "begreifen". Um das Verhalten der Kugeln bei der Chaosschüssel und beim Pendel verständlich zu machen, werden den Gruppen die in Abb. 4 gezeigten Elementaranalogien (Berggrat und Wall) als Bilder vorgelegt. Wiederum werden sie aufgefordert, sich zu überlegen, ob ihnen diese Bilder helfen können, das Verhalten des Magnetpendels (und der Chaosschüssel) zu verstehen. Es hat sich gezeigt, dass die meisten Gruppen große Mühe haben zu erkennen, inwiefern die Zonen des labilen Gleichgewichts das chaotische Verhalten verursachen. Es ist interessant zu sehen, wie die Schülerinnen und Schüler mit den ihnen vorgelegten Analogien umgehen. Diese werden keineswegs spontan verstanden. Es ist vielmehr so, dass sich ein Verständnis des Magnetpendels und des Analogexperiments Schritt für Schritt gewissermaßen simultan entwickelt. Die Schülerinnen und Schüler wechseln häufig die Perspektive, d.h. sie versuchen, das Pendel von der Chaosschüssel ausgehend zu verstehen und umgekehrt.

(4) Computersimulation - Programm "MagPen"

Viele Schülerinnen und Schüler unterscheiden bei ihren Erklärungsversuchen zum Magnetpendel das Verhalten in der Realität von dem in einer "idealen" Welt. Sie argumentieren zum Beispiel, dass sich genau die gleichen Bahnen ergeben werden, wenn man immer vom gleichen Punkt aus startet und wenn es keine Störungen gibt. Das Verhalten des Magnetpendels in einer solchen "idealen Welt" wird mit Hilfe eines Simulationsprogramms in Zweiergruppen eigenständig erforscht. Es bereitet den Schülerinnen und Schülern keine Probleme, den Status des Simulationsprogramms zu verstehen. Sie akzeptieren es spontan als Illustration des chaotischen Verhaltens des Magnetpendels in einer idealen Welt. Das Programm erlaubt es, den Startpunkt beliebig zu wählen und mehrere Bahnen nacheinander zu zeichnen. Wenn man zum Beispiel zunächst eine Bahn zeichnen läßt und dann den Startpunkt so wenig ändert, wie es das Programm erlaubt, so sind die beiden Bahnen am Anfang noch ganz ähnlich, bis die neue Bahn plötzlich völlig anders weiter verläuft. Es zeigt sich, dass das Programm den Schülerinnen und Schülern hilft, die bisher gewonnenen Einsichten zur Funktion des Magnetpendels zu klären und zu vertiefen. Es gibt hier ein ganz ähnliches Umgehen mit dem Simulationsprogramm wie es oben beim Verwenden

von Analogien berichtet worden ist. Die Schülerinnen und Schüler gehen einerseits vom Realexperiment aus und fragen sich, wie sie ein bestimmtes Verhalten des Magnetpendels simulieren können, und überlegen sich andererseits, wie eine Simulation mit dem Programm in der Realität aussehen würde. Dieses ständige Wechseln der Perspektive scheint wesentlich zum besseren Verständnis des Magnetpendels beizutragen. (Das Programm wird auf Nachfrage kostenlos abgegeben).

(5) Begriffe "Chaotisches System" und "Prinzip der eingeschränkten Vorhersagbarkeit"

Im abschließenden Abschnitt geht es um die Verallgemeinerung des bisher am Beispiel des Magnetpendels Erkannten. Zwar ist dieser Abschnitt bei straffer Führung durch die Lehrkraft in einer Unterrichtsstunde zu schaffen. Es ist aber zu empfehlen, sich mehr Zeit zu nehmen, da erst an dieser Stelle die so wichtigen "philosophischen" Gespräche über Vorhersagbarkeit und ihre Einschränkungen möglich sind. Zunächst werden die Kennzeichen chaotischer Systeme herausgearbeitet. Schülerinnen und Schüler "erfinden" dann in ihren Gruppen ein neues chaotisches System. Es zeigt sich in diesem Unterrichtsabschnitt, dass die bisher gewonnenen Einsichten weiterer Ausschärfung bedürfen. Die Diskussion verschiedener chaotischer Systeme leistet hier einen wichtigen Beitrag. In unseren Aufzeichnungen finden wir zum Beispiel viele Belege, dass Erkenntnisse, die an einem neuen chaotischen System gewonnen werden, in ihrer Rückübertragung auf das Magnetpendel zu einem vertieften Verständnis dieses Versuchs führen. Es ist an dieser Stelle reizvoll, die Schülerinnen und Schüler nach chaotischen Systemen in ihrer Umwelt suchen zu lassen. Wir waren immer wieder überrascht, wie einfallsreich manche Schülerinnen und Schüler ihre neu gewonnenen Einsichten anwendeten. So erläuterte uns ein Mädchen, dass es nicht genau möglich sei zu sagen, wo ein Blatt landen wird, das bei Windstille von einem Baum fällt, weil gewissermaßen Zufall und Gesetzmäßigkeit unvorhersehbar zusammenwirken. Ein Junge beschrieb, dass man die Bahn eines Wassertropfens, der eine Glasscheibe herunterläuft, nicht genau vorhersagen kann, weil kleinste Verunreinigungen der Scheibe (z.B. durch Fett) dem Tropfen eine andere Bahn als senkrecht nach unten aufnötigen.

Mit diesen fünf Unterrichtsabschnitten ist eine Grundlage gelegt, das Thema durch interessante Anwendungen von Ideen der Chaostheorie zu vertiefen. So kann man Experimente mit ganz anderen chaotischen Systemen (z.B. mit nichtlinearen elektrischen Bauelementen; s. z.B. [17]) anschließen oder darüber sprechen, inwieweit das Wetter oder das Planetensystem chaotische Systeme sind.

4 Ergebnisse zum Verstehen der eingeschränkten Vorhersagbarkeit

Die vorstehend skizzierte Unterrichtseinheit ist mehrfach in Kiel (in Zusammenarbeit mit W. M. Roth) und in Wien (in Zusammenarbeit mit H. Stadler) erprobt worden[*)]. Bei diesen Erprobungen haben wir die Lernprozesse der Schülerinnen und Schüler im Detail untersucht. Der Unterricht im gesamten Klassenverband und in einigen Gruppen wurde jeweils auf Videoband aufgezeichnet und anschließend verschriftlicht. Weiterhin liegen Ergebnisse von Eingangs- und Abschlußfragebögen sowie von Interviews vor, die wir nach Abschluß des Unterrichts mit einigen Schülerinnen und Schülern geführt haben. Diese Ergebnisse können hier nicht im Detail wiedergegeben werden (vgl. dazu [18] bis [21]).

Verstehen chaotischer Systeme

Unsere Studien belegen, dass es bereits im 10. Schuljahr möglich ist, Schülerinnen und Schülern den Begriff chaotisches System so zu vermitteln, dass sie ihn zur Erklärung einer Klasse von Experimenten und Phänomenen anwenden können. Auch gelingt es, die Vorstellungen vieler Schülerinnen und Schüler von der Vorhersagbarkeit in der Physik zu revidieren. Sie erkennen, dass es Systeme gibt, unter ihnen erstaunlich einfache, deren zukünftiges Verhalten nicht vorausgesagt werden kann, obwohl sie deterministischen Gesetzen unterliegen. Den meisten Schülerinnen und Schülern werden also mit unserem Unterricht neue Denkweisen vermittelt, die eine gute Basis für das Verständnis interessanter Anwendungen der Chaostheorie sind. Bei der Erprobung in Wien ergab sich zum Beispiel die Gelegenheit, mit den Schülerinnen und Schülern im Anschluß an unseren Unterricht eine "Chaosausstellung" zu besuchen. Obwohl diese Ausstellung didaktisch eher ungeschickt war und auch von den jungen Führern schlecht präsentiert wurde, zeigen Antworten in den Interviews, dass die im Unterricht vermittelten Denkweisen und Einsichten es den Schülerinnen und Schülern erlaubten, überraschend viel aus der Ausstellung mitzunehmen.

Interesse am Unterricht

Eine weitere Erfahrung während unserer Erprobungen scheint uns bemerkenswert zu sein. Der Unterricht stieß bei den meisten Schülerinnen und Schülern auf sehr großes bis gutes Interesse. Natürlich muß man bei solchen Erprobungen, die auch mit einem gewissen technischen Aufwand verbunden sind (Videokameras, die den Unterricht aufzeichnen; Fragebögen und Interviews, in denen die Schülerinnen und Schüler Gelegenheit haben, sich auch zum Unterricht zu äußern), in Rechnung stellen, dass sie als Abwechslung des Unterrichtsalltags ein gewisses Interesse hervorrufen. Unbeschadet dessen war das große Engagement vieler Schülerinnen und Schüler in der Gruppenarbeit einerseits durchaus auf Interesse am Thema zurückzuführen, andererseits auf die Möglichkeit, sich in den Gruppen aktiv am Unterrichtsgeschehen beteiligen zu können. Anzufügen ist, dass in unseren Erprobungen viele Mädchen sehr viel aktiver und engagierter waren, als man es ansonsten im Physikunterricht erlebt.

In Interviews haben uns einige der Befragten erklärt, unser Unterricht sei gar kein "richtiger" Physikunterricht gewesen. Auf unsere erstaunte Frage, was sie damit meinten, haben die Befragten etwa wie folgt geantwortet. Dieser Unterricht folge nicht dem eingefahrenen Schema, ein Experiment vorgeführt zu bekommen, Messungen durchzuführen, Meßergebnisse auszuwerten, eine Formel zu entwickeln und diese dann anzuwenden. Hier sei es ja um die Erklärung eines Experiments gegangen. Natürlich gab es unterschiedliche Meinungen, ob die

[*)] Die Kieler Erprobungen konnten wir im Gymnasium Wellingdorf durchführen. Wir sind der Schulleitung und Frau StRin Bobertz und Herrn StR Knieling sehr dankbar, dass wir in ihren Klassen arbeiten durften. Die Erprobung in Wien fand am Gymnasium "Am Laaer Berg" statt. Frau Prof. Mag. Helga Stadler unterrichtet dort Physik. Die Wiener Untersuchung wurde von ihr und Reinders Duit durchgeführt.

lange Zeit, die man mit der Sache gerungen hatte, gut angelegt war.

Verständnisschwierigkeiten

Es ist bei der Beschreibung des Unterrichtsverlaufs bereits auf eine Reihe von Verständnisschwierigkeiten der Schülerinnen und Schüler hingewiesen worden. Deutlich wurde zunächst, dass die im Unterricht bereits behandelten Inhalte keineswegs ohne Probleme verfügbar waren. In aller Regel griffen die Schülerinnen und Schüler eher auf Alltagsvorstellungen als auf im Unterricht behandelte physikalische Vorstellungen zurück, wenn es z.B. um das Zusammenwirken von Kräften, um Magnetfelder und labiles Gleichgewicht ging. Aus der Literatur zu "Schülervorstellungen" ist dies bestens bekannt (s. Kapitel 6 in [12]). Obwohl wir am Ende des Unterrichts bei den meisten Schülerinnen und Schülern ein recht weit ausgebautes Verständnis der eingeschränkten Vorhersagbarkeit gefunden haben (s.o.), muß allerdings eingeräumt werden, dass rund die Hälfte von ihnen nur oberflächlich verstanden hat, *wie* die sensitive Zonen labilen Gleichgewichts zur eingeschränkten Vorhersagbarkeit führen. Sie sehen nicht oder nur in Ansätzen, dass kleine (unvermeidliche) Änderungen des Startpunkts und kleine (unvermeidliche) Störungen während des Laufs dazu führen, dass die Bahnen zweier Versuche zunächst noch eng beieinander bleiben, dann aber "exponentiell" auseinander laufen. Viele der Befragten waren auch nach dem Unterricht noch der Meinung, nur (oder vorwiegend) solche Störungen hätten eine Wirkung, die genau in den labilen Gleichgewichtszonen auftreten, weil die Kugel dort "kräftefrei" und somit besonders empfindlich für kleine Störungen sei. Wahrscheinlich ist dieser Effekt auf ein Defizit des Unterrichts zurückzuführen. Dort haben wir nicht im Einzelnen verfolgt und diskutiert, wie sich zwei Bahnen, die von etwas unterschiedlichen Startpunkten beginnen und dann auch noch kleinen Störungen ausgesetzt sind, weiterentwickeln.

Es gibt eine Reihe von Befunden in unseren Untersuchungen, die über den Unterricht zur Chaostheorie hinaus von Interesse sein dürften. Wir beschränken uns hier auf zwei Beispiele. Bei der Untersuchung des Kraftfeldes, in dem sich die Kugel des Magnetpendels bewegt (s. oben den zweiten Unterrichtsabschnitt), haben die Schüler spontan den "Stern", der die Zonen labilen Gleichgewichts ausmacht, als "Mercedesstern" bezeichnet. Der Lehrer hat diese Bezeichnung aufgenommen und im weiteren Verlauf als Kennzeichen chaotischer Systeme verwendet. Der Mercedesstern stand also für die Zonen labilen Gleichgewichts. Aber nicht alle Schülerinnen und Schüler haben diese abstrakte Bedeutung mit dem Ausdruck verbunden. Manche verbanden damit die geometrische Struktur, häufig ohne jeden Bezug zur Idee des labilen Gleichgewichts. So war eine Schülerin der Meinung, das Galtonbrett (s. in Abb. 4) sei ein chaotisches System, weil es dort Mercedessterne gäbe. Sie meinte damit die Y-artige Anordnung der Nägel und nicht die Idee des labilen Gleichgewichts auf den Nägeln, wenn sie von den kleinen Kügelchen getroffen werden (s. [19]). Bei der Planung unserer Unterrichtseinheit waren wir davon ausgegangen, dass Schülerinnen und Schüler die unten in Abb. 4 gezeigten Elementaranalogien ohne gewisse Schwierigkeiten verstehen würden. Wie bereits oben kurz erwähnt, hatten sie aber große Schwierigkeiten zu erkennen, was auf den Bildern zu sehen ist. Sie interpretierten zum Beispiel den Schmetterling, der für uns für kleine Störungen stand, als Windanzeiger oder schlicht als Dekoration. Es wird hier klar, dass die Schülerinnen und Schüler Experimente, die wir ihnen zeigen, Bilder, die wir ihnen vorlegen, Erklärungen, die wir ihnen geben, ihren *eigenen* Sinn geben. Sie gehen eben mit anderen Vorstellungen als wir an die Interpretation der Lernhilfen heran.

Resümee

Mit dem heutigen Stand unserer Arbeiten glauben wir, belegen zu können, wie Chaostheorie dem bisherigen Kanon von Unterrichtsinhalten einige Aspekte hinzufügen kann, die bisher kaum zur Sprache gekommen sind. Dies betrifft vor allem das subtile Zusammenspiel von Zufall und Gesetzmäßigkeit, das bei nichtlinearen Systemen eine Rolle spielt und somit eine große Anzahl von Naturerscheinungen adäquat zu beschreiben erlaubt. Diese Gedankengänge scheinen - freilich auf einem qualitativen Niveau - durchaus bereits am Ende der Sekundarstufe I vermittelbar zu sein. Dabei kommt es uns nicht darauf an, das Verhalten bestimmter chaotischer Systeme im Unterricht zu erklären, sondern es geht uns vielmehr um Einsichten über die "Natur des Naturgeschehens", die diese Systeme verdeutlichen. Es geht auch um die Klärung des Begriffs Zufall selbst. Schülerinnen und Schüler haben in der Regel Vorstellungen von diesem Begriff, die den wissenschaftlichen Vorstellungen nicht gerecht werden. So versteht eine Reihe der von uns Interviewten den Zufall als eine eigenständige Kausalursache - und damit ist dann ihr naiver Determinismus gerettet. Aus unserer Sicht lohnt es sich damit durchaus, über Aspekte chaotischer Systeme zu unterrichten, und es lohnt sich, Ihren Bildungswert und ihre Vermittelbarkeit zu untersuchen.

Literatur

[1] H. J. Schlichting: Schöne fraktale Welt - Annäherung an ein neues Konzept der Naturwissenschaften. *MNU* 45 (1992) 4, S. 202 - 214.

[2] H. J. Schlichting: Energie, Entropie, Synergie - Ein Zugang zur nichtlinearen Physik. *MNU* 46 (1993) 3, S. 138-148.

[3] Chaos und Fraktale - in ihrer Bedeutung über- oder unterschätzt? Diskussion mit Beiträgen von H. O. Peitgen (Mathematik ohne Berührungsängste) und K. Steffen (Chaos, Fraktale und das Bild der Mathematik in der Öffentlichkeit). *MNU* 47 (1994) 4, S. 240-245.

[4] R. J. Brandenburg: Chaos-Physik in Gruppenarbeit. *MNU* 47 (1994) 5, S. 292-302.

[5] C. Morgenstern: Realisieren der fraktalen räumlichen Geometrie vom Standpunkt der Ästhetik. *MNU* 47 (1994) 5, S. 302-305.

[6] H. G. Bigalke: Chaostheorie und Fraktale Geometrie im Mathematikunterricht? *MNU* 49 (1996) 1, S. 40-52.

[7] H. J. Schlichting - V. Nordmeier: Strukturen im Sand - Kollektives Verhalten und Selbstorganisation bei Granulaten. *MNU* 49 (1996) 6, S. 323-332.

[8] M. Komorek: *Bibliographie zur Chaostheorie*. - Kiel: IPN 1996.

[9] M. Euler: Gekoppelte Uhren und kognitive Prozesse: Lineare und nichtlineare Prinzipien in der internen Informationsdynamik. *Physik in der Schule* 32 (1994), S. 72-76.

[10] H. J. Schlichting - U. Backhaus - H. G. Küpker: Chaos beim Wasserrad - ein einfaches mechanisches Modell für das Lorenz-System. *Physik und Didaktik* 19, S. 126-129.0

[11] B. Vongxaya - J. Weißbart: Nichtlineare Schwingungen - ein computergestütztes Lernprogramm für Ingenieurstudenten des ersten Studienjahres. In: *Deutsche Physikalische Gesellschaft: Didaktik der Physik, Vorträge*. DPG GmbH: Esslingen (1993) S. 671-678

[12] P. Häussler - W. Bünder - R. Duit - W. Gräber - J. Mayer: *Naturwissenschaftsdidaktische Forschung: Perspektiven für die Unterrichtspraxis.* Kiel: IPN.

[13] U. Kattmann - R. Duit. - H. Gropengiesser - M. Komorek: Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion - Ein theoretischer Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 3 (1997) Heft 3, S. 3-18.

[14] H. G. Schuster: *Deterministic chaos.* - Heidelberg: Spektrum 1992

[15] R. Hedrich: Mathematische Stabilitätskonzepte. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik* 45 (1996), Heft 1, S. 18-21.

[16] M. Komorek: *Elementarisierung und Lernprozesse im Bereich des deterministischen Chaos.* - Kiel: IPN 1998

[17] W. Wierzioch: Ein Schwingkreis spielt verrückt. In: Kuhn, W.: *Didaktik der Physik Vorträge*. Gahmig Druck Gießen: Gießen (1988) S. 292-298

[18] R. Duit - M. Komorek - J. Wilbers: Studien zur Didaktischen Rekonstruktion der Chaostheorie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 3 (1997) Heft 3, S. 19-34.

[19] R. Duit - M. Komorek - J. Wilbers - W. M. Roth: Die Krux mit dem Mercedesstern - eine Unterrichtseinheit zum deterministischen Chaos. In: H. BEHRENDT (Hrsg.): *Zur Didaktik der Physik und Chemie - Probleme und Perspektiven.* Vorträge auf der Tagung für Didaktik der Physik/Chemie in Bremen, September 1996. Alsbach: Leuchtturm, 1997, S. 344-346.

[20] R. Duit - W. M. Roth - M. Komorek - J. Wilbers: Conceptual change cum discourse analysis to understand cognition in a unit on chaotic systems: towards an integrative perspective on learning in science. *International Journal of Science Education* 20 (1998), S. 1059-1073.

[21] H. Stadler - R. Duit: Teaching and learning chaos theory: Case studies on students' learning pathways. Paper presented within the Poster Workshop "Studies on Educational Reconstruction of Chaos Theory" at the ESERA (European Science Education Research Association) Conference in Rome, September 2 - 5, 1997

[22] B. Naujack: Eine empirische Untersuchung zum Lernen von Grundideen des Fraktalmodells. In: Komorek, M., Duit, R., & Schnegelberger, M. (Hrsg.): *Fraktale im Unterricht,* Kiel: IPN, 1998, S. 151-182.

[23] N. Bücker: Experimente, Elementarisierungen und Schülererklärungen zum fraktalen Wachstum. In: Komorek, M., Duit, R., & Schnegelberger, M. (Hrsg.): *Fraktale im Unterricht*, Kiel: IPN, 1998, S. 203- 234.

Anhang

Anleitung zum Bau eines chaotischen Magnetpendels

Das magnetische Pendel läßt sich als Demonstrationsversuch für den Overheadprojektor oder als bewegliches Modell (Abb. 5) z.B. für die Gruppenarbeit realisieren. In jedem Fall empfiehlt sich, zur genauen Positionierung der Magneten eine Kreisschablone aus Papier bzw. auf einer Folie anzufertigen (Abb. 6). Diese Schablone sollte eine Markierung in der Mitte und drei strahlenförmige Markierungen am Rand im Winkelabstand von 120° besitzen. Bei der Justierung wird die Schablone genau mittig unter die eiserne Pendelkugel gelegt, bevor die Magneten in gleicher Entfernung von der Mitte auf die Winkelmarkierungen gelegt werden. Auf diesen Markierungen lassen sich die Magneten recht einfach gleichmäßig verschieben.

Für den Einsatz auf einem Overheadprojektor ist es günstig, die Magneten unter eine Glasscheibe zu legen. Praktisch ohne die magnetische Anziehung zu verringern, verhindert sie, dass sich die Magneten beim Annähern der Kugel bewegen. Bevor man die Fadenlänge reguliert, um die gewünschte "chaotische" Bewegung zu erhalten, muß die Optik des Projektors auf die Magneten fokussiert werden. Der Pendelfaden ist dann aufgrund der Fokussierung nicht mehr zu erkennen, so dass er bei der Beobachtung der charakteristischen Bewegung des Pendels nicht stört.

Für den Einsatz des Magnetpendels in Form eines transportablen Versuchsaufbaus empfiehlt sich, die Fadenhalterung fest mit einer magnetisierbaren Metallplatte zu verbinden. Mit Stativmaterial und einer Eisenplatte läßt sich dieser Aufbau relativ einfach realisieren. Eine solide Vorrichtung zur stufenlosen Regulierung der Fadenlänge ist wünschenswert. Eine Fadenlänge von ca. 60 cm bei einem Durchmesser der Metallplatte von 25 cm und einem Durchmesser der Pendelkugel von 12-16 mm haben sich als praktische Größenverhältnisse erwiesen. Allerdings hängen diese Maße von der Größe und der Kraft der Magneten ab. Der schematische Aufbau, der die wichtigsten Parameter einzustellen erlaubt, ist in Abb. 5 zu sehen.

Zum Starten der Pendelkugel benötigt man eine Vorrichtung, die es erlaubt, die Kugel möglichst genau vom gleichen Startpunkt aus zu starten. Dies ist wichtig, um mit den Schülerinnen und Schülern die Bedeutung der Reproduzierbarkeit der Startbedingungen zu diskutieren. Letztlich ist es nicht notwendig, die Präzision dieser Startvorrichtung unnötig hoch zu treiben (was im übrigen auch nicht einfach ist), wichtig ist, deutlich zu machen, dass ein gewisses Maß an Reproduzierbarkeit der Startbedingungen erreichbar ist.

In den Unterrichtserprobungen hat sich eine elektromagnetische Startvorrichtung bewährt, bei der die Pendelkugel mit Hilfe eines Elektromagneten zunächst seitlich der Magneten gehalten wird, bevor man den Spulenstrom zum Starten des Pendels per Knopfdruck kurz unterbricht. Es empfiehlt sich, in die Spule einen Kunststoffkern einzufügen, der am vorderen Ende eine konische Vertiefung besitzt. Das bietet den Vorteil, dass das Pendel aus dieser Höhlung heraus mit recht hoher Reproduzierbarkeit gestartet werden kann. Die Startvorrichtung läßt sich ebenfalls aus Stativmaterial konstruieren, so dass man den Startpunkt des Pendels für jeweils eine Serie von

Durchgängen variabel einstellen kann. Nicht-elektromagnetische Startvorrichtungen (wie z.B. eine hölzerne Plattform, die beim Starten nach unten wegklappt) haben sich als wenig vorteilhaft erwiesen, da die mechanische Beeinflussung des Pendels zu groß ist. Um das qualitative Verhalten des Pendels zu demonstrieren, läßt es sich natürlich auch per Hand starten.

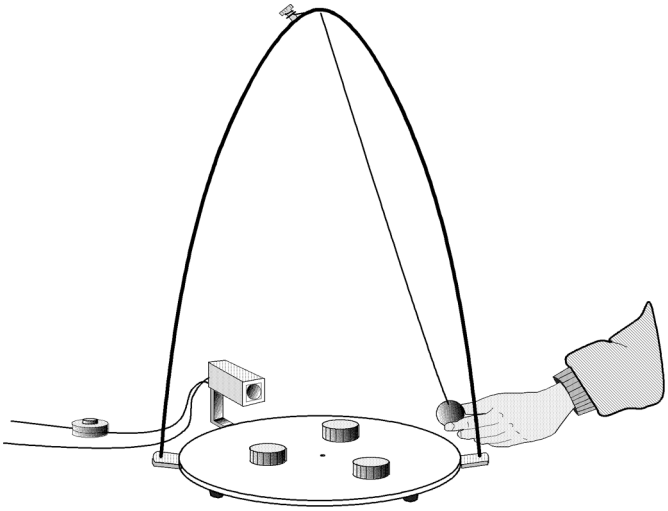


Abb. 5: Schematischer Aufbau des Magnetpendels

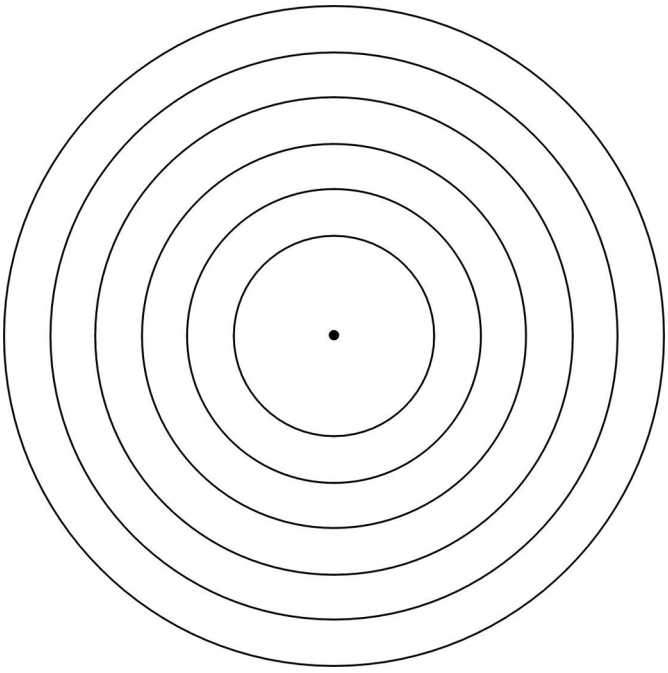


Abb. 6: Schablone zur Positionierung der Magneten

"Chaosschüssel" als Analogmodell

Räumliche Analogien wie "Wall" und "Berggrat" sind bei der Erklärung des Magnetpendels hilfreich. Bestimmte Bewegungselemente findet man beim Magnetpendel wieder: Das "Entlanglaufen auf einem Grat" (z.B. beim ersten Hineinschwingen), das schräge "Anlaufen gegen einen Wall" und das "In-Sich-Zurücklaufen". Beim Analogmodell der "Chaosschüssel" sind die Potentialverhältnisse, wie sie beim Magnetpendel zu finden sind, räumlich umgesetzt worden. Die Chaosschüssel besitzt drei Vertiefungen und drei Wälle in einer halbrunden Grundform (Abb. 7). Wenn eine Kugel in dieser Schüssel rollt, zeigt sie qualitativ die gleichen Bewegungen, wie das Magnetpendel um die drei Magneten herum. Mit diesem Analogmodell ist es möglich, die verschiedenen Bewegungsformen des Magnetpendels zu erklären.

Die Chaosschüssel läßt sich aus Gips formen, den man in eine Haushaltsschüssel von ca. 25 cm Durchmesser gießt. Kurz vor dem Erstarren bildet man eine gleichmäßig runde Vertiefung (die dem Gravitationspotential entspricht), indem man mit einer Plastik- oder besser noch mit einer Metallschablone (Abb. 8a) die Grundform herausdreht. Nach dem Erstarren, aber vor dem Aushärten formt man mit kleinen Holzmeißeln o.ä. die drei Vertiefungen entsprechend der zweiten Schablone (Abb. 8b). Im ausgehärteten Zustand setzt man die Bearbeitung mit Schmirgelpapier und Stahlwolle fort und läßt schließlich die gesamte Oberfläche der Gipsschale mit einem harten Tiefengrund (für Holz) ein.

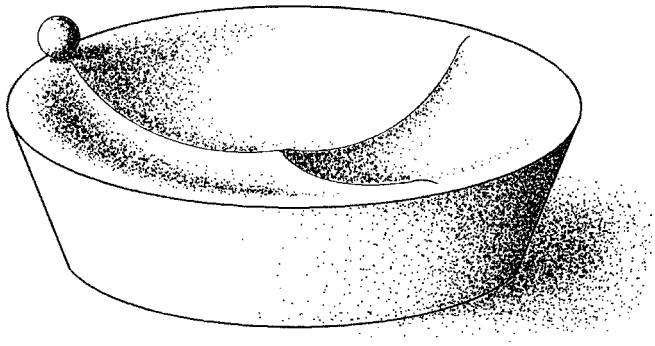


Abb. 7: "Chaosschüssel"

Abb. 8a: Lehre zur Bildung der Grundform der "Chaosschüssel"

Abb. 8b: Lehre zur Bildung der Vertiefungen

Sprache im Physikunterricht

Martin Apolin

Wie sollte die Sprache im Physikunterricht sein?

Ich möchte diese Frage gleich vorweg beantworten: So einfach wie möglich! Warum, soll im Folgenden anhand von Überlegungen und Untersuchungen erklärt werden.

Unterrichtsprache aus Sicht der Kommunikation

Jeder Kommunikationsvorgang hat vier Komponenten: einen Sender (in diesem Fall LehrerIn), einen Empfänger (SchülerIn), einen Code (Sprache) sowie ein Medium, das die Übertragung ermöglicht (gesprochene oder geschriebene Worte) (vgl. Nowotny 1982[2], S. 105).

Der Lehrer codiert seine Nachricht, der Schüler muss sie wieder entschlüsseln. Gute Verständigung ist nur dann möglich, wenn Sender und Empfänger über den gleichen Code verfügen (und nicht so wie in Abb. 1).

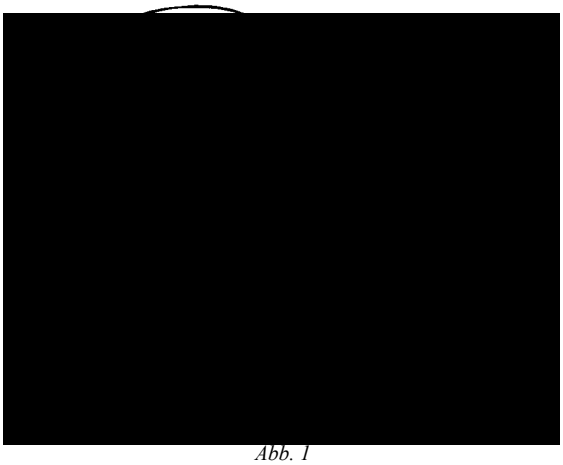


Abb. 1

Verfügen SchülerInnen und LehrerInnen über den gleichen Code? Es gibt zwei stichhaltige Argumente dagegen! Der erste Grund ist, dass sich mit zunehmendem Alter und steigender Bildung aus dem eingeschränkten Code der elaborierte Code entwickelt. Der zweite Grund ist, dass sich die Sprache aller Wissenschaften durch das Fachvokabular deutlich von der Alltagssprache unterscheidet.

Wagenschein - der "hartnäckigste sprachliche Warner in der deutschen Physikdidaktik" (Merzyn 1994, S. 155) - teilt den Weg von der Alltags- zur Fachsprache in drei Phasen ein (Wagenschein 1976, S. 132ff).

In Phase 1 "schleudert das Denken die echten Worte hervor. Will man aber die Sprache polieren, solange sie noch fließt, so spaltet man die Aufmerksamkeit von der Sache ab und züchtet leere Worte".

Phase 2: Man hat verstanden. Erst jetzt sollte versucht werden, exakt und sachlich zu formulieren, aber immer noch in der Alltagssprache.

Erst dann ist nach Wagenschein Zeit für Phase 3, für die Fachsprache. Er spricht aber davon, diese Sprache nicht ausdrücklich zu lehren, sondern sie "einreißen" zu lassen. Wichtig ist, dass der Weg zu Phase 3 immer über 1 und 2 führt, sonst "apportieren SchülerInnen die Merksätze". Das eigentliche Ziel in allgemeinbildenden Schulen ist nach Wagenschein Phase 2.

Soll man aber wirklich so stark wie möglich vereinfachen? Spielt es eine Rolle, ob der Text aufgelockert geschrieben und wie er gegliedert ist? Kurz, wie soll man vereinfachen? Diese Frage wird von SprachwissenschaftlerInnen seit Jahrzehnten untersucht, und es gibt ganz klare Antworten darauf, die im nächsten Abschnitt überblicksmäßig angeführt sind.

Das Hamburger Verständlichkeitsmodell

Das hier vorgestellte Modell ist zwar ein alter, aber ein sehr guter Hut, der leider scheinbar zu sehr in Vergessenheit geraten ist - ebenso wie die mahnenden Worte Wagenscheins. Es geht im Folgenden zunächst nur um geschriebene Texte.

In Deutschland wurde ab etwa 1970 versucht, die Fülle von verständnisfördernden Eigenschaften eines Textes zu wenigen, prägnanten Merkmalen zusammenzufassen (z. B. Steinbach, et al. 1972; Langer, et al. 1973; Schulz von Thun, et al. 1974a; Schulz von Thun, et al. 1974b).

In zahlreichen Untersuchungen konnten unter anderem folgende, für das Erstellen und Ändern von Texten wesentliche Kriterien signifikant belegt werden. (Hier werden nur die allerwichtigsten Ergebnisse präsentiert. Für Details muss auf die Originalarbeiten verwiesen werden):

Die Vielzahl der Merkmale lässt sich im Wesentlichen durch nur vier Haupt-Verständlichkeitsmerkmale beschreiben. Sie erklären mindestens ¾ der Gesamtvarianz der Merkmale eines Textes. Diese vier Hauptmerkmale sind

1. Einfachheit
2. Gliederung - Ordnung
3. Kürze - Prägnanz
4. anregende Zusätze

Die mit Abstand wichtigste verständnisfördernde Eigenschaft eines Textes ist die Einfachheit. Einfachheit umfasst die Merkmale "leicht verständlich", "anschaulich", "kindgemäß", "für SchülerInnen wenig ungeläufige Wörter" und "konkret".

Die zweitwichtigste Eigenschaft ist Kürze - Prägnanz. Sie sollte in einem Mittelbereich liegen. Ist der Text zu lang, verliert man den roten Faden. Ist er zu prägnant, fehlen verständnisfördernde Redundanzen und Erklärungen.

Das Konzept der vier Hauptmerkmale hat allgemeine Gültigkeit. Es ist im Wesentlichen unabhängig von Alter, Geschlecht, Bildungsstand, Intelligenz sowie der Art des Textes. Mit anderen Worten: Von einfachen Texten profitiert jede Person. Abb. 2 zeigt das Ergebnis einer Untersuchung der Hamburger Wissenschaftler, bei der einer Gruppe Originaltexte (org), einer anderen optimierte Texte (opt) gleichen Inhalts

---

Kurzfassung der Dissertation von Dr. Martin Apolin, BRG 17 Wien,
email: martin.apolin@chello.at

vorgelegt wurden. Die Probanden waren Erwachsene unterschiedlicher Schulbildung. Mit einer Ausnahme lieferten die Testgruppen mit den optimierten Texten beim anschließenden Test bessere Ergebnisse als die Kontrollgruppe mit den Originaltexten. Beeindruckend: In einem Fall erreichte die Testgruppe mit Volksschulabschluss sogar bessere Ergebnisse als die Kontrollgruppe mit Abitur.

In den folgenden Jahren entwickelten die WissenschaftlerInnen eine Trainingsmethode, die es auch sprachwissenschaftlichen Laien erlaubt, nach den beschriebenen Kriterien verständliche Texte zu schreiben. Diese Trainings-Methode ist in dem Buch *Sich verständlich ausdrücken* (Langer, Schulz von Thun & Tausch, 1993[5]) zusammengefasst und ist jedem Lehrer wärmstens zu empfehlen.

Anwendung auf physikalische Texte

Die Methode der Hamburger Gruppe zur Optimierung von Texten wurde nun (übrigens zum ersten Mal im deutschsprachigen Raum) bei einer Untersuchung auf Physikschulbuchtexte angewandt (Apolin 2002). Zentrale Fragestellungen dieser Untersuchung waren unter anderem:

1. Ist es möglich, bereits bestehende Physikschulbuchtexte so umzuformulieren, dass das Ausmaß des Verstehens und Behaltens größer wird?
2. Um wie viel Prozent verschlechtert sich die Leistung zwischen dem ersten Test und einem Kontroll-Test eine Woche später? Mit anderen Worten: Wie groß ist der "Gedächtnisverlust"?

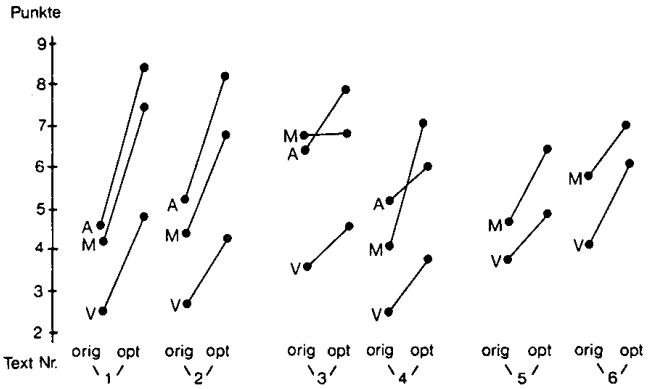


Abb. 2: Mittelwerte aller Schulabschlussgruppen in den Verständnis-Behaltensleistungen für Originaltexte (orig) und optimierte Texte (opt). V = Volksschulabschluss, M = mittlere Reife, A = Abitur (Schulz von Thun, Weitzmann & Langer 1974, S. 176)

Es wurden dazu vier Texte zur speziellen Relativitätstheorie aus bestehenden AHS-Büchern der 8. Klasse verwendet (Schreiner sowie Sexl et al., Stand 2000) und umformuliert. SchülerInnen der 6 bis 8. Klassen (N=54) wurden dabei in eine Test- und eine Kontrollgruppe randomisiert eingeteilt und die Ergebnisse im Blindverfahren ermittelt. Diese sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Die Testgruppe mit den optimierten Texten hatte also sowohl beim Eingangstest als auch eine Woche später über 60% mehr Punkte als die Kontrollgruppe. Was besonders erstaunt: Die Testgruppe wusste nach einer Woche noch genau so viel wie die Kontrollgruppe unmittelbar nach dem Lesen der Originaltexte.

	Eingangstest				Folgetest			
	Mittelwert	%	N	Signifikanz (2-seitig)	Mittelwert	%	N	Signifikanz (2-seitig)
Summe der Punkte auf die Originaltexte	6,56	100	54	,000	3,98	100	51	,000
Summe der Punkte auf die optimierten Texte	10,81	165	54		6,61	166	51	

Tabelle 1: T-Test für gepaarte Stichproben: Vergleich der Mittelwerte der Punktzahlen aufgeteilt auf alte und neue Texte beim 1. und 2. Test (Apolin 2002, S. 110).

Die optimierten Texte wurden aber nicht nur besser verstanden, sondern auch von den SchülerInnen als angenehmer und anregender beurteilt. Verständlichkeit wirkt also auch stimulant. Außerdem bestand eine hohe Korrelation zwischen der persönlichen Einschätzung der Verständlichkeit eines Textes und dem tatsächlichen Punkteergebnis. SchülerInnen können also gut einschätzen, ob sie einen Text verstanden haben oder nicht. Alle angeführten Ergebnisse waren hoch signifikant.

Der Überblick zeigt, dass es möglich ist, Texte noch zu optimieren, sowie warum und in welchen Fällen es gelungen ist. Besonders interessant ist daher die aufgeschlüsselte Auswertung der insgesamt 20 Testfragen (je 5 pro Text). Im Folgenden werden exemplarisch 3 Ergebnisse vorgestellt, die nicht nur für geschriebene, sondern auch für gesprochene Sprache relevant sind.

Beispiel 1

Eine der Testfragen zu Text 1 lautete "Wie kann man überprüfen, ob man sich in einem Inertialsystem befindet?". Tabelle 2 zeigt das deutlich bessere Ergebnis der Testgruppe in beiden Tests. Wie ist das zu erklären?

Die Originalstelle lautete folgendermaßen:
"Alle mechanischen Vorgänge verlaufen aber auch in einem gegen die Erde gleichförmig bewegten Zug in genau der gleichen Weise: Ruhende Körper verharren auch dort auf einer horizontalen Ebene in Ruhe". (Schreiner 1992, S. 1)

In der Neuversion hieß es:
"In einem Inertialsystem [...] funktionieren alle mechanischen Experimente wie in einem ruhenden System. So bleibt eine Kugel auf einem ebenen Tisch in einem gleichförmig fahrenden Zug liegen."

Text 1 *"Grundsätze der speziellen Relativitätstheorie"*	max. Punkte	Punkteschnitt Eingangstest		Punkteschnitt Folgetest	
		Testgr.	Kontrollgr.	Testgr.	Kontrollgr.
"Wie kann man überprüfen, ob man sich in einem Inertialsystem befindet?"	2	0,92**	0,14**	0,56*	0,12*

*Tab. 2: Punkteverteilung der beiden Gruppen in Prozent und Signifikanzen bei Eingangs- und Folgetest für Text 1/ Frage 5. ** = hoch signifikant; * = signifikant*

Während die Originalversion allgemein gehalten war und der nichtalltägliche Begriff "verharren" verwendet wurde, wurde in der Neuversion das Beispiel der ruhenden Kugel auf einem ebenen Tisch gebracht. Ein verständlicher Text muss anschaulich und konkret sein, damit die Information dadurch besser im Gedächtnis verankert wird. Durch diese scheinbar kleine Änderung konnte in der Testgruppe der Punktschnitt beim Eingangstest um fast 560 % (von 0,14 auf 0,92), beim Folgetest eine Woche später um 370 % (von 0,12 auf 0,56) gehoben werden.

Beispiel 2

Besonders interessant ist das Ergebnis bei der Entscheidungsfrage "Konnte der Äther nachgewiesen werden?" (siehe Tabelle 3). Während alle SchülerInnen der Testgruppe richtig antworteten, waren es in der Kontrollgruppe nur 85 % (bzw. 80 % beim Nachtest). Der Grund ist wohl eine Verletzung der inneren Gliederung. Dort steht das Ergebnis der Experimente am Anfang ("Alle Mühe war vergeblich."), und dann erst folgt die ausführliche Beschreibung. In der Neuversion steht das Ergebnis zum Schluss des Textes ("Es ließ sich kein Ätherwind messen."). Dieses Beispiel verdeutlicht, wie wichtig der rote Faden bei einer Erklärung ist.

Text 2 *"Vom Äther zur Relativitätstheorie"*	max. Punkte	Punkteschnitt Eingangstest		Punkteschnitt Folgetest	
		Testgr.	Kontrollgr.	Testgr.	Kontrollgr.
"Konnte der Äther nachgewiesen werden?"	1	1,00*	0,85*	1,00*	0,80*

Tab. 3: durchschnittliche Punkteverteilung der beiden Gruppen in Prozent und Signifikanzen bei Eingangs- und Folgetest für Text 2/ Frage 5

Beispiel 3

Eine Frage beim 4 Test lautete "Welche Frequenz hat die Radiowelle ungefähr?" Im Original kam zweimal die exakte Frequenz von 9 192 631 770 Hz vor, in der Neuversion stand redundant zusätzlich noch "über 9 Milliarden".

Text 4 *"Die Atomuhr"*	max. Punkte	Punkteschnitt Eingangstest		Punkteschnitt Folgetest	
		Testgr.	Kontrollgr.	Testgr.	Kontrollgr.
"Welche Frequenz hat die Radiowelle ungefähr?"	1	0,86*	0,58*	0,12	0,04

Tab. 4: durchschnittliche Punkteverteilung der beiden Gruppen in Prozent und Signifikanzen bei Eingangs- und Folgetest für Text 4/ Frage 4

Einige SchülerInnen der Kontrollgruppe rundeten, aber keine einzige SchülerIn kam auf die Idee, die Größenordnung zu schreiben (siehe Tabelle 5). Es scheint auf jeden Fall so, dass SchülerInnen, die eine genau angegebene Zahl lesen, diese nicht automatisch in die Größenordnung "übersetzten". Sie versuchen sich die Zahl selbst zu merken. Aus diesem Beispiel lässt sich lernen, dass es günstig ist, wichtige Zahlen redundant anzugeben, also in Ziffern und in Größenordungen. Auf das Langzeitgedächtnis wirkte sich die redundante Angabe in der Neuversion nicht aus.

Kontrollgruppe	Testgruppe
ca. 9 192 631 770 Hz 9 .?. .?.. 720 Hertz 9 .. ..770 Hz 9 193 6.. 770 Hz 9 163 790 Hz	~ 9 Milliarden Schwingungen 9 Milliarden Hertz 9 Milliarden ~ 9 Mrd. sie schlägt ca. 9.109 x/sec."

Tab. 5: Typische Antworten der beiden Gruppen.

Zusammenfassung

Was ist die Hauptaufgabe des Physikunterrichts? Die Hauptaufgabe des Physikunterrichts ist das Vermitteln physikalischer Inhalte!

Wie muss die Unterrichtssprache sein, um möglichst viele Inhalte vermitteln zu können? Um den SchülerInnen möglichst viele Inhalte vermitteln zu können, muss die Unterrichtssprache so verständlich wie möglich sein!

Was ist das wichtigste Merkmal einer verständlichen Sprache? Das wichtigste Merkmal einer verständlichen Sprache ist ihre Einfachheit!

Wie man für SchülerInnen verständliche Texte formuliert, kann man auch als sprachwissenschaftlicher Laie erlernen. Das Vereinfachen eines Textes kann ohne Inhaltsverlust vorgenommen werden. Beides konnte mit den oben zitierten Arbeiten belegt werden.

Man muss den SchülerInnen also "sprachlich entgegenkommen". Oder anders formuliert: Um den SchülerInnen möglichst viel Physik zu vermitteln, müssen LehrerInnen "sprachlich abwärtskompatibel" sein, sie müssen also lernen, die Sprache der SchülerInnen zu sprechen.

Literatur

Apolin M., *Die Sprache in Physikschulbüchern*, Dissertation, Wien 2002

Labudde P., *Erlebniswelt Physik*, Dümmlers, Bonn 1993

Langer I., Schulz von Thun F., Meffert J., Tausch R., Merkmale der Verständlichkeit schriftlicher Informations- und Lehrtexte; in: *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie* 1973/2, S. 269-286

Langer I., Schulz von Thun F., Tausch R., *Sich verständlich ausdrücken*, Reinhardt 1993[5]

Abb. 3

Merzyn G., *Physikschulbücher, Physiklehrer und Physikunterricht,* IPN Kiel 1994

Nowotny E., *Psychologie*, Deuticke, Wien 19822

Schulz von Thun F., Weitzmann B., Langer I., Tausch R., Überprüfung einer Theorie der Verständlichkeit anhand von Informationstexten aus dem öffentlichen Leben; in: *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, 1974/1, S. 162-179

Schulz von Thun F., von Berghes M., Langer I., Tausch R., Überprüfung einer Theorie der Textverständlichkeit: Verbesserung der Verständlichkeit von Kurzzusammenfassungen wissenschaftlicher Veröffentlichungen; in: *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 1974/3, S. 192-206

Steinbach I., Langer I., Tausch R., Merkmale von Wissens- und Informationstexten im Zusammenhang mit der Lerneffektivität, in: *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 1972/2, S. 130-139

Wagenschein M., Die Sprache der Physik; in: *Beiheft der Zeitschrift für Pädagogik* 1968

Wagenschein M., *Die pädagogische Dimension der Physik*, Georg Westermann Verlag, Braunschweig 1976.

Wickert J., *Einstein*, Rowohlt 1983

Ist die Erde noch zu retten ...?

Eine Nacht im technischen Museum Wien (Camp In)

Erich Reichel, Clarissa Kradischnig und Lilo Gruber

Eine spannende Nacht verspricht das Technische Museum Wien mit seiner Kinderaktion "Camp In". Bei dieser Nacht im besucherleeren Museum wird den teilnehmenden Kindern Naturwissenschaften und Technik auf lustige und spielerische Art in engagierter Weise näher gebracht. Ich habe diese Veranstaltung bereits zweimal (2002 und 2003) besucht und werde auch dieses Jahr wieder mit ungefähr 55 Schülerinnen und Schülern unserer Schule nach Wien anreisen. Bepackt mit Liegematte, Schlafsack und Taschenlampe beginnt die Abenteuernacht im Technischen Museum. Voller Spannung schlagen die Kinder ihr Nachtlager in einem nicht gebrauchten Bereich des Museums auf. Aber zum Schlafen bleibt wenig Zeit, da es ein volles Programm zu absolvieren gilt. Gleich zu Beginn gibt es eine Schnitzeljagd durch das Museum zum Kennenlernen des Hauses. So gibt es eine Reihe weiterer Programmpunkte, wie Bergwerksführung, Hochspannungsanlage, selbst durchgeführte Experimente, Wissensquiz unter Zuhilfenahme einer Telefonanlage, die "Rettung von Ressourcen" und nicht zuletzt die spät abendliche Disco.

Diese Veranstaltung ist optimal für die Altersgruppe der 11- bis 12-jährigen ausgerichtet und lässt keine Langeweile aufkommen. Die Schüler werden wettkampfartig dazu animiert, sich mit den Exponaten des Museums auseinander zu setzen, teilweise unter der spannenden Rahmenhandlung, die Erde retten zu müssen und für die Bereitstellung von Energie und anderen Ressourcen zu sorgen. Die Aufgaben sind abwechslungsreich gestaltet und entsprechen bestens dem Motto "Naturwissenschaften mit Herz, Hand und Hirn".

Besonders großes Interesse fand die nächtliche Bergwerksführung bei minimaler Beleuchtung und mit schaurigen Geschichten. Ein Highlight stellten natürlich die Hochspannungsversuche dar.

Die Verpflegung am Abend besteht in einer großen Anzahl unterschiedlicher Pizze, einem Essen, das kaum auf Widerstand stößt. Das Frühstück ist ebenfalls so bestückt, dass es keine Schülerinnen und Schüler gibt, die gar nichts finden.

Man kann sich natürlich fragen, wieso man in diese nicht ganz billige Veranstaltung investieren soll, wenn man das Museum auch im Rahmen eines normalen, günstigeren Besuches besuchen kann? Dafür spricht vor allem der abgeschlossene Charakter der Veranstaltung. Die Kinder haben das Gefühl, das Technische Museum gehört ihnen allein, und sie arbeiten an gemeinsamen Aufgaben, die nur für sie bestimmt sind. Dazu kommen auch noch Programmpunkte, die nicht wirklich für den Wissenserwerb bestimmt sind, wie die mitternächtliche Disco ("Clubbing im Technischen Museum"). Hier wird den Kindern gezeigt, dass solche Ereignisse nicht nur für Schikurse bestimmt sind. Nach Rückkehr zum "normalen" Physikunterricht in der Schule bemerkt man bei vielen SchülerInnen - zumindest vorübergehend - eine gesteigerte Begeisterung in der Mitarbeit im Unterricht. Die Veranstaltung hinterlässt einen bleibenden Eindruck, da die SchülerInnen auch noch zwei Jahre später äußerst positiv darüber sprechen, und hilft dadurch mit, das ohnehin etwas angekratzte Image des Physikunterrichtes aufzubessern.

Und wann hat man schon als Physiklehrer die Erfahrung gemacht, dass man um 5 Uhr Früh von einem Schüler gefragt wird, ob er sich im Museum schon umsehen darf, sich also mit Naturwissenschaften beschäftigen dürfe?

Schülerbewertung:

"Das technische Museum ist ein altes Bauwerk und sieht von außen schon sehr interessant aus, dachte ich mir, als wir ankamen. Nachdem unser Gepäck in einen Ausstellungsraum gebracht wurde, gab es erst einmal Pizza zu essen, die uns allen vorzüglich schmeckte. Dann teilten wir uns in Vierergruppen auf. Unsere Gruppe hatte die Aufgabe, sich eine Maschine auszudenken, die vieles kann. Und dann führten wir diese Maschine vor. Für die gestellten Aufgaben wurden Punkte an die Gruppen verteilt. Danach waren keine Besucher mehr im Technischen Museum, außer uns und unsere Betreuer. Die Betreuer haben für uns eine Schatzsuche im ganzen Museum vorbereitet. In unseren Gruppen eilten wir durch das Museum um als Erste wieder bei den Betreuern anzukommen. Als alle Gruppen die Schatzsuche beendet hatten, gab es eine Disco in einem Ausstellungsraum. Um Mitternacht hieß es dann: "Ab in eure Schlafsäcke und träumt schön!". Wir kuschelten uns in unsre Schlafsäcke. Es wurde noch lange getuschelt und ge-

Dr. Erich Reichel, BG/BRG 8010 Graz, Seebachergasse 11

lacht. In der Früh weckten uns unsere Professoren und es gab ein köstliches Frühstück. Am Vormittag durften wir uns noch die Hochspannungsshow ansehen. Diese hat mich besonders beeindruckt. Danach gingen wir in kleinen Gruppen noch einmal gemütlich durch das Museum und es gab auch noch ein paar lustige Spiele. Leider ging unser Ausflug langsam aber sicher zu Ende. Zum Schluss fand die Preisverteilung statt, jede Gruppe hatte einen Preis gewonnen. Danach ging es ab nach Hause. Ich möchte wirklich gerne noch einmal zum Camp In nach Wien fahren! Ich werde diesen Museumsbesuch bestimmt nie vergessen!" (Lilo Gruber, 2a/0203)

"In der 2. Klasse fuhren wir mit unserem Klassenvorstand Dr. Professor Reichel ins Technische Museum nach Wien. Schon die Anreise war für uns alle sehr lustig. Wir waren alle sehr bepackt, denn da wir vorhatten im Museum zu übernachten mussten wir unsere Schlafsäcke mitnehmen. Im Museum wurden wir gleich in einen großen Raum gebracht, in dem wir unser Nachtlager errichteten. Nun begann eine sehr spannende und vor allem auch lehrreiche Nacht für uns. Zuerst durften wir uns im Museum frei bewegen und verschiedenste Geräte ausprobieren, danach machten wir eine Art Orientierungslauf bei dem wir alle Räume des Museums erkundeten. Am Abend wurde es sehr spannend, denn nun begann eine Art Schnitzeljagd. Da es bereits Nacht war, mussten wir unsere Taschenlampen benützen. Wir suchten bestimmte Geräte, die uns halfen unsere Fragen zu beantworten. Als wir alle Aufgaben bewältigt hatten, gingen wir schlafen. Am nächsten Morgen gab es ein ausgiebiges Frühstück. Frisch gestärkt führten wir viele Versuche durch. Am interessantesten fand ich den Versuch, bei dem Blitze erzeugt wurden und einem Bub aus unserer Klasse die Haare elektrisch so stark aufgeladen wurden, dass sie ihm zu Berge standen. Natürlich bekamen wir auch eine Führung, bei der wir mit allen Geräten vertraut gemacht wurden. Nach der Siegerehrung und dem Mittagessen für die beste Gruppe traten wir wieder die Heimfahrt mit der Bahn an.

Meine Meinung:
Ich finde, dass wir bei diesem Ausflug sehr viel gelernt haben, da es wesentlich einfacher ist, Vorgänge zu verstehen, wenn man sie in der Realität sieht. Wir haben aber nicht nur unser Wissen verbessert, sondern auch unsere Klassengemeinschaft gefestigt, denn wir hatten sehr viel Spaß. Wir wurden im technischen Museum sehr nett aufgenommen und auch beim Essen gab es für jeden etwas (ich bin nämlich sehr heikel). Ich bin sehr froh, dass wir mit unserem Klassenvorstand diesen aufregenden Ausflug unternehmen durften."
(Clarissa Kradischnig, 2a/0203)

Information und Ansprechpartner:
Maria Zinngl (maria.zinggl@tmw.at) oder: www.tmw.at

Preise (2004):
€ 43,60 pro SchülerIn; € 18,10 für BetreuerInnen

Von Peuerbach zu Newton

Von 29.04. bis 31.10.2004 findet im Peuerbacher Schloss die Ausstellung

Der neue Blick ins All - Von Peuerbach zu Newton

statt. Die Ausstellung soll die großartigen Errungenschaften Newtons und den Weg der dazu führte an bemerkenswerten Exponaten veranschaulichen sowie insbesonders die geistigen Fundamente, auf welchen Newton aufbaute, deutlich machen. Auch Newtons weniger bekannte Vorlieben - wie z.B. seine Beschäftigung mit Alchemie und Metallurgie werden demonstriert.

Die Ausstellung ist die dritte einer im Jahre 2000 begonnenen astronomiegeschichtlichen Ausstellungsserie, die in Abständen von je 2 Jahren im Schlossmuseum Peuerbach abgehalten wird. Die Ausstellungsserie unter dem Generaltitel *Georg von Peuerbach und die Folgen* soll die Auswirkungen der fundamentalen Arbeiten Peuerbachs auf die nachfolgenden Gestalter unseres Weltbildes aufzeigen.

Georg von Peuerbach, 1423 - 1463, Astronom am Hofe Friedrich III., machte das Abendland mit dem Sinus bekannt und erfand die Klappsonnenuhr.

Forum Physikdidaktik

Erstes Treffen am 30. September 2003 in Salzburg

Helmut Kühnelt, Robert Pitzl, Helga Stadler

Am 30. 9. 2003 wurde vor der Jahrestagung der Österreichischen Physikalischen Gesellschaft (ÖPG) von der Fachgruppe Physik in den IMST^2-Schwerpunktprogrammen S1 und S3 gemeinsam mit dem ÖPG-Fachausschuss "Lehrkräfte an höheren Schulen" ein Treffen zum Thema "Zukunft der Physikdidaktik" durchgeführt.

An der Veranstaltung haben 16 Personen aus den Bereichen Schulpraxis, universitäre Lehramtsausbildung und Schulaufsicht teilgenommen. Damit sollten die an den Universitäten mit der Lehramtsausbildung befassten Physiker und Didaktiker die IMST^2-Arbeit mit Schulen und die Überlegungen zu einem künftigen Unterstützungssystem für Innovationen im naturwissenschaftlichen Unterricht kennen lernen. Gleichzeitig sollten gemeinsame Vorstellungen über die Zukunft der Physikdidaktik, den Stellenwert der Physik in der Schule und in der Gesellschaft entwickelt und durch Erfahrungsaustausch über die verschiedenen Ebenen hinweg der "Fleckerlteppich" der Physikdidaktik überschaubarer werden. Die Kluft zwischen der universitären Ausbildung und der Praxis in der Schule soll damit verringert werden. Bei dem Treffen wurden verschiedene Ansatzpunkte zur Verbesserung des Physikunterrichts und der Lehramtsausbildung erarbeitet:

Lehramtsausbildung

Studenten und Studentinnen des Lehramts Physik sollen frühzeitig und intensiver mit ihrem späteren Beruf konfrontiert werden. Es ist dazu sinnvoll, über das Schulpraktikum hinaus aktive Lehrkräfte vermehrt in universitäre Lehrveranstaltungen einzubinden, und umgekehrt Studentinnen und Studenten in den Unterricht einzubinden ("Didaktisches Labor"). Um den Studierenden in ihrer Ausbildung die Methodenvielfalt mit zu geben, die sie für einen zeitgemäßen, schülerzentrierten Unterricht brauchen, soll Methodenvielfalt auch in Lehrveranstaltungen an der Universität gepflegt werden. Mit diesen Maßnahmen soll das Selbstverständnis der Lehramtsstudent/-innen als Botschafter/-innen der Physik und als Experten für deren Vermittlung gestärkt werden.

Fortbildung für Lehrerinnen und Lehrer

Fachliche und didaktische Fortbildungsveranstaltungen sollten vermehrt gemeinsam von Physikdidaktik und PIs angeboten werden, auch mit Einbeziehung von Lehramtsstudentinnen und -studenten. Dazu sind definierte Ansprechpartner an den Universitäten erforderlich. Der Übergang vom Studium zur Lehrtätigkeit soll weniger abrupt sein, dazu müssten junge Lehrer/-innen intensiver betreut werden als bisher und der Kontakt zwischen den Phasen der Ausbildung verbessert werden. Insbesondere ist dazu eine verstärkte Fortbildung der Betreuungslehrer/-innen wünschenswert.

Institutionalisierung der Physikdidaktik

Aus den obigen Punkten ergibt sich die Notwendigkeit, Physikdidaktik an den Universitäten besser zu verankern. Während im Ausland Lehrstühle für die naturwissenschaftlichen Didaktiken entweder in den Fachbereichen oder an Zentren für Lehrerbildung selbstverständlich sind, fehlen in Österreich die entsprechenden Strukturen: Notwendig sind klare Ansprechpartner an der Schnittstelle Universität-Schule, fachdidaktisch forschendes Personal mit dem Auftrag zur Verbindung von Theorie und Praxis, das auch für Unterstützungsmaßnahmen wie IMST2, in die Neugestaltung von Lehrplänen und in die Diskussion von Bildungsstandards notwendiges Wissen und internationale Kontakte einbringt. Dazu bietet die derzeitige Umstrukturierungsphase der Universitäten eine kurzfristige Chance.

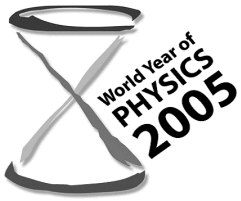
Es war ein ausdrücklicher Teilnehmerwunsch, solche Treffen regelmäßig zu veranstalten und als "Forum Physikdidaktik" zu institutionalisieren. Daher wurde beschlossen, im Herbst 2004 ein nächstes Mal zusammen zu kommen und dabei auch zu resümieren, welche der gewünschten Maßnahmen erreicht wurden.

Bedauerlicherweise waren von der Universität Innsbruck und der TU Wien keine Vertreter gekommen.

Haben Sie weitere Anregungen und Ideen zur "Zukunft der Physikdidaktik"? Wir würden uns über eine Diskussion mit Ihnen freuen.

Der Termin des nächsten Treffens steht nun fest: 22. 9. 2004 an der Universität Klagenfurt. Interessenten wenden sich bitte an:
Univ. Prof. Dr. Helmut Kühnelt, helmut.kuehnelt@univie.ac.at

2005 - Weltjahr der Physik



Im Jahre 1905 veröffentlichte Albert Einstein drei Arbeiten, die zu Fundamenten der modernen Physik wurden. Nach 100 Jahren großartiger Entwicklung der Physik feiert sie ihren hervorragenden Vertreter und seine genialen Ideen. Dazu wurde von der *International Union of Pure and Applied Physics* das Jahr 2005 zum *Weltjahr der Physik* deklariert. Es soll weltweit der Öffentlichkeit die Physik und ihre Bedeutung vor Augen stellen.

Wie können österreichische Lehrerinnen und Lehrer, Schülerinnen und Schüler zum Weltjahr der Physik beitragen?
Schulen, Lehrkräfte, Schülerinnen und Schüler sind zur Teilnahme an bereits geplanten Vorhaben eingeladen, oder sie können auch eigene Events planen und durchführen.

Physik erhellt die Welt

Am Abend des 18. April 2005, dem 50. Todestags Einsteins, wird in Princeton, USA, ein Laserstrahl nach Westen ausgesendet, der aufgegriffen und weiter gegeben werden soll, so dass die Lichtbotschaft den ganzen Globus umspannt, um alle Nationen durch das "helle Licht der Physik" zu verbinden.

Nationale und internationale Fernsehanstalten berichten von diesem spektakulären Ereignis, wenn sich mehrere hunderttausend Schulen, Universitäten und verschiedenste Organisationen den Lichterketten anschließen. Regierungen, öffentliche und private Sponsoren werden eingebunden, um während der Veranstaltung finanzielle Mittel für einen wohltätigen UNESCO-Fonds bereitzustellen: der Physikunterricht und das Physikstudium in Entwicklungsländern soll gefördert werden.

Physik-Talente 2005

Weltweit werden junge Physik-Talente im Alter von 10 bis 19 Jahren gesucht. In Österreich werden dazu bis Anfang 2005 begabte Schüler/innen durch Lehrer/innen vorgeschlagen. Die Kriterien beziehen sich dabei vor allem auf Kreativität und Phantasie. Zu beachten ist auch eine ausgewogene Geschlechterverteilung. Die Teilnehmer/innen werden in zwei (oder drei) Altersgruppen gemeinsam in einem Sommercamp (voraussichtlich gegen Ende des Schuljahres 2004/2005) betreut. Im Camp werden die Physik-Talente ausgewählt, die Österreich bei internationalen Aktionen vertreten werden. (Ausschreibung im Herbst 2004)

Physikkalender 2005

Schüler/innen im Alter von 12 bis 18 Jahren sind eingeladen, Kalenderseiten zum aktuellen Datum mit Bezug zu bedeutenden Physikerinnen und Physikern bzw. zu Physik bezogenen Ereignissen zu gestalten. Der Physikkalender erscheint im Internet, die besten Arbeiten werden außerdem in einer Tageszeitung veröffentlicht. Die Einreichung der Arbeiten soll bis Juli 2004 erfolgen.

Im Spiel die Physik entdecken

Kinder sind von Natur aus neugierig - und Neugier ist die Quelle wissenschaftlicher Arbeit. Über die Institutionen der Physik soll Physikspielzeug weltweit in Kindergärten, Schulen, Jugendzentren,... Eingang finden. Erzieher/innen und Pädagogen/innen sind eingeladen, die Physiker/innen mit ihren Ideen und mit ihrem praktischen Wissen zu unterstützen.

Physik in Geschichten

Eine literarische Aufbereitung oder eine populärwissenschaftliche Darstellung verschiedenster Themen soll vor allem die Arbeit der vielen Physiker/innen und ihre Beiträge zur Entwicklung der Zivilisation würdigen - und auch ein wenig physikalisches Wissen vermitteln.

Physik - Show

Physik soll leben: Während des Jahres 2005 sorgen Events und Aktivitäten in größeren Städten für eine intensive Begegnung mit Physik. Es sind den Ideen und ihrer Realisierung kaum Grenzen gesetzt: Physikexperimente in der Öffentlichkeit und bei lokalen Feiern, Ausstellungen mit Bezug zur Physik, Wissenschaftler gehen in Schulen, Physiktage in Schulen, Physik in Diskussionen, Physik am Stammtisch, Material mit Bezug zur Physik für Werbung und Geschäftsdekoration, ...

Physik in Österreich

Eine multimediale Leistungsschau informiert interessierte Personen, Organisationen und Firmen über den aktuellen Stand der Physik in Österreich. Zum Thema "Physik in Österreich" gehört auch die Darstellung der Qualitätsentwicklung des österreichischen Naturwissenschaftsunterrichts, speziell der Physikdidaktik - etwa im Rahmen von IMST^2.

Physik als kulturelles Erbe

Eine international zusammengestellte Wanderausstellung soll in den Metropolen der Teilnehmerstaaten die Entwicklung der Physik im gesellschaftlichen Kontext über vier Jahrtausende zeigen.

Kontakt und Information

Österreich:
Univ.-Prof. Dr. Max Lippitsch, max.lippitsch@uni-graz.at,
Prof. Dr. Sonja Draxler, sonja.draxler@uni-graz.at,
Karl-Franzens-Universität Graz, Tel 0316/380-5192,
(Sekr.: 5185, Fax: 9816)

Wien, Niederösterreich:
Prof. Mag. Maria-Magdalena Schäffer,
maria-magdalena.schaeffer@gmx.net, BG/BRG Baden, Biondekgasse, Tel 02252/89787, Fax 89787 40

Internet: www.wyp2005.at

Venusdurchgang am 8. Juni 2004

M.G. Firneis und T. Lebzelter

Am 8. Juni können wir von Österreich aus ein faszinierendes Naturschauspiel verfolgen: Die Venus, unser Nachbarplanet im Sonnensystem, wird vor der Sonnenscheibe vorbeiziehen. Dieses für jedermann leicht beobachtbare Ereignis hat nicht nur einen ästhetischen Charakter, sondern war historisch von großer Bedeutung für die Entfernungsbestimmung in unserem Sonnensystem. Die Österreichische Gesellschaft für Astronomie & Astrophysik und das Institut für Astronomie der Universität Wien bieten rund um dieses Ereignis Informationsveranstaltungen, insbesondere auch für den Schulbereich.

Die Bahn der Venus ist der Sonne näher als die Erdbahn. Deshalb kann es vorkommen, dass die Sonne und die Venus in ein und derselben Richtung am Himmel zu sehen sind (etwa alle 584 Tage). Da die Bahn der Venus jedoch gegen die Ekliptik geneigt ist kommt es meistens nur zu einer nahen Begegnung der Venus mit der Sonne. Die Venus wandert scheinbar nördlich, oder südlich an der Sonne vorbei ohne dass sie vor der Sonnenscheibe vorbeizieht oder hinter der Sonnenscheibe verschwindet. Dies geschieht nur, wenn sich die Venus nahe ihrer 2 Bahnknoten in Konjunktion befindet.

Venusdurchgänge sind höchst seltene Ereignisse. Im Zeitraum von 1500 - 2500 n.Chr. konnte bzw. kann man dieses Himmelsschauspiel nur 18 mal beobachten. Im vorigen (20.) Jahrhundert zog Venus nicht ein einziges Mal über die Sonnenscheibe.
Früher diente die Beobachtung des Venusdurchganges zu einer möglichst genauen Bestimmung der Entfernung Erde-Sonne (=1 Astronomische Einheit AE), heute kann er als Musterbeispiel dafür verwendet werden, wie extrasolare Planeten erkannt werden könnten.

Phänomenologisch ist ein Venus- (oder Merkur-) Transit vom Typus einer Sonnenfinsternis. Durch die im Vergleich zum Mond große Entfernung dieser Körper (bei der Venus 0,277 AE von der Erde während eines Transits) ist die freisichtige Helligkeitsabnahme auf der Erde (ohne Messgeräte) nicht feststellbar. Der Mond kann die Sonnenscheibe leicht zu 100% bedecken, Venus nur zu etwa 1 Promille.

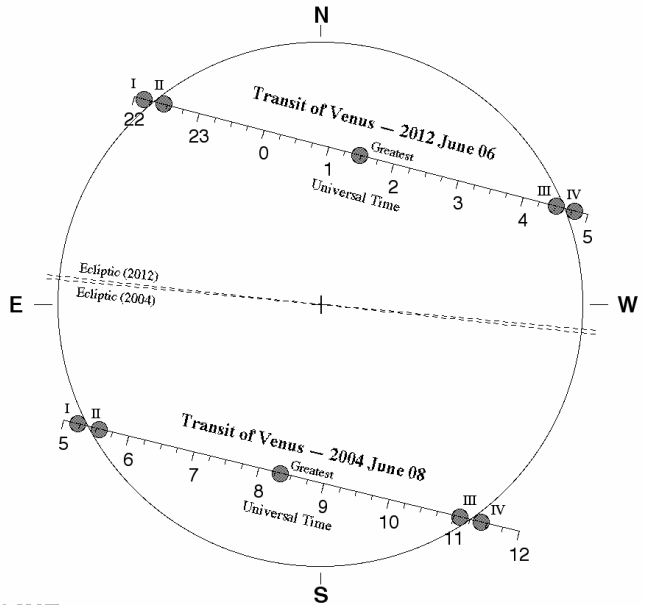
Venustransite treten jedes Jahrhundert höchstens paarweise (im Abstand von etwa 8 Jahren) auf. Das nächste Mal wird sich die Venus in der Nacht von 5. auf 6. Juni 2012 und dann erst wieder am 11. Dezember 2117 erneut vor der Sonnenscheibe zeigen. Am europäischen Taghimmel findet ein in seinem ganzen Verlauf beobachtbarer Transit der Venus sogar erst wieder am Nachmittag des 8. Dezembers 2125 statt. Der Venustransit am 8. Juni dieses Jahres ist also eine wirklich einmalige Gelegenheit, dieses Ereignis "vor der Haustüre" bestaunen zu können.

Die Sonne geht am 8. Juni 2004 um 4:55 MESZ auf und überschreitet ihren Mittagspunkt um 12:54 MESZ. Der erste Kontakt, also der Zeitpunkt, an dem die Venus die Sonnenscheibe erstmals scheinbar von außen berührt, findet um 7:20 MESZ statt, zu diesem Zeitpunkt steht die Sonne bereits 20° über dem Horizont. Der 4. Kontakt um 13:23 MESZ beendet das Schauspiel. Während dieser Zeit ist Venus als dunkler Fleck, der über die Sonnenscheibe wandert, sichtbar. Bei freier Sicht auf die Sonne und mit einer Finsternisbrille kann man das ganze Ereignis gut von Österreich aus auch ohne Fernrohr verfolgen. *Wie bei Sonnenfinsternissen muss auch beim Venustransit dringendst vor einer Beobachtung ohne Finsternisbrille oder einer entsprechenden Vorrichtung gewarnt werden! Dies kann zu schweren Schädigungen der Augen führen!*

Die Universitätssternwarte Wien hat eine spezielle Beziehung zur Beobachtung des Venusdurchganges. Ihr erster Vorstand, Maximilian Hell (*1720, †1792), reiste 1769 nach Wardoehus in Norwegen, nachdem der Durchgang 1761 von Wien aus wegen Bewölkung nicht beobachtet werden konnte. Dort konnte er sensationelle Messungen durchführen. Wie leider so oft in der Geschichte fand erst lange nach seinem Tod seine Leistung eine entsprechende nationale und internationale Anerkennung. Die Beobachtung des Venusdurchgangs vom 8. Dezember 1874 durch Theodor v. Oppolzer (1841-1886) und Edmund Weiss (1837-1917) in Jassy/Rumänien wurde durch Schlechtwetter behindert.

Nicht zuletzt aufgrund dieser historischen Beteiligung Österreichs und der derzeitigen Forschungstätigkeit in diesem Bereich bietet das Institut für Astronomie in Wien und die Österreichische Gesellschaft für Astronomie & Astrophysik eine Reihe von Informationsveranstaltungen in ganz Österreich zum Venustransit an (für nähere Informationen verweisen wir auf die am Ende aufgelisteten Internetseiten).

Informationen zum Venustransit und Veranstaltungshinweise:
http://www.astro.univie.ac.at/Venus/, http://venustransit.at/
Univ.Prof. Dr. M. G. Firneis: firneis@astro.univie.ac.at,
Tel.: 01 4277 51850
Lehrmaterial der ESO: http://www.vt-2004.org/Education



Die Bahn der Venus vor der Sonne am 8. Juni 2004 und am 6. Juni 2012. Quelle: ESO

Christian Doppler, weltbewegend - unbekannt!

Peter Schuster

"Keine Neuerung setzt sich ohne Widerstand durch. Ja, am Ende muss man sagen, je geringer der Widerstand ist, den das Neue findet, je schneller sich das Neue durchsetzt, desto schneller eilt es selber zum Veralten", sagte Hans-Georg Gadamer bei seiner Rede zur Eröffnung der Salzburger Festspiele 1981. Wenige Neuerungen haben einen längeren Weg zurückgelegt als die, welche uns der Salzburger Physiker Christian Doppler mit seinem nach ihm benannten Prinzip im Jahr 1842 gebracht hat [1-5].

So einfach sich uns das Doppler-Prinzip im Alltag auch darstellt, wenn wir beispielsweise den Tonsprung eines signalgebenden Fahrzeuges hören, das auf uns zu rast und sich wieder entfernt, wenn wir die Tonschwebungen eines im Kreis geschwungenen Stabes oder gar die Tonschwankungen der unser Ohr umschwirrenden Insekten wahrnehmen, so mussten sich bedeutende Experimentatoren wie Fizeau, Buys-Ballot und Mach doch immerhin zwei Jahrzehnte um seinen Nachweis bemühen. Trotzdem wurde das Doppler-Prinzip für die Physiker auch späterhin kein "befreiender" Grundversuch, denn keine Geschichte der physikalischen Experimente, weder La Cour noch Ramsauer, erwähnen ihn. Erst 1993 haben uns Müller und Kuhne in Jena übersichtliche Demonstrationen des Doppler-Effektes gegeben [6].

Auch nachdem 1845 der experimentelle Beweis für den Effekt auf akustischem Gebiet durch Buys-Ballots Versuche mit der Eisenbahn bereits geglückt war, wurde seine Gültigkeit theoretisch noch jahrzehntelang verneint. Josef Petzval (1807-1891), einer der bedeutendsten Mathematiker Altösterreichs, begann 1852 die Kontroverse darüber mit einer Heftigkeit, wie sie die kaiserliche Akademie der Wissenschaften in Wien später nie wieder erlebt hat.

Petzval folgerte aus den vier von ihm aufgestellten Differentialgleichungen gleichsam unfehlbar, "dass ein mit einer Tonquelle versehenes schwingendes Pendel genau denselben Ton erzeugen müsse, als wie wenn es ruhte." Weniger zurückhaltend schrieb er eine Woche vor der Abreise des todkranken Kontrahenten nach Venedig: "Von Dopplers Theorie kann man nicht eben sagen, sie habe keinen Wert, weil sie den Vorgang einer Erscheinung entschieden unrichtig angibt, es muss vielmehr behauptet werden, ihr Werth sei ein negativer, weil sie soviele Anhänger der Wissenschaft zum Irrthum verleitet hat, durch eine anscheinende Einfachheit und Klarheit, die aber weiter nichts ist als Oberflächlichkeit und Mangel an Tiefe."

Selbst als dem 22jährigen Ernst Mach 1860 die Konstruktion eines Apparates zur Prüfung des Doppler-Prinzips, und somit der erste Nachweis unter reproduzierbaren Labor-Bedingungen ("Eisenbahnen stehen als Experimentirmittel nicht Jedermann zu Gebote") gelungen war, wusste der bekannte Astronom Mädler, Direktor der Sternwarte Dorpat, bei einem Vortrag in der Akademie in Wien immer noch: "Die Doppler-Formeln, die Herr Mach entwickelt, mögen auf anderem Wege praktisch geprüft werden: die Astronomie kann kein Prüfungsobject dafür bieten."

Dabei hatte Mach die Kontroverse bereits auf einleuchtende Weise gelöst: "Populär könnte man das Verhältnis beider Gesetze, des Petzval'schen und des Doppler'schen so veranschaulichen", schrieb er. "Wenn man Prof. Petzval, etwa für die Erfindung seines Principes, ein Ständchen brächte, so würde dieses selbst bei weniger gemüthlichem Wetter in derselben Tonart, ebenso harmonisch und melodisch zu seinen Fenstern hinauftönen, wie am schönsten Maimorgen. Dagegen könnte man nach Doppler, von der Höhe herabfallend einen Chor aus E-Dur ganz wohl in F-Dur hören" [7].

Noch 26 Jahre nach Dopplers Tod, 1879, zeichnete die Belgische Akademie der Wissenschaften eine Arbeit des Astronomen Spée, die sich gegen das Doppler-Prinzip richtete, mit einem Preis aus, und Kayser formulierte 1906 im Handbuch der Physik übervorsichtig: "Auf Grundlage der Elektronentheorie, wie sie H.A. Lorentz ausgebildet hat, scheint das Dopplersche Prinzip durchaus zu gelten." Das war immerhin in dem Jahr, in dem Einstein festgestellt hatte: "No matter what shape the theory of electromagnetic processes should take, the Doppler-Principle and the law of aberration will remain in any case."

Heute scheint klar: Ob Doppler-Messungen in der Globalen Geodäsie oder Doppler-Navigationsverfahren in der Luft- und Raumfahrt, ob das Doppler-Radar als Hilfsmittel für den Wetterdienst oder Anwendungen in der Medizin und Technik wie die Doppler-Sonographen zur Messung der Blutflussgeschwindigkeit und Laser-Doppler-Anemometer zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeiten in Gasen und Flüssigkeiten, ob in der Astronomie die Entdeckung des interstellaren Gases, die systematische Erfassung der Rotverschiebung von 250.000 Galaxien, und damit Daten über die Lebensgeschichte und Größe unseres Universums - kein Effekt hat unser Weltbild so entscheidend verändert wie die Erkenntnisse aus diesem Prinzip.

Warum blieb der Physiker Christian Doppler mit seinem umfangreichen Werk trotzdem nahezu unbeachtet? Warum wurde erst 1988 vom Autor sein Sterbehaus und sein Grabdenkmal in Venedig wiederentdeckt [8]?

Am Effekt selbst kann es nicht liegen. Der Effekt scheint einfach. Wenn sich zwei Dinge begegnen, lässt sich eine Beziehung formulieren - die Wirkung des einen Dings auf das andere wird messbar. So gesehen änderte Doppler nichts am Fundament der Physik. Er beseitigte nur einen Denkfehler, der das Weiterbauen erstarren hatte lassen. Doppler stellte das Gesetz der Konstanz der Schwingungsdauer nicht in Frage. Es interessierte ihn nicht. Ihn interessierte, was er empfand. Er blieb bei seiner radikalen Aussage, dass "ein schwingendes

Dr. Peter Schuster, Physiker und Schriftsteller.
E-Mail: peterschuster@eircom.net

Pendel bei jedem Annähern eine Tonerhöhung, bei jedem Zurückgehen eine Tonerniedrigung veranlassen wird", und er eröffnet damit einen neuen Raum für das wissenschaftliche Denken.

Ist es möglich, dass der Doppler-Effekt, der aus unserem täglichen Leben nicht mehr wegzudenken ist, in seiner erkenntnistheoretischen Bedeutung noch gar nicht wirklich erkannt wurde und dass somit auch seine messtechnischen Anwendungen heute noch gar nicht erschöpft sind?

Christian Doppler wurde am 29. November 1803 mitten im Herzen von Salzburg geboren. Er kam im Haus Makartplatz 1, zwischen dem Wohnhaus von Wolfgang Amadeus Mozart und dem Geburtshaus von Herbert von Karajan, zur Welt. Heute existiert eine Doppler-Forschungs- und -Gedenkstätte an diesem Ort, die am 30. März 1998 mit einem Festvortrag des deutschen Physik-Nobel-Preis-Trägers Rudolf Mößbauer, dessen Effekt ja auch mit dem Doppler-Prinzip zu tun hat, eröffnet worden ist.

Abb. 1: Geburtshaus von Christian Doppler am Makartplatz 1, Salzburg.

Der Physiker entstammte einer Steinmetzdynastie, von der noch viele Meisterstücke ihrer Handwerkskunst in Salzburg und dessen Umgebung zu sehen sind. Sein Vater Christian lieferte Marmor-Grabmäler - und Altäre nach Augsburg, Wien, Ungarn; auch für die Residenz König Ludwigs von Bayern hat er gearbeitet. Für den Vater wurde es aber bald zur Gewissheit, dass sein zweitgeborener Sohn physisch nicht robust genug war, die Arbeit eines Steinmetz auszuführen. Er fragte den jungen Professor für Mathematik und Physik, Simon Stampfer, am Salzburger Lyzeum um Rat. Dieser erkannte auf Anhieb das große mathematische Talent Christians, und so wurde Doppler 1816 Schüler von Stampfer [9]. Als dieser nach Wien berufen wurde, empfahl er Christian seinem Nachfolger Adam Burg.

Die Bedeutung dieser beiden Lehrer, Simon Stampfer und Adam Burg, lässt sich für die Entfaltung der Begabungen und Interessen des jungen Doppler kaum überschätzen, sie wurden für ihn lebensbestimmend. Noch viele Jahre später schrieb Doppler, geprägt von seinem Lehrer Stampfer:
"Praktische Wissenschaften hat es zu allen Zeiten gegeben. Aber diese sogenannte Praxis war meistentheils nicht viel mehr als eine papierene, und den verschiedenen praktischen Wissenschaften fehlte nur eine Kleinigkeit, nämlich die wahre wissenschaftliche Praxis. Die praktische Wissenschaft zeigt die Anwendung der theoretischen Lehren auf wirklich vorkommende Fälle; aber sie zeigt sie eben nur. Die wissenschaftliche Praxis dagegen wendet diese selber an."

Bei Stampfer lernte Doppler "durch Aneignung und Einübung gewisser manueller Geschicklichkeit" jene wissenschaftliche Praxis kennen, die nicht nur zeigt, sondern auch anwendet. Doppler scheute sich nicht, technologische Fragen zu stellen. Er beschrieb eine Metall-Legierung, um Spiegel mit höchstem Reflexionsvermögen herzustellen; er verfügte über ein Wissen, das den Erfahrungen der Meister heute in der modernen Optikfertigung entspricht. Bis zuletzt in Venedig arbeitete er an der Verbesserung des katoptrischen Mikroskops, bis zuletzt schrieb er eine sehr fundierte und umfangreiche Arbeit, von der Hoppe in seiner *Geschichte der Optik* 1926 noch wusste.

Adam Burg (1797-1882), der zweite wichtige Lehrer Dopplers, übernahm 1828 den Lehrstuhl für höhere Mathematik am Polytechnischen Institut in Wien, schlug Doppler, dessen Talent er in Salzburg kennen gelernt hatte, 1829 für die Assistentenstelle für höhere Mathematik vor, und ließ unter seiner Aufsicht Doppler erste selbstständige Arbeiten veröffentlichen. Burg wurde 1836 auch Professor für Mechanik und Maschinenlehre, 1849 Direktor des Polytechnischen Institutes in Wien, 1852 aber in Folge des Hochverratsprozesses gegen seinen Assistenten Bezard seines Postens enthoben und erst später wieder als Professor eingesetzt.

In seiner ersten Abhandlung *Ein Beitrag zur Parallelen-Theorie* versuchte sich Doppler - wie viele Generationen von Mathematikern vor ihm - am Euklidischen Parallelenpostulat. In der Physik zog zuerst die Elektrizität seine Aufmerksamkeit auf sich. Den Weg, den er beschritt, erhellt am besten das folgende Zitat von Lichtenberg: "Die Lehre von der Elektrizität ist jetzt da, wo man gewöhnlich passiert, so abgetreten und abgesucht, dass an der Heerstraße nichts mehr zu gewinnen ist; man muss querfeldein marschieren, und über die Gräben setzen".

Diese Methode, die man die unmethodische nennen könnte, war typisch für den jungen Doppler. Seine Arbeit *Ueber eine merkwürdige Eigenthümlichkeit der elektrischen Spannung*, führte ihn zu der Folgerung, "dass mit dem Eintreten einer elektrischen Spannung nothwendig eine Formänderung der elektrisirten Körper verbunden sey, und dass dem zu Folge eine in elektrische Spannung versetzte Metallstange sich verkürzen müsse". Doppler regte an, seine Versuche auf Leiter, Halbleiter und Nichtleiter unterschiedlicher Länge und Form zu erweitern und die erzielte Formänderung zur Konstruktion neuer Elektrometer zu verwenden.

Da eine Assistentenzeit grundsätzlich auf vier Jahre limitiert war und im biedermeierlichen Donaustaat die Naturwissenschaften einen sehr niedrigen Stellenwert einnahmen, mußte sich Doppler bald eine neue Quelle für seinen Lebensunterhalt suchen. Ein Jahr lang hielt er sich als Handelsbuchhalter einer Baumwollspinnerei finanziell über Wasser. Dann fasste er den Entschluss, in die USA auszuwandern, verkaufte all sein Hab und Gut, einschließlich seiner Bücher. Doch das Schicksal hatte etwas anderes mit ihm vor. Gerade als Doppler mit dem amerikanischen Konsul seine Übersiedlung in München besprach, erreichte ihn die Nachricht, dass er unter fünfzehn Bewerbern als Professor für Arithmetik, Algebra und Geometrie an der Realschule in Prag auserwählt worden war.

Im März 1835 erreichte Doppler Prag. Im Jahr darauf heiratet er Mathilde Sturm, die Tochter eines Salzburger Goldschmiedmeisters. Alle ihre fünf Kinder wurden in Prag geboren. Auch wenn das junge Paar die Stadt an der Moldau keineswegs heimelig fand und Doppler nach anderen Lehrkanzeln in der Monarchie strebte, sollte er zwölf Jahre, ebenso lange wie Kepler, in Prag tätig bleiben. Zuerst ließ er sich zu einer der Geburtsstätte der Astronomie entsprechenden Arbeit inspirieren: Einige Gedanken über die Durchsichtigkeit der Kometen-Kerne und über die Erscheinung der leuchtenden Punkte im Monde. Sie trug ihm die Freundschaft von Karl Kreil (1798-1862) ein, 1845 Direktor der Sternwarte in Prag und 1851 der erste Direktor der neu gegründeten Zentralanstalt für Meteorologie und Erdmagnetismus in Wien.

Abb. 2: Einzig erhaltene Daguerreotypie der Familie Christian Dopplers, Prag, ca. 1844. Vom Autor bei der Urenkelin Christian Dopplers, Frau Dorothea Merstallinger, entdeckt, heute im Besitz des Doppler-Fonds, Salzburg.

Dopplers nächste Abhandlung *Einige Betrachtungen über das Grosse und Kleine in der Natur* bestätigt, dass er sich früh mit dem Problem des Atoms auseinandergesetzt hat, auch wenn sein wichtigster Beitrag zum Thema erstmals 1953 veröffentlicht wurde. Er trägt den Titel: *Über die Möglichkeit, die Anzahl und den absoluten Abstand der Körperatome sowie das Maß ihrer wechselseitigen Anziehungstärke zunächst bei den verschiedenen einfachen festen Körpern zu bestimmen*.

Doppler schlug darin experimentelle Untersuchungen vor, um die "Mannigfaltigkeit der Modelle" einzuengen. Vor allem ging es ihm um die Heranbildung einer klaren Trennung von Atom und Molekül. "Eine Beantwortung dieser Frage lässt sich kaum länger mehr aufschieben, wenn anders ein ergiebiger Schritt in der Theorie der Physik vorwärts getan werden soll!" - Doppler stellt fest, dass "die Abneigung vor der Erörterung eben dieser Frage keinen anderen Grund als die unheilvolle, durch nichts gerechtfertigte Übertragung des durch einen rein psychologischen Prozess zustande gekommenen Begriffs des Unendlichen auf die wirklich existierenden Dinge der physischen Welt hat."

Verständlich, dass die originellen frühen Werke Dopplers das Interesse des Mathematikers und Philosophen Bernhard Bolzanos (1781-1848) erweckten. Bolzano war als Priester 1805 von Kaiser Franz I. auf den Lehrstuhl für Religionslehre berufen worden mit der zusätzlichen Verpflichtung, für die Studenten "Erbauungsreden" zu halten. Doch bei dem vielzitierten Satz: "Es wird eine Zeit erscheinen, wo man Verfassungen einführen wird, welche dem Missbrauch nicht mehr so schrecklich ausgesetzt sein werden als unsere gegenwärtige", stockte dem Habsburgerkaiser der Atem. Die Vokabeln "Konstitution" oder "Verfassung" in Anwesenheit seiner Majestät auszusprechen, sollen sich damals sogar die Ärzte gehütet haben. Kurz: Bolzano wurde abgesetzt, seine Werke landeten auf den Index, und er selbst stand unter ständiger Polizeiaufsicht.

Dieser Mann nun, der wahrscheinlich unter den Mathematikern am Beginn des 19. Jahrhunderts die tiefsten Fragen in bezug auf die Grundlagen der Analysis gestellt hatte, bezeichnet Doppler 1837 in einem Brief als "Freund". Bolzano fesselte dessen spekulative, zu dieser Zeit in der Physik ganz ungewöhnliche Methode, die seinem eigenen Denken in der Mathematik ähnlich schien. Bolzanos eigene Arbeiten haben in Prag wenig Verständnis gefunden. Noch heute sind etliche Manuskripte nicht publiziert. Seine Functionenlehre wurde erst im Nachlass gefunden und 1930 erstmals herausgegeben. Seine Arbeit *Paradoxien des Unendlichen* blieb völlig unbeachtet, bis H. Hankel darauf hingewiesen hat. Sie entwarfen die Grundbegriffe der Cantor'schen Mengenlehre.

Immerhin gelang es Bolzano, die Aufnahme eines Aufsatzes von Doppler in die Schriften der k.-böhmischen Akademie durchzusetzen. Der Text führt den langen Titel: *Versuch einer analytischen Behandlung beliebig begrenzter und zusammengesetzter Linien, Flächen und Körper nebst einer Anwendung davon auf verschiedene Probleme der Geometrie descriptive und perspective.*

Von nicht minder großer Bedeutung für Dopplers Leben und Werk wurde die Freundschaft mit Franz Exner (1802 -1853), in dessem gastfreundlichen Haus er sich sogleich wohl fühlte. Exner litt als Kind des Vormärzes unter der geistigen Unfreiheit seiner Zeit, wollte aber nichts anderes sein als ein Österreicher, war seit 1832 Professor für Philosophie an der Universität Prag und dort der beliebteste aller Vortragenden. In seinem Salon, in dem an den sogenannten Dienstag-Kränzchen "gleich einer Akademie die gelehrtesten und scharfsinnigsten Köpfe Prags" verkehrten, machte Doppler wichtige Bekanntschaften.

Am 25. Mai 1842 stellt Doppler in der Sitzung der königlich-böhmischen Gesellschaft sein Hauptwerk vor: *Über die merkwürdige Erscheinung des farbigen Lichtes der Doppelsterne und einiger anderer Gestirne des Himmels. Versuch einer das Bradley'sche Aberrations-Theorem als integrirenden Teil in sich schließenden allgemeineren Theorie* [10]. Der Physiker stellte darin erstmals die Frage, was passiert, wenn sich Beobachter und Quelle bewegen:

"Es scheint [...] man habe völlig unbeachtet gelassen, dass, wenn man von den Licht- und Schallwellen als Ursachen der Licht- und Schallempfindungen und nicht bloß als von objectiven Vorgängen spricht, man nicht sowohl darnach fragen müsse, in welchen Zeiträumen und mit welchen Intensitätsgraden die Wellenerzeugung an und für sich vor sich gehe, - als vielmehr darnach, in welchen Zeitintervallen und mit welcher Stärke diese Aether- oder Luftschwingungen vom Auge oder vom Ohre irgend eines Beobachters aufgenommen und empfunden werden. Von diesen rein subjectiven Bestimmungen, nicht aber von dem objectiven Sachverhalte hängt die Farbe und Intensität einer Lichtempfindung oder die Tonhöhe und

Stärke irgend eines Schalles ab. In der That scheint nichts begreiflicher, als dass der Weg und die Zwischenzeit zweier aufeinanderfolgender Wellenschläge für einen Beobachter sich verkürzen muß, wenn der Beobachter der ankommenden Welle entgegeneilt, und verlängern, wenn er ihr enteilt, und dass auch gleichzeitig im ersteren Falle die Intensität des Wellenschlags grösser werden, im zweiten dagegen nothwendig sich vermindern muß."

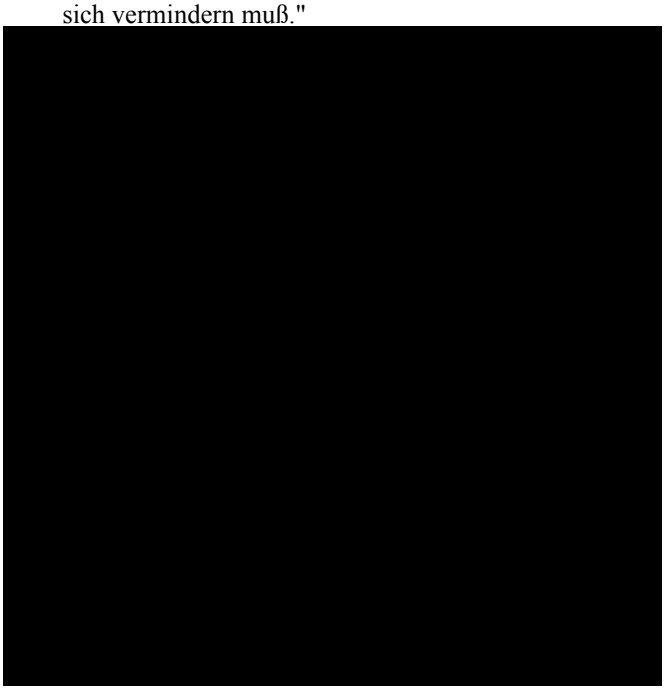


Abb. 3: Titelblatt der Publikation von 1842

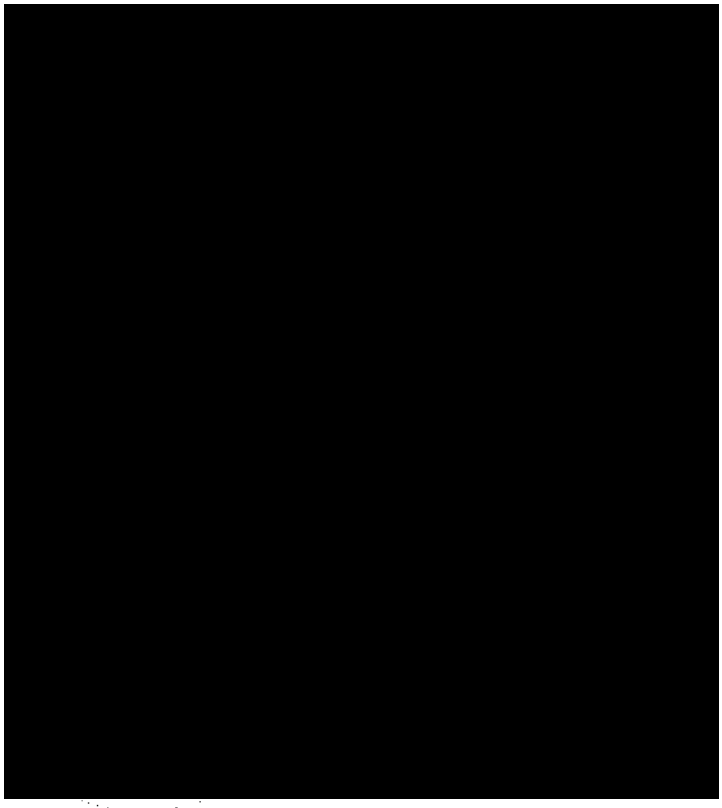


Abb. 4: Fig.4: *Die "Geschwindigkeit, mit der sich das Medium fortbewegt, übertrifft jene der Wellenfortpflanzung", d.h. für jeden Beobachter außerhalb des Kegelraumes ist die "Wellenquelle so gut wie gar nicht vorhanden". Fig. 7 und 8 zeigen Beispiele, bei denen "die Luft oder der Äther in einer krummlinigen Bewegung begriffen" sind (aus: "Über den Einfluss der Bewegung des Fortpflanzungsmittels auf die Erscheinungen der Äther-, Luft- und Wasserwellen", neu abgedruckt in [3]).*

Doppler stellte Formeln auf, er diskutierte sie an Hand eines gedachten Experimentes für verschiedene Beispiele der Tonänderungen und fand, dass, falls sich der Beobachter mit Schallgeschwindigkeit von der Quelle entfernt, die Schallquellen das Ohr des Beobachters überhaupt nicht mehr erreichen. Und im Fall, dass sich die Quelle mit Schallgeschwindigkeit vom Beobachter entfernt: "Der Beobachter vernimmt die nächst tiefere Oktave desjenigen Tones, welchen an und für sich der schallende Körper hervorbringt."

Dopplers gesamtes Denken drehte sich in den folgenden Jahren um seinen Effekt, unentwegt überlegte er Folgerungen aus seiner Entdeckung, gab Anregungen zu neuen Versuchen und fand dabei u.a. Ergebnisse, die vierzig Jahre später durch ballistische Experimente von Mach und Salcher bestätigt wurden [11]. So nahm Doppler in der Arbeit mit dem Titel *Über den Einfluß der Bewegung des Fortpflanzungsmittels auf die Erscheinungen der Äther-, Luft- und Wasserwellen* [12] die Beziehung zwischen Öffnungswinkel des Wellenkegels und Geschwindigkeit der Wellenquelle vorweg. Wir finden Mach-Kegel und Mach-Winkel, die von Prandtl 1913 und von dem Zürcher Professor J. Ackeret 1928 erstmals so benannt worden sind, von Doppler bereits angegeben. Doppler behandelt sogar gekrümmte Kopfwellenfronten, hervorgerufen z.B. durch eine beschleunigte oder verzögerte geradlinige Bewegung oder durch eine konstante Geschwindigkeit auf einer gekrümmten Bahn (Siehe Abb. 4). Damit hat er die Fokussierung bei Stoßwellen auf Kurven erstmals beschrieben, also die Fokussierungseffekte, die bei einem Überschallflug im Sturzflug in Kurven auftreten und erst viel später untersucht wurden - leider ebenfalls ohne jeglichen Hinweis auf die Arbeit von Doppler.

Dopplers für die Überschall-Aerodynamik so wichtige Folgerung wurde 1852 in der Akademie in Wien von Petzval ausgesprochen boshaft charakterisiert: "Aber schreiten wir noch weiter ins Extreme", spottete der Doppler-Kritiker, "Setzen wir voraus die Geschwindigkeit der Tonquelle sei grösser, als die Geschwindigkeit des Schalles, nun, so wird die Welle von der Tonquelle fortwährend überholt; kaum geboren, wird sie schon zurückgelassen; - ach! wie stell' ich mir das Alles vor? - ich denke an die bekannte Geschichte von dem Pferde, welches so schnell lief, dass ihm sein Schatten nicht folgen konnte, ein weiser Magier fand den marodirenden Schatten und benützte ihn als Reitpferd. Diese poetische Fiction tröstet mich aber nicht, und macht mir die Sache um nichts klarer. [...] Auf diese Weise [...] wie ich gestehen muss, auch ein wenig geärgert, durch die leichte Manier, mit der die schwierigsten Probleme der Undulationstheorie [...] über einen und denselben Leisten geschlagen werden, vermittelst einer kindleichten, achtzeiligen Theorie."

Das Polytechnische Institut befand sich zu dieser Zeit im Aufschwung. Während Dopplers Prager Tätigkeit war die Zahl der Mathematik-Studenten von 126 auf 441, die der Hörer der praktischen Geometrie auf das Zehnfache geklettert. Allein, der labile Gesundheitszustand des rastlosen Lehrers und Forschers vertrug sich schlecht mit solchen Belastungen. Bolzano bemühte sich, dem bewunderten Freund mit Hilfe seiner Bekannten einen anderen Posten zu besorgen. Das Studienjahr 1844/45 wurde besonders kritisch. Dopplers Lungenerkrankung machte sich drastisch bemerkbar. Er musste sich vertreten lassen. Er wollte Prag fliehen, "weg um jeden Preis". Sein Widerwille gegen die Lehrtätigkeit im allgemeinen und am Prager Polytechnischen Institut im besonderen wurde noch

durch den amtlichen Beschluss verstärkt, dass er seine Vorträge über die höhere Mathematik einstellen sollte. Trotzdem gab er 1845 ein Lehrbuch für Arithmetik und Algebra heraus, wovon 1851 in Wien eine zweite Auflage erschien.

Tatsächlich glich Dopplers Gesundheitszustand Ende der Vierzigerjahre bereits einer Katastrophe. Er hatte in seiner Doppelfunktion als Professor und als Sekretär der Gesellschaft eine riesige Arbeitslast zu tragen. Exner gegenüber sagte er sarkastisch, dass er nach der Arbeit in der Gesellschaft "zur Erholung" noch 800 Schüler zu prüfen und 668 schriftliche Arbeiten zu lesen und zu klassifizieren habe. Nach dem Attest des Prager Primararztes J. Oppolzer musste Doppler mindestens im Winter von aller Anstrengung des Kehlkopfes befreit werden, "wenn die Halssucht nicht Schluss seines Leidens bringen solle".

Neben dem Jahr 1842 war die Periode von Januar bis Juni 1846 die fruchtbarste Phase seines Schaffens. In diesen wenigen Monaten trug Doppler die unglaubliche Zahl von elf wissenschaftliche Abhandlungen in den Versammlungen der Gesellschaft der Wissenschaften vor. Dies alles, belastet von Krankheit, von rapide wachsenden Studentenzahlen und den politischen Spannungen zwischen Tschechen und dem Kaiserhaus.

Bolzano sorgte sich um den Freund und schrieb am 7. Februar 1846 an Fesl: "Professor Doppler erregt mich schon seit einigen Wochen mit einer nach der anderen hervorragenden Idee und beschäftigt mich damit wörtlich Tag und Nacht. Das ist unglaublich, welchen schöpferischen Genius in diesem Gelehrten Österreich hat". Bolzano erwähnte die Abhandlung, die Karl Kreil über Doppler geschrieben hatte und fragte an, ob sie schon in die Hände der Personen gelangt sei, "von welchen es abhängt, ob ein solcher Genius für Wissenschaft gerettet oder als Pegasus unter dem Joch untergehen wird. Denn es ist das Schlimmste zu befürchten."

Doppler gönnte sich keine Ruhe, er veröffentlichte die Arbeit: *Ueber ein Mittel periodische Bewegungen von ungemeiner Schnelligkeit noch wahrnehmbar zu machen und zu bestimmen.* Er zitierte Arbeiten von Faraday und Stampfer, bemängelte aber, dass beide diese Erscheinungen nur als belehrende optische Täuschungen betrachtet haben. - "Damit sind ihnen Nutzanwendungen entgangen", so Doppler.

Seit 1845 an beschäftigte sich Doppler mit Fotografie und Fotometrie, den Nachweismethoden also, die für die Bestätigung und die Anwendungen seines Prinzips die größte Bedeutung erlangten und der Astronomie zu einem Aufschwung verhalfen, der nur mit der Erfindung des Fernrohrs vergleichbar ist. 1846 schlug er vor, die Daguerreotypie für Meßzwecke zu verwenden, da "die jodierte Daguerre'sche Platte eine beträchtlich grössere Empfindlichkeit für das Licht äussere, als das menschliche Auge".

Doppler konstruiert weiters ein Fotometer, um die Helligkeitsverhältnisse der Fixsterne zu bestimmen. Und das 15 Jahre vor der Arbeit Zöllners und vier Jahre vor der Bemerkung Humboldts: "Alle mühevolle Arbeit über die relative Helligkeit der Gestirne wird dann erst an Sicherheit gewinnen, wenn die Reihung nach bloßer Schätzung endlich einmal durch Messung-Methoden, welche auf die Fortschritte der neueren Optik gegründet sind, ersetzt werden kann."

1847 zeigte Doppler in einer Versammlung der Akademie einen Weg zur mathematischen Behandlung der Farben und gab durch die Bestimmung von drei Farbmaßzahlen die Grundlage einer Farbmessung - acht Jahre vor der berühmten Arbeit von Helmholtz, der Doppler zwar in der Literaturübersicht anführt, aber im Text nicht weiter erwähnt. Bolzano verfasste vor seinem Tod 1848 noch eine ausführliche Würdigung von Dopplers Forschungen und zählte mehrere Maschinen und Apparate auf, die "theils schon in der Wirklichkeit ausgeführt, ihre Brauchbarkeit erprobten, theils in Modellen oder nur in Beschreibungen den Gutachten der Prager Gesellschaft vorgelegt wurden, ohne dem größeren Publico bisher noch bekannt geworden zu seyn".

Zu Beginn 1847 ergab sich für Doppler ein neuer Hoffnungsschimmer, Prag verlassen zu können. An der Berg-und Forstakademie Schemnitz, heute Banska Stiavnica, war eine Professur für Mathematik, Physik und Mechanik ausgeschrieben worden. Doppler bewarb sich und erhielt die Stelle.

Doch kaum hat Doppler in Schemnitz, in der einst bedeutendsten Bergbaustadt Europas, Fuß gefasst, begannen die nationalen Erhebungen quer durch den Kontinent. Mitten in den Revolutions- und Kriegswirren wurde Doppler zum Nachfolger des in Pension gehenden Stampfers in Wien ernannt. Nach Abzug der ungarischen Revolutionstruppen aus der Stadt übersiedelte er mit seiner Familie nach Wien und präsentierte in der Akademie sein neues Projekt: *Ueber eine bisher unbenutzte Quelle magnetischer Declinations-Beobachtungen.* Denn trotz der unruhigen Zeiten hatte ihn das Studium der alten Grubenkarten zu einem ganz neuen Forschungsthema inspiriert.

In dieser Periode endlich erhielt Doppler eine gewisse Anerkennung seiner Arbeit. Am 26. Jänner 1848 war er zum wirklichen Mitglied der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien gewählt, im selben Jahr zum Ehrendoktor der Philosophie und freien Künste von der böhmischen Universität in Prag ernannt worden. Und 1849 war er in die Stadt zurückgekehrt, in der er als junger Assistent die ersten Impulse zu seiner Karriere erhalten hatte. Seine beiden Förderer Stampfer und Burg waren nun im gleichen Gebäude tätig, sein Freund Exner amtierte im Unterrichtsministerium in der wichtigsten Schaltstelle des Bildungswesens. Ende 1849 begann unter dem Minister für Cultus und Unterricht Graf Leo Thun-Hohenstein grundlegende Reformen auf dem Gebiet des Unterrichtswesens. Diese Reform, von Exner und dem Berliner Bonitz ausgearbeitet, war eine der reifsten Schöpfungen der Staatspädagogik des 19. Jahrhunderts, und sie brachte Doppler das, was seine Freunde für ihn erhofft hatten. Er wurde 1850 zum ersten Direktor des neugegründeten physikalischen Institutes der Universität Wien ernannt.

Der Aufbau dieses ersten physikalischen Instituts der Universität Wien war eine operative Großtat, die Doppler trotz Krankheit konsequent und energisch betrieb. Es gelang ihm, bis zu seinen berühmten Nachfolgern Stefan und Boltzmann eine besondere Atmosphäre zu schaffen, die letzterer als den "Erdberger Geist" beschrieben hat. Doppler bestellte Personal, richtete eine Institutsbibliothek ein und entwarf persönlich die Statuten des Institutes. Darin hieß es: "Es ist neben dem Unterricht und der Leitung der Zöglinge bei ihren Forschungen eine weitere eben so wichtige Pflicht des Institutsvorstandes: die Physik als Wissenschaft durch selbständige Forschungen und

eigene Arbeiten... zu fördern." Damit war erstmals in der Hochschulgeschichte der Monarchie die Aufgabe des Forschens nicht nur genehmigt, sondern mit Nachdruck gefordert worden.

1852 hatte die Lungenkrankheit Doppler bereits so geschwächt, dass er von seinem Arzt bestürmt wurde, einen Krankenurlaub in einem milderen Klima anzutreten. Das geschah ausgerechnet in dem Moment, als sein Prinzip von Petzval vehement in der Akademie angegriffen wurde.

Acht Tage nach der letzten Sitzung, bei der die Dopplersche Theorie schlussendlich als "abgethan, als erwiesenermaßen irrig" betrachtet wurde, genehmigte die Behörde Doppler einen sechsmonatigen Genesungsurlaub. Mit einem dasselbe Datum tragenden, jedoch erst eine Woche später der Fakultät präsentierten Schreiben wurde Ettingshausen die Leitung des Physikalischen Institutes übertragen. Unbeirrt von allen Anfeindungen hatte Doppler dem akademischen Tribunal noch die prophetischen Worte zugerufen:

"Ich lebe mehr als je der Überzeugung, dass der Farbenschmuck, welchen das beobachtende Auge an den Doppelsternen und einigen anderen Gestirnen des Himmels bewundert, uns einstens wohl zu mehr als einer bloßen Augenweide, dass er uns in einer, wenn auch vielleicht fernen Zukunft dazu dienen werde, die Elemente der Bahnen von Himmelskörpern zu bestimmen, deren unermessliche Entfernung uns nur noch die Anwendung rein optischer Hilfsmittel gestattet."

Am 17. März 1853 stirbt Doppler in den Armen seiner Frau in Venedig.

Dopplers Theorie fiel zeitlich mit einer außerordentlichen Entwicklung der optischen Instrumente zusammen: Spektroskop, Photoapparat und Photometer. Auch die Klärung der Beziehung zwischen Emissions- und Absorptionsspektren wurde erst möglich, als Kirchhoff ein einfaches Flammenphotometer aus Bunsenbrenner, Glasprisma und einem Beobachtungsfernrohr mit einer Wellenlängenskala 1859 zusammenstellte.

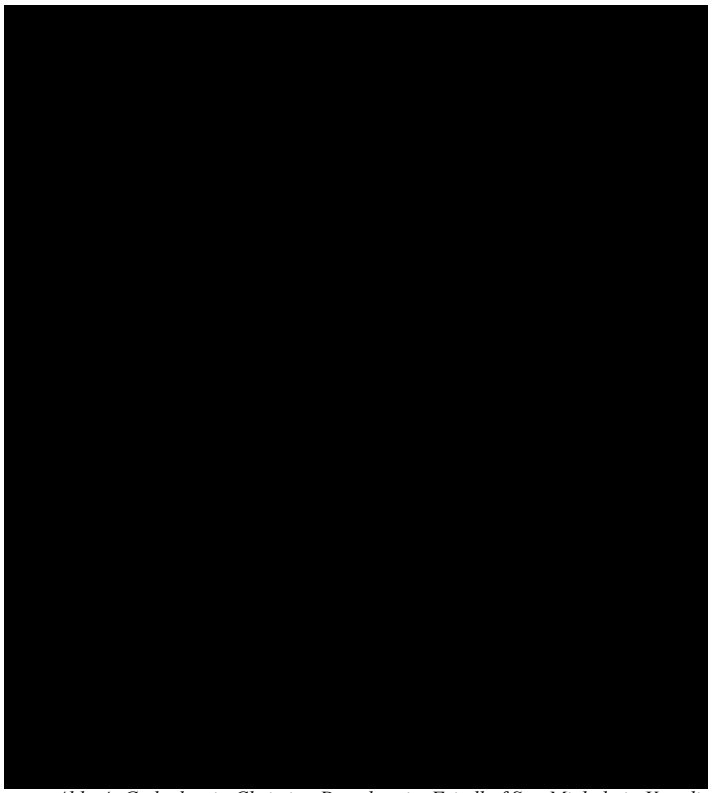


Abb. 4: Gedenkstein Christian Dopplers im Friedhof San Michele in Venedig.

1892 gelangen H.C. Vogel die ersten exakten Bestimmungen der Radialgeschwindigkeiten von Sternen mittels des Doppler-Effektes.

1905 gelang J. Stark der erste Nachweis des optischen Dopplereffektes im irdischen Bereich, und zwar an Kanalstrahlen, wofür er 1919 den Nobelpreis erhielt.

1929 begann mit dem Hubble-Effekt eine neue Ära in der Kosmologie.

1958 startete mit dem satellitengestützten Doppler-Navigationssystem (Transit) eine neue Ära der Navigation, Ortung und Vermessung.

1959 entwickelte Shigei Satomura und Ziro Kaneko die Doppler-Sonographie für die medizinische Diagnose.

1967 entstanden die ersten grundlegenden Arbeiten zur Laser-Doppler-Anemometrie (LDA).

Literatur

[1] Schuster, Peter: *Christian Doppler, weltbewegend - unbekannt,* Pöllauberg, Hainault, Atascadero, Oktober 2003

[2] Grössing, Helmut, Kadletz, Karl: *Christian Doppler (1803-1853), 1. Bd.,* Wien, Köln, Weimar, 1992

[3] Schuster, Peter: *Christian Doppler (1803-1853), 2. Bd., Das Werk,* Wien, Köln, Weimar, 1992

[4] Stoll, I., Seidlerová, I., Schwippel, J., Pöss, O., Solc, M.: *The Phenomenon of Doppler, The Czech Technical University,* Faculty of Nuclear Sciences and Physical Engineering, Prague, 1992

[5] Eden, Alec: *The Search for Christian Doppler,* Wien, New York, 1992

[6] Dorschner, J., Müller, R., Kuhne, G., Wittig, J., Pfau, W., Marold, Th., Brosche, P., in: 150 Jahre Doppler-Effekt, *Die Sterne* 69, 1993, 313-365

[7] Mach, E., Beiträge zur Dopplerschen Theorie. Ton- und Farbänderungen durch Bewegung. *Gesammelte Abhandlungen.* Prag, 1873; neu abgedruckt in: *Anm*. (3), S. 436-460

[8] Schuster, Peter: Eine Rose für Christian Doppler, *Falter*, Wien, 1989

[9] Schuster, Peter, Christian Strasser, Roland Floimair (Hrsg.): *Simon Stampfer, 1790-1864. Von der Zauberscheibe zum Film*, Schriftenreihe des Landespressebüros, Serie Sonderpublikationen Nr. 142, Salzburg, 1998

[10] Doppler, Christian: *Abh. d. k. böhm. Ges. d. Wiss., V. Folge, Bd. 2,* Prag, 1843, S. 465-482; neu abgedruckt in: *Anm.* (3), S. 173-189

[11] Mach, E. und Salcher, P.: Photographische Fixierung der durch Projektile in der Luft eingeleiteten Vorgänge, *Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien* 95, 1887, S. 764-780; zB. auch: W. Gerhard Pohl, Peter Salcher und Ernst Mach, Schlierenfotografie von Überschall-Projektilen, *PLUS LUCIS*, 2/2002 - 1/2003, S. 22-26

[12] Doppler, Christian: *Abh. d. k. böhm. Ges. d. Wiss., V. Folge, Bd. 5*, Prag, 1847, S. 293-306; neu abgedruckt in: Anm. (3), S. 216-227

Die Tragödie des Ehepaares Albert und Mileva Einstein

Manfred Wasmayr

Die meisten Leser von PLUS LUCIS werden sich spontan fragen: Was hat eine Ehetragödie in einer Fortbildungszeitschrift für Physik-Lehrer verloren? Dass ich mich entschlossen habe, einen Artikel über die Tragödie des Ehepaares Albert und Mileva Einstein zu schreiben, hat mehrere Gründe. Einer der Gründe ist die Darstellung des Falles Einstein/Maric durch die deutsche Autorin Senta Trömel-Plötz in ihrem Buch *Vatersprache - Mutterland*, der in seiner feministischen Übertreibung und Einseitigkeit meiner Ansicht nach nicht unwidersprochen bleiben kann. Ein anderer Grund ist der, dass ich selbst im Unterricht der 8. Kl. einige Male von Schülerinnen daraufhin angesprochen wurde, dass doch die Hälfte der Speziellen Relativitätstheorie (im Folgenden wie in der Fachliteratur üblich mit SRT bezeichnet) eigentlich von Einsteins erster Ehefrau Mileva Maric stamme. Und ein dritter Grund war die Tatsache, dass in früheren Einstein-Biographien (Johannes Wickert bei den Rowohlt-Monographien, Banesh Hoffmann/ Helen Dukas im Fischer-Taschenbuch-Verlag) sowohl die mathematische Begabung, die Mileva Maric sozusagen als geistige Mitgift in die Ehe einbrachte, als auch die voreheliche Geburt des ersten Kindes "Lieserl", das wegen der bedrückenden Armut der jungen Eheleute zur Adoption freigegeben wurde, mit vollkommenem Stillschweigen übergangen wurden. Es braucht also niemand zu befürchten, mit dem was Egon Friedell mit Recht so verächtlich "Unterhosen-Biographien" genannt hatte, belästigt zu werden. Die Privatsphäre der jungen Einsteins wird nach Möglichkeit gewahrt werden - was man ja von der vor ein paar Jahren erfolgten Veröffentlichung ihres Liebesbriefwechsels nicht unbedingt behaupten kann.

Ich werde mich dabei ausschließlich auf folgende drei Quellen berufen:

(1) Senta Trömel-Plötz: *Mileva Einstein-Maric. (Die Frau, die Einsteins mathematische Probleme löste)*, Verlag Frauenoffensive, 1991.

(2) John Stachel: "Albert Einstein and Mileva Maric: A collaboration that Failed to Develop" in *Einstein from B to Z*, Birkhäuser Verlag, 2002.

(3) Albert Einstein/Mileva Maric: *Am Sonntag küß ich Dich mündlich (Die Liebesbriefe 1897 - 1903)* Piper Verlag, 1994 (und darin das ganz ausgezeichnete, sehr ausführliche Vorwort des Wissenschaftshistorikers Armin Hermann "Einstein und die Frauen"). Letzteres Buch ist übrigens von Prof. Kühnelt kurz nach seinem Erscheinen in der Nummer 2/95 von PLUS LUCIS besprochen worden, in der Zwischenzeit aber leider vergriffen.

Im Oktober 1896 immatrikulierte sich der damals siebzehnjährige Albert Einstein am Polytechnikum Zürich, das später nicht zuletzt seinetwegen unter der Bezeichnung Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zürich Weltruhm erlangen sollte. Unter den elf Erstsemestrigen befand sich als einzige Studentin die um 3 1/2 Jahre ältere, serbisch-stämmige Mileva Maric aus dem Gebiet der heutigen Wojwodina. Wie sich die beiden jungen Studenten über das gemeinsame Studieren der Vorlesungs-Mitschriften persönlich immer näher kamen, kann in ihrem oben zitierten Liebesbriefwechsel höchst anschaulich nachvollzogen werden. Es zeigt uns einen sowohl durch die aufkommende Liebesbeziehung zu Mileva als auch durch seine geistigen Erfolgserlebnisse beim Physik-Studium in euphorische Hochstimmung versetzten, jungen Physiker, der aber zugleich verzweifelt eine Anstellung sucht, um eine Familie gründen zu können (übrigens eine beklemmende Parallele zum Leben Christian Dopplers). Da John Stachel sehr überzeugend darlegt, dass das Weggeben des erstgeborenen Kindes Lieserl DER Schatten gewesen ist, der sich für den Rest ihres ganzen Lebens auf ihre beiderseitige Beziehung legte, habe ich den Briefwechsel vor allem auch auf die Geburt dieses ersten Kindes hin durchforstet. Sie muss ziemlich genau zum Jahreswechsel 1901/02 erfolgt sein und zwar in der Heimat von Mileva. Wie lange der Aufenthalt Milevas bei ihren Eltern in der Wojwodina dauerte, geht aus den Briefen nicht klar hervor (Einsteins sämtliche Briefe aus dieser Zeit sind undatiert) , aber es muss sich wohl annähernd um ein Jahr gehandelt haben. Man wird bei der Lektüre des Briefwechsels den Verdacht nicht los, dass das rat- und mittellose junge Brautpaar die Schwangerschaft vor ihren Schweizer Freunden geheim halten wollten. Mileva kam gegen Ende 1901 ohne ihr Baby von ihren Eltern zu Albert Einstein nach Bern zurück, sodass es sicher ist, dass Einstein seine erstgeborene Tochter überhaupt nie gesehen hat! Dem Brief Nr. 49 vom 4. Feb. 1902, in dem er Mileva wenigstens um eine Zeichnung des Kindes bittet, entnehme ich sogar, dass er auch nie ein Bildnis seiner kleinen Tochter zu Gesicht bekam.

Einstein, 1903

Ein knappes Jahr nach der Rückkehr Milevas aus ihrer Heimat fand die Hochzeit im allerengsten Kreise am 6. 1. 1903 statt, wobei man sich unter dem allerengsten Kreise keineswegs die Eltern des Bräutigams noch jene der Braut vorstellen darf, die beide der Hochzeit fernblieben, sondern nur die beiden als Trauzeugen dienenden Debattierfreunde Einsteins Conrad Habicht und Maurice Solovine. Es soll hier nicht verschwiegen

OStR Mag. Manfred Wasmayr, Neumarkt a. W.

werden, dass die Eltern Einsteins die Ehe ihres Sohnes mit allen Mitteln zu hintertreiben suchten - vielleicht verständlich angesichts des Alters von Einstein (wenig mehr als 23 Jahre) und vor allem der enormen geschäftlichen Schwierigkeiten, in denen sich Einsteins Vater befand und die auch zu seinem plötzlichen Tod noch im gleichen Jahr geführt haben dürften.

Um noch einmal auf "Lieserl" und dem von seinem Verschwinden ausgehenden, unendlich langen Schatten zurück zu kommen: Obwohl es im Brief vom 4. Feb. 1902 noch heißt: "Das einzige, was noch zu lösen übrig wäre, das wäre die Frage, wie wir unser Lieserl zu uns nehmen könnten; ich möchte nicht, dass wir es aus der Hand geben müssen", findet sich im letzten der erhaltenen Liebesbriefe vom 23. Sept. 1903 folgende Stelle: "Die Geschichte mit Lieserl tut mir sehr leid. Es bleibt so leicht vom Scharlach etwas zurück. Wenn nur alles gut vorbei geht. Als was ist denn das Lieserl eingetragen? Wir müssen sehr Sorge tragen, dass dem Kinde nicht später Schwierigkeiten erwachsen." Diese Zeilen haben Spekulationen genährt, dass dem Kleinkind bleibende geistige oder körperliche Schäden drohten und es daher entweder bei Verwandten oder in einer Anstalt untergebracht worden sein könnte. Jedenfalls verlor sich seine Spur in kürzester Zeit vollkommen und für immer.

Warum ich so ausführlich auf diese Sache mit Lieserl eingegangen bin, dann deshalb, weil auch sie sehr viel mit der von feministischer Seite gestellten Frage zu tun hat: Warum wurde aus dem Ehepaar Albert und Mileva Einstein kein zweites Ehepaar Curie? Von den vielen Antworten, die man auf diese heikle Frage in Erwägung ziehen kann, ist eben eine die ungeheure seelische Belastung, die für Mileva von dieser "Kindesweglegung" ausging und die man nur als traumatisch bezeichnen kann. Der ältere der beiden Söhne Einsteins, Hans Albert (der es im Unterschied zu seinem um 6 Jahre jüngeren Bruder Eduard, der nach einem Selbstmordversuch mit 19 Jahren die psychiatrischen Anstalten nur noch selten verließ, immerhin zum Universitätsprofessor für Hydraulik an der Uni Berkeley brachte), berichtete, dass seine Mutter trotz eindringlicher Aufforderungen von Freunden sich konsequent geweigert habe, über dieses traurige Thema zu sprechen mit der Begründung, dass "es zu persönlich sei". Hans Albert Einstein hat sicher nicht unrecht, wenn er im Verlust von Lieserl die Wurzel der Entfremdung zwischen seinen Eltern sieht.

Nun aber zu der zweiten heiklen Frage: Hatte Mileva Maric das wissenschaftliche Format, um an der Seite von Albert Einstein zu einer "zweiten Madame Curie" werden zu können? Im Oktober 1983 erschien in der deutschen Zeitung "Emma" ein Aufsatz über Mileva Maric mit dem Titel "Die Mutter der Relativitätstheorie" und etwas davon muss sich eben bis zu unseren Schülerinnen (und natürlich ihren Eltern) herum gesprochen haben. In die Welt gesetzt wurde dieses Konstrukt aus Fakten und Fiktionen von einer serbischen Nachfahrin Milevas, der Universitätsprofessorin für Mathematik an der Universität Belgrad Desanka Trbuhovic-Gjuric, mit ihrem Buch "Im Schatten Albert Einsteins. Das tragische Leben der Mileva Maric" (erschienen 1969 auf Serbokroatisch und 1983 auf Deutsch). Zu diesem Buch folgendes Zitat aus dem Aufsatz von Frau Trömel-Plötz (1):

"Ich hätte die Autorin dieser Biographie, die mich, seit ich sie das erste Mal las, nicht mehr losließ, gern kennen gelernt. Ich hätte sie gern gefragt, ob wir Mileva Einstein-Maric heute als Mathematikerin und Physikerin kennen würden, wenn sie nicht Albert Einsteins Frau geworden wäre; ob sie sich nicht gegen die psychische Ausbeutung hätte wehren können; warum sie, als sie Albert Einstein heiratete, nicht mehr an ihre eigenen Träume und Hoffnungen dachte; warum sie sich nicht wehrte gegen die Vereinnahmung ihrer Kreativität und Energie durch ihren Mann."

Mileva Maric wurde 1875 in der Wojwodina geboren (damals ein Teil Österreich-Ungarns) als Tochter eines serbischen Beamten der k.u.k. Monarchie und einer montenegrinischen Mutter. Sie durchlief eine Schullaufbahn, die sie durch immer bessere Schulen führte, bis sie mit 19 Jahren als Privatschülerin und einziges Mädchen in der Physik-Klasse des Obergymnasiums von Zagreb beschloss, in jenes Land zu gehen, wo damals Frauen zum Studium zugelassen waren, nämlich die Schweiz. Nachdem sie in Zürich die Reifeprüfung abgelegt und ein Semester Medizin studiert hatte, immatrikulierte sie zeitgleich mit Albert Einstein am Polytechnikum Zürich in der Abteilung VIA, die für die Ausbildung von Physik- und Mathematik-Lehrern zuständig war. Wie sich die beiden über die gemeinsam besuchten Physik-Vorlesungen näher kamen, haben wir schon gehört. Sie schrieben dann beide im Jahre 1900 ihre Diplomarbeit bei Prof. Weber (dem gegenüber es aber dann bei beiden später zu einem Zerwürfnis kam) und die Themen beider Arbeiten handelten von demselben Gebiet, nämlich dem der Wärmeleitung. Während aber Mileva von der Arbeit an diesem Thema fasziniert war, befand Einstein später, das Thema sei für ihn völlig uninteressant gewesen. Einstein spielte da offenbar physikalisch schon in einer höheren Liga, denn wie die Briefe bestätigen, verschlang er in dieser Zeit die theoretischen Schriften von Helmholtz, Kirchhoff, Boltzmann, Maxwell, Lorentz und Planck. Einstein erwog übrigens, mit Boltzmann in schriftlichen Kontakt zu treten, - ein erregender Gedanke, bei dem man nur bedauern kann, dass er - offenbar wegen Boltzmanns bereits miserabler psychischer Verfassung - nicht mehr realisiert werden konnte.

Man könnte den Grad, bis zu dem Mileva Einstein-Maric die Errichtung des Gedankengebäudes der SRT beeinflusste, viel besser abschätzen, wenn mehr von ihren Briefen an Einstein erhalten wären. Aber leider machen ihre Briefe an ihn nicht einmal ein Fünftel des gesamten Briefwechsels aus - ein Manko, für das die Herausgeber keinen Grund angeben können, das man aber entweder als eine schwer verzeihliche "Lässigkeit" Albert Einsteins sehen kann - oder aber natürlich (und das ist aus feministischer Sicht auch geschehen) als seinen Versuch, Spuren der Mitwirkung seiner Frau zu verwischen. Von ihren erhaltenen 10 Briefen bezieht sich ein einziger ausdrücklich auf die von Einstein andiskutierten Punkte der Elektrodynamik bewegter Körper, aus der sich dann im "annus mirabilis" 1905 die SRT entwickeln sollte. In allen anderen Briefen werden nur Familienangelegenheiten, Urlaubsplanungen, Prüfungsvorbereitungen, Menschliches und Allzumenschliches abgehandelt.

Das Zeugnis ihres Briefwechsels wird noch ergänzt durch dasjenige der Freunde und Bekannten aus jener Zeit. Sie alle stimmen überein in der Schilderung der extremen Schweigsamkeit von Mileva Einstein, während es für ihren Mann beinahe eine Notwendigkeit, vor allem aber ein Genuss war, "in Gesellschaft zu denken", d.h. alles im Kollegenkreis auszudiskutieren. Maurice Solovine, einer der beiden Jugendfreunde aus ih-

rer "Olympia Academia" genannten Diskussionsrunde, erinnert sich: "Mileva, intelligent und reserviert, hörte uns aufmerksam zu, nahm aber nie an der Diskussion teil." John Stachel sind die kühnen Behauptungen von Frau Trömel-Plötz bekannt, die auch auf Englisch unter dem Titel *The Woman, who did Einsteins Mathematics* publiziert wurden, und so klopft er alle erhaltenen Zeugnisse sowohl von Albert als auch von Mileva Einstein auf Anzeichen einer gemeinsamen, wissenschaftlichen Anstrengung hin ab. Während beide noch die Arbeit über die Molekularkräfte im Wir-Modus besprechen, spricht Mileva über die Doktorarbeit, die Einstein im Jahre 1902 der Universität Zürich unterbreitete, später aber wieder wegen der Meinungsverschiedenheiten mit Prof. Weber zurück zog, nur noch bewundernd von der glänzenden Arbeit, die ihr Albert vollbracht habe, und fügt hinzu: "Er ist ein wirklich prächtiger Bursche". Eine Sicht der Dinge, die sich leider in wenigen Jahren in ihr Gegenteil verkehren sollte.

Die einzige Stelle, an der "von unserer Arbeit über Relativbewegungen" die Rede ist und die sich nicht mehr auf die heute eher unbedeutend scheinende Arbeit über die Molekularkräfte bezieht, ist eine aus dem Jahre 1901; da lagen also noch vier arbeitsintensive Jahre bis zur Veröffentlichung der SRT im Jahre 1905 dazwischen. John Stachel verwendet viel Sorgfalt darauf, zu zeigen, dass diese eine Stelle nicht ausreicht, Mileva Einstein als Koautorin der SRT zu bezeichnen. Zu ihrer beider Studienabschluss wäre noch zusagen, dass Albert Einstein für seine Diplom-Arbeit eine 4,5 erhielt (6 war die beste, 1 die schlechteste Note) und Mileva eine 4. Bei der Abschlussprüfung wurde Albert mit einem Notendurchschnitt von 4,91 "durchgelassen" (so die Diktion von Frau Trömel-Plötz), während Mileva mit einem Notendurchschnitt von 4,00 durchfiel. Auch bei der Wiederholung ihrer Diplomprüfung ein Jahr später scheiterte sie trotz intensiver, gemeinsamer Vorbereitung mit Albert wieder. Ihre Frustration war so total, dass sie gelobte, niemals mehr bei Prof. Weber zu arbeiten. Nicht unwichtig, zu wissen, dass sie da bereits im dritten Monat schwanger war - beides Gründe genug, um einen längeren, offenbar verbitterten Heimaturlaub bei ihren Eltern anzutreten.

Für Frau Trömel-Plötz ist dieser Ablauf der Dinge natürlich ein Beweis für die absolute Frauenfeindlichkeit der Professorenschaft der ETH Zürich und sie versteigt sich zu der kühnen Behauptung, dass sich an eben dieser Frauenfeindlichkeit in den letzten 100 Jahren nichts geändert hätte! Eine doch etwas eindimensionale Sicht der Dinge. Schon eher muss man Frau Trömel-Plötz zustimmen, wenn sie meint: "Die Ehe änderte das Leben von Mileva Maric in unwiderruflicher Weise: Nicht nur endete ihre wissenschaftliche Laufbahn, ehe sie überhaupt richtig beginnen konnte, sondern auch ihr Leben als unabhängige Frau endete. Sie wurde Ehefrau und Mutter, d.h. für die Bedürfnisse anderer zuständig. Ihre Energien, ihre Kräfte, ihre Kreativität gehörten nicht mehr ihr allein. Sie mag es zunächst nicht gemerkt haben, dass sie nicht mehr für sich, sondern für ihren Mann arbeitete."

Sehr kennzeichnend für ihr zurückhaltendes, introvertiertes Wesen scheint mir die folgende Äußerung Milevas: Einer der Brüder Habicht fragte sie, warum sie für das Patentgesuch des Einstein-Habicht-Apparates nicht auch ihren Namen angegeben habe, worauf sie antwortete: "Wozu? Wir sind ja beide nur ein Stein." Einstein selbst hat seine Frau im Rückblick aus späterer Zeit (und um viele Erfahrungen mit Frauen reicher) als "durchaus nicht bösartig, aber misstrauisch, wortkarg und depressiv" beschrieben und erklärte dies mit "einer schizophrenen Erbanlage", die ja dann bei seinem Sohn Eduard leider durchgebrochen sein mag. Am traurigen Höhepunkt des Scheidungsvorganges nennt er sie einmal seiner Cousine und zweiten Ehefrau Elsa gegenüber "den sauertöpfischsten Sauertopf". Außerdem bezeugen alle Freunde aus dieser Zeit eine Neigung zu rasender Eifersucht, die sich bei allen passenden und unpassenden Gelegenheiten zeigte. Wobei sich diese Eifersucht nicht nur auf Personen erstreckte, sondern schließlich die Physik als Ganzes einschloss. Hatte sie noch in den Briefen der Jahre 1903/04 voller Stolz auf die wissenschaftlichen Erfolge ihres jungen Ehemannes hingewiesen, so spürte sie, wie der ab dem "annus mirabilis" 1905 über Albert hereinbrechende Ruhm und seine kometenhafte, akademische Karriere sie einander immer mehr entfremdeten.

Es mag sogar weitgehend zutreffen, was Milevas Kommilitonin Ljubomir Bata-Damic über sie formulierte: "Wir sahen zu Mileva wie zu einer Gottheit empor, sosehr imponierte uns ihr mathematisches Wissen und ihre Genialität... Sie löste für ihn alle mathematischen Probleme, besonders was die Relativitätstheorie betrifft." Dem gegenüber steht wiederum die Aussage von Albert Einsteins Freunden aus dieser Zeit, dass die Probleme, die Mileva für Albert zu lösen hatte, nirgendwo den Bereich der elementaren Algebra überstiegen. Wahrscheinlich bringt es der Einstein-Spezialist Peter Michelmore auf den Punkt, wenn er schreibt: "Mileva helped him solve certain mathematical problems, but nobody could assist with the creative work, the flow of fresh ideas..." Dazu passt es auch, dass später einmal Einstein gesagt haben soll: "Seit die Mathematiker die SRT in die Hand genommen haben, verstehe ich sie nicht mehr. "Es ist sicher durchaus nicht auszuschließen, dass Mileva im Ehepaar Einstein die bessere Mathematikerin war, aber jeder, der sich wirklich auf die SRT eingelassen hat, weiß, dass sie ein unauflösliches Gebäude aus Mathematik, Physik und Philosophie ist. Euklid ist zwar kein Philosoph, aber das Nachdenken über die Euklidschen Axiome ist eine durchaus philosophische Tätigkeit. Und Albert Einstein hat damit in seinem 12. Lebensjahr begonnen! Einstein hat wohl nicht übertrieben, als er an seinen Jugendfreund Solovine schrieb: "Das Interesse für Philosophie war bei mir immer da." So hatte er auch schon lange vor seiner Matura eine intensive Kant-Lektüre begonnen. Ich würde durchaus zu behaupten wagen, dass nur ein philosophisch so durchtrainierter Kopf, der die Kantsche Kategorienlehre wirklich in sich aufgenommen hatte, zum Begründer der SRT werden konnte. Bei diesen philosophisch-physikalischen Höhenflügen konnte ihm Mileva offenbar nicht mehr folgen, dazu musste er sich einen geeigneten Freundeskreis aufbauen, die sich in ihrer Wohnung regelmäßig treffende "Olympia Academica", bestehend aus drei Personen!

Die Ehe zwischen Mileva und Albert Einstein dauerte von 1903 bis 1914 (Scheidung allerdings erst 1919, wobei die treibende Kraft dahinter Einsteins zweite Frau, seine Cousine Elsa, war, hinter der wiederum Einsteins Mutter stand!). Wie man sich den Ehealltag in diesen Jahren vorzustellen hat, hört sich in Einsteins eigenen Worten so an: "Ich behandle Mileva wie eine Angestellte, der ich allerdings nicht kündigen kann. Ich habe mein eigenes Schlafzimmer und vermeide es, mit ihr allein zu sein. In dieser Form halte ich das "Zusammenleben" ganz gut aus." Man kann also davon ausgehen, dass die Einsteinsche Ehe spätestens im Jahre 1910, dem Geburtsjahr ihres

Sohnes Eduard, bereits völlig zerrüttet war und die Geburt dieses zweiten Sohnes offenbar ein verzweifelter Versuch der Ehepartner war, diese Ehe noch zu kitten.

Viele Leser werden sich fragen, wie kann man unter solchen tristen Lebensumständen solch geniale, wissenschaftliche Leistungen von höchster Kreativität vollbringen. Einstein hätte geantwortet jetzt erst recht! Im Originalton Einstein hört sich dies so an: "Kein Wunder, wenn unter diesen Umständen die Liebe zur Wissenschaft gedeiht, die mich aus dem Jammertal empor hebt in ruhige Sphären, unpersönlich und ohne Schimpfen und Jammern." Einstein hatte also die Flucht nach oben aus dem deprimierenden Ehealltag angetreten. Augenzeugen aus jener Zeit formulierten es so: "Keiner der Kollegen, die seine treffenden Bemerkungen und sein lautes Lachen hörten, hätten geglaubt, dass seine Ehe gerade zerbrach."

Das Ende des gemeinsamen Haushaltes kam mit der Übersiedlung nach Berlin Sommer 1914. Mileva verfiel, je näher die Übersiedlung kam, in Depressionen. "Unausgesetzt weint sie mir von Berlin vor und ihrer Angst vor meinen Verwandten." (offenbar eine nur allzu berechtigte Angst). Mileva kam Ende April 1914 - einen Monat nach Albert - mit den Söhnen in Berlin an, nur um nach wenigen Wochen mit Ende der Sommerferien feststellen zu müssen, dass es so nicht mehr weiter gehen könne. Der treue Freund Michele Besso kam aus der Schweiz, um Mileva und die beiden Söhne nach Zürich zu begleiten, und berichtet: "Es war ein rechter Trauerzug zum Bahnhof". Einstein hat nur zweimal in seinem Leben geweint: als 1902 sein Vater starb und jetzt, als seine Familie ihn verließ."

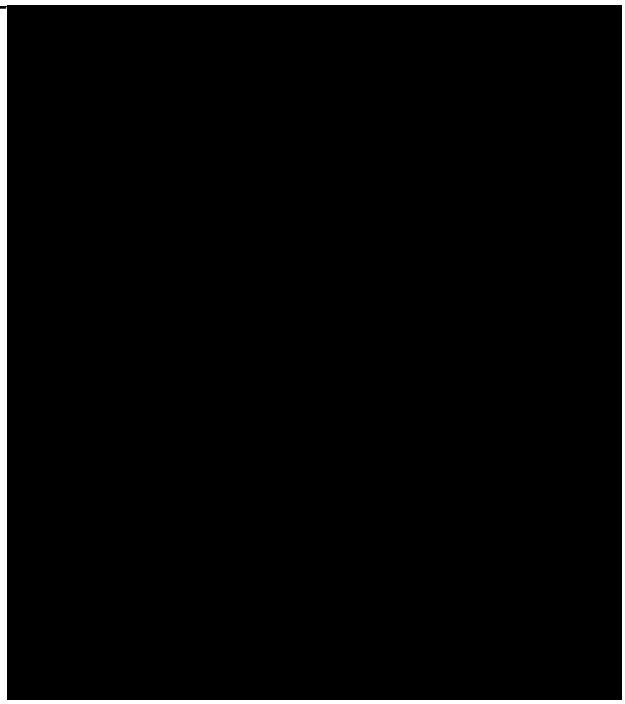
Über das weitere "fernmündliche " Verhältnis Albert Einsteins zu seiner geschiedenen Frau mit ihren beiden Kindern fällt es schwer, ein klares Bild zu erhalten. Sicher ist, dass Einstein bei den Scheidungsverhandlungen 1919 sich verpflichtete, die gesamte Nobelpreissumme ihr und den beiden Söhnen zu überweisen - und das zwei Jahre, bevor er ihm verliehen wurde! So sicher waren sich beide, dass seine Auszeichnung mit dem Nobelpreis unmittelbar bevorstand. Senta Trömel-Plötz wertet die Tatsache, dass Albert Einstein die gesamte Nobelpreis-Summe ungeteilt seiner Frau nach Zürich überbrachte, als Eingeständnis seines schlechten Gewissens, zu dem er angeblich jeden Grund hatte, nachdem er in seinen wissenschaftlichen Veröffentlichungen ihren Anteil stets tot geschwiegen hatte. Eine sehr kühne Interpretation! Über den weiteren Verlauf von Milevas Leben schreiben Jürgen Renn und Robert Schulmann, die Herausgeber von (3): "Nach der Scheidung von Albert lebte Mileva bis zu ihrem Lebensende in Zürich; sie hat nicht wieder geheiratet. Obwohl das Scheidungsverfahren sehr schmerzlich war, erfolgte in den späten Zwanziger-Jahren eine Art Versöhnung. In den letzten zwei Jahrzehnten wurden zwischen ihr und Albert mehrere hundert Briefe gewechselt." Banesh Hoffmann und Helen Dukas befinden in ihrer Biografie gar: "Obwohl die Ehe nicht glücklich war und später geschieden wurde, blieben Mileva und Albert zeitlebens freundschaftlich verbunden." Ein Bild, das wohl einer gewaltigen Schönfärberei gleich kommt, wenn man den Beteuerungen von Frau Trömel-Plötz Glauben schenken darf, wonach sich Albert Einstein so gut wie gar nicht um seinen kranken Sohn kümmerte (er hat ihn zum letzten Mal 1933 in der Anstalt besucht) und sich angeblich weigerte, über seine erste Ehe und seine beiden Kinder auch nur zu sprechen.

Einer der profundesten Kenner der Einsteinschen Biografie, Prof. Armin Hermann, resümiert Einsteins Privatleben in der Form, dass Einstein als Ehemann zweimal und als Vater dreimal versagt habe. Daran ist praktisch kein Zweifel mehr möglich. Aber wenn solchermaßen auch Einstein durch die Enthüllungen der letzten Jahre für viele - vor allem für Frauen - von dem Podest geholt wurde, auf das er - erklärtermaßen gegen seinen Willen! - gestellt worden war, so bleibt für mich - und das sage ich als glücklicher Ehemann, Vater und Großvater - eine tiefe, weit über unser Fach hinaus gehende, menschliche Beziehung bestehen. Jetzt weiß ich jedenfalls, warum mir Albert Einstein so melancholisch aus dem Bildschirmhintergrund in die Augen blickt, immer wenn ich meinen PC aus- oder einschalte. Er hatte wahrlich viele Gründe, melancholisch zu sein.

Brückenbaummuseum

Renate Theißl hat es sich zur Lebensaufgabe gemacht, erhaltungswerte Brücken zu sammeln und detailgetreu nachzubauen. Entstanden die ersten Modelle noch mit einfachsten Mitteln, unterstützen mittlerweile namhafte Wissenschaftler der Technischen Universitäten Graz und Wien die aufwendige Arbeit, und Renate Theißl avancierte zur gefragten Expertin in Sachen Brückenbau. So findet man im Museum eine Vielzahl von Modellen, wie Eisenbahnbrücken, Straßenbrücken, Pionierbrücken, Behelfsbrücken, Sonderbrücken und Industriemodellen. Besonders interessant ist ein Gespräch mit Frau Theißl über ihren Werdegang.

Adresse: 8332 Edelsbach bei Feldbach, Steiermark



9th Workshop on Multimedia in Physics Teaching and Learning

9.-11. September 2004

Karl-Franzens-Universität Graz

Ziel und Inhalt des Workshops ist ein europäischer Informationsaustausch über den Einsatz von multimedialem Material in der Physikausbildung, sowohl auf Universitäts-, (Fach-)Hochschul- und Schulebene.

Spezielle Themen betreffen den Einsatz von Lehr- und Lernplattformen in der Vermittlung von Physik, die Verbindung von Physikforschung und Physiklehre sowie die Evaluation von Physiksoftware aus dem Bereich Mechanik.

Lehrerfortbildungsseminar: Am 8. September findet ein ganztägiges Seminar "Multimedia im Physikunterricht" statt.

Homepage: http://physik.uni-graz.at/MPTL9/

Information:
Univ.Prof. Dr. L. Mathelitsch
Institut für Physik
Universitätsplatz 5
8010 Graz
leopold.mathelitsch@uni-graz.at

Science on Stage

- Unterrichten Sie naturwissenschaftliche Fächer?
- Haben Sie Lust Ihre Ideen für eine wirkungsvolle Wissensvermittlung zu verfolgen?
- Möchten Sie Kolleginnen und Kollegen aus ganz Europa begegnen?
- Wollen Sie zum Fest der Wissenschaft eingeladen werden?
- Haben Sie schon einmal ein Projekt mit einer Ihrer Klassen durchgeführt?

Wenn das alles zutrifft, dann lesen Sie bitte weiter!

Science on Stage (SoS) ist ein europäisches Projekt, das vom EIROFORUM (http://www.eiroforum.org), einer Aktionsgemeinschaft europäischer Großforschungsinstitute für das Schuljahr 2004/05 geplant ist.

Wie bei den Vorgängerprojekten "Life in the Universe" (http://teilchen.at/LIU) und "Physics on Stage" (http://teilchen.at/POS) ist das Projektziel die Förderung und Verbesserung der Ausbildung in den naturwissenschaftlichen Disziplinen. Lehrkräfte aus ganz Europa werden eingeladen, ihre Aktivitäten im didaktisch pädagogischen Bereich, z.B. innovative Unterrichtsprojekte, die der Heranbildung von naturwissenschaftlich gebildetem und motiviertem Nachwuchs dienen, zur Teilnahme an einem Wettbewerb anzumelden. Die Autoren der besten Beiträge werden zu einer Festwoche im Frühjahr oder Herbst 2005 nach Grenoble oder Genf eingeladen werden.

Die Anmeldung zur Teilnahme ist bereits über http://www.teilchen.at/SoS elektronisch möglich. Auf dieser Website werden auch die noch fehlenden Details des Projektablaufes laufend bekannt gegeben werden.

Für Fragen und Wünsche steht Ihnen der österreichische Kontaktmann Christian Gottfried (christian.gottfried@inode.at; Tel: +43 1 587 46 02) gerne zur Verfügung.

DPG-Fortbildungskurse für Physiklehrer

im Physikzentrum Bad Honnef

Kurs 1: 19. - 23. Juli 2004

Sensoren - Physikalische Grundlagen und Anwendungen

Wissenschaftliche Leitung:
Prof. Dr. Werner Schneider, Universität Erlangen-Nürnberg,
Dr. Jürgen Vetter, Siemens AG, Erlangen

Mit Hilfe des Kurses "Sensoren - Physikalische Grundlagen und Anwendungen" wird ein besonders aktuelles Thema aufgegriffen, denn Sensoren bestimmen - für den Normalbürger fast unbemerkt - in kaum vorstellbarem Maß unsere Lebensbereiche. Einem Sensor liegt immer ein physikalischer Effekt zugrunde. Will man etwas mehr über Physik erfahren, so kann man dies anhand der physikalischen Grundlagen der Sensoren in besonders motivierender Weise. Entsprechend motivierend ist es, etwas über moderne Technik mittels der sichtbaren oder unsichtbaren Einsatzgebiete der Sensoren zu erfahren. Moderne Sensoren sind ohne Mikrotechnik nicht denkbar - zeitgemäße Autos nicht ohne moderne Sensoren. Beide Aspekte nehmen daher in dem Kurs einen breiteren Raum ein. Weiterhin werden nicht nur Anwendung von Sensoren bei aktuellen naturwissenschaftlichen Forschungsgebieten, die von der Astronomie bis zur Teilchenphysik reichen, im Kurs behandelt, sondern auch die Bereiche Sensoren im Haushalt, in der industriellen Fertigung, bei Spielzeug und Experimentiergerät für den Physikunterricht.

Kurs 2: 23. - 27. August 2004

Zurück zu den Wurzeln: Geschichte im Physikunterricht

Wissenschaftliche Leitung:
StD Michael Barth, Studienseminar für Gymnasien Hildesheim, Dr. Dieter Hoffmann, Max Planck Institut für Wissenschaftsgeschichte, Berlin, Dr. Falk Rieß, Universität Oldenburg

Die naturwissenschaftliche Denk-, Arbeits- und Argumentationsweise ist charakteristisch für moderne empirisch-analytische Wissenschaften; Schülerinnen und Schüler können sie

nur dann verstehen, wenn sie sich intensiv mit ihr auseinandersetzen. Dies umfasst auch die Frage nach der Entstehung physikalischer Erkenntnisse, nach der Geschichte der Physik. Biographische Aspekte stoßen fast immer auf das Interesse von Schülerinnen und Schülern, denn philosophische, fachmethodische, politische und wissenschaftstheoretische Aspekte lassen sich an historischen Fallbeispielen ausgezeichnet herausarbeiten. Ein historischer Zugang zur Physik ist eine abwechslungsreiche Ergänzung des Fachunterrichts, ein Perspektivwechsel, der wissenschaftspropädeutisches Arbeiten nachhaltig unterstützt. In diesem Kurs wollen wir physikhistorische Informationen mit aktueller wissenschaftlicher Interpretation verbinden, wir wollen Anwendungen im Unterricht, in der Universitätsausbildung und im Museum mit intensiven Diskussionen über alle Aspekte eines historischen Zugangs beim Physiklernen und Physiklehren verknüpfen.

Kursgebühren einschl. Unterkunft und Verpflegung von Montag Mittag bis Freitag Mittag: 190 Euro (150 Euro für Lehramtskandidaten und Referendare).

Anmeldung: Das Webformular (s. http://www.pbh.de/AnmeldK1204.txt) ausfüllen und bis zum 25. Juni 2004 e-mailen

Astronomie
Einladung zum kostenlosen Besuch

Suchen Sie nach einem interessanten Weg, Ihren naturwissenschaftlichen Unterricht zu ergänzen?

Wir haben mehrere Termine vorbereitet, um Sie kostenlos über unser Angebot zu informieren und Ihnen die richtige Wahl für Ihre Schüler leicht zu machen.

Kuffner Sternwarte

"Was sucht der Astronom am Himmel?"

Dr. Peter Habison, Direktor der Kuffner Sternwarte, gibt Ihnen einen Überblick über unser auf Schulklassen und Lehrkräfte abgestimmtes Angebot: Nach einem einleitenden Vortrag zum Thema Astronomie und Himmelsbeobachtung besichtigen Sie die historische Sternwarte sowie den Großen Refraktor. Bei Schönwetter können Sie mit diesem historischen Instrument selbst einen Blick an den nächtlichen Himmel werfen. Abschließend steht Ihnen Dr. Habison gerne für Fragen und Diskussion zur Verfügung.

Termine: 17. Mai und 16. Juni, jeweils 20:00 Uhr

Dauer: ca. 1,5 Stunden

Adresse: Kuffner Sternwarte, Johann Staud Straße 10, 1160 Wien

Öffentliche Verkehrsmittel:

- Autobuslinie 51A, von U4 Hietzing bis Endstation Ottakringer Bad
- Autobuslinie 46B, von U3 Ottakring Richtung Ottakringer Bad/Kuffner-Sternwarte

Um Anmeldung wird gebeten unter 01/914 81 30, admin@kuffner.ac.at

Planetarium Wien

Mit unseren Multimedia-Shows veranschaulichen wir astronomische Inhalte auf unterhaltsame und zugleich informative Weise. Besuchen Sie eine oder mehrere unserer Vorführungen, um sich selbst einen Eindruck zu verschaffen. In den Pausen und nach der letzten Vorführung stehen Ihnen unser Astronom und Mag. Monika Fischer, Marketing -und Eventmanagerin, für Informationen und Fragen gerne zur Verfügung.

Termine: 25. Mai und 02. Juni

Programm:

15:00-15:40: Yanni, die Sterne und der Käsemond (geeignet für Kinder zwischen 4 und 8 Jahren)

16:30-17:20: Star Date, Rendezvous mit den Sternen (geeignet ab 10 Jahren)

18:00-18:50: Projekt Mars (geeignet ab 10 Jahren)

Adresse: Planetarium Wien, Oswald Thomas Platz 1, 1020 Wien (neben den Riesenrad)

Öffentliche Verkehrsmittel: Station Praterstern mit Schnellbahnen S1, S2, S3, S7, S15, U-Bahn U1, Straßenbahnlinien 5, 21, O , Autobuslinie 80A

Um Anmeldung wird gebeten unter 01/729 54 94-10, admin@planetarium-wien.at

Sonderausstellung "Realitäten und Kuriositäten"

Museum im Ledererhaus, Purgstall an der Erlauf

Schauen und Staunen ist das Motto der Ausstellung "Realitäten und Kuriositäten", die unter der Leitung von Prof. Mag. Maria Schmid 2004 zu sehen ist. Präsentiert werden zahlreiche effektvolle Experimente und interessante Schaustücke, die möglichst viele Sinne und alle Altersgruppen ansprechen sollen.

Das Museum liegt im Ortszentrum und wurde im Oktober 1996 neu eröffnet. Vom frühen 17. Jh. bis 1956 lässt sich für das direkt an der Erlauf gelegene Gebäude mit reichem Sgraffito an der Fassade das Ledererhandwerk bzw. die Gerberei nachweisen. In Verbindung mit der Geschichte des Hauses bildet die Gerberei einen wesentlichen Schwerpunkt des Museums. Eine aus Purgstall stammende Schusterwerkstatt soll die Bedeutung des Leders und dessen Verarbeitung aufzeigen. Die Ortsgeschichte ist ebenso dokumentiert wie der Eisen- u. Provianthandel, Bekleidung und Tracht.

Öffnungszeiten: vom 1. Mai bis 26. Oktober jeweils Samstag, Sonn- und Feiertag von 10.00-17.00 Uhr und jederzeit gegen Voranmeldung Tel. 07489 271117

Freihandexperimente

Werner Rentzsch

Bunter Sand

Geräte: Schnappdeckelglas, Löffel (klein), Spatel, Spritzflasche

Chemikalien: keine

Materialien: Quarzsand, Lebensmittelfarbe, Gurkenglas

Gib in das Schnappdeckelglas einen halben Löffeln Sand, eine Spatelspitze Lebensmittelfarbe und vermenge durch Schütteln. Verschließe das Glas dazu mit dem Plastikdeckel.
Fülle das Glas ca. zu ¾ mit Wasser, verschließe es mit dem Plastikdeckel und schüttle. Gieße das Wasser vorsichtig ab (dekantieren).
Das gefärbte Wasser schüttest du in das Gurkenglas.
Wiederhole den Vorgang so lange, bis das Wasser farblos ist.

Beobachtung: Der Farbstoff löst sich im Wasser. Der reine Sand bleibt zurück.Im Schnappdeckelglas war ein Gemenge aus Sand, Farbstoff und Wasser. Der Farbstoff kann vom Sand getrennt werden, weil der Farbstoff wasserlöslich ist, der Sand jedoch nicht. Die Trennung erfolgt auf Grund der Löslichkeit.

Hinweis: Es ist sehr günstig, für diesen Versuch schon gewaschenen Sand zu verwenden, da sonst zur Färbung zusätzlich eine Trübung auftritt. Zum Waschen gibt man den Sand einfach in ein Glas mit Wasser und dekantiert so lange, bis das überstehende Wasser klar ist.

Das saubere WC

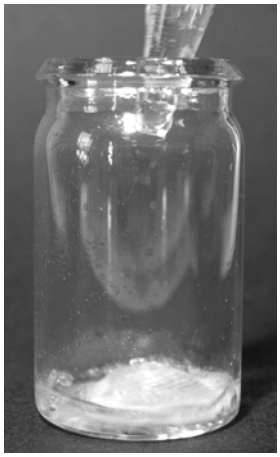
Geräte: Schnappdeckelglas, Pipette

Chemikalien: konzentrierte Salzsäure

Materialien: kleine Muschel oder Marmorstückchen (Calciumcarbonat), Holzspan, Schutzbrille

Vorsicht: Schutzbrille tragen! Salzsäure ist ätzend und darf nicht in die Augen und auf die Haut gelangen. Dämpfe nicht einatmen. Nach dem Versuch die Hände gut reinigen.

Betropfe die Muschel oder das Marmorstückchen mit einigen ml Salzsäure.



Halte einen brennenden Holzspan in das Schnappdeckelglas.

Beobachtung: Der Kalk löst sich in der Säure. Gasentwicklung ist zu beobachten. Der Span erlischt.

Calciumcarbonat + Salzsäure $\longrightarrow$ Calciumchlorid + Wasser + Kohlenstoffdioxid

$$CaCO_3 + 2\ HCl \longrightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_2$$

Das entstehende Kohlenstoffdioxid hast du nachgewiesen. Es hat die Flamme des brennenden Spans erstickt.

Der durch fließendes Wasser entstandene Kalkstein wird bei öffentlichen WC-Anlagen mit Salzsäure entfernt.

Die weggeblasene Farbe

Geräte: Schnappdeckelglas, 2 Pasteurpipetten

Chemikalien: sehr stark verd. Natronlauge, Phenolphthaleinlösung

Materialien: Trinkhalm, Schutzbrille

Fülle das Schnappdeckelglas halb mit Wasser und tropfe Phenolphthaleinlösung zu.

Gib stark verdünnte Natronlauge bis zur zarten Rosafärbung zu.

Blase durch den Halm in die Flüssigkeit. Es soll richtig sprudeln.

Beobachtung: Nach kurzer Zeit ist die Lösung entfärbt.
Die entstehende Kohlensäure neutralisiert die Natronlauge.

Beim Ausatmen beträgt die Konzentration von Kohlenstoffdioxid einige Prozent.

Kohlenstoffdioxid + Wasser $\longrightarrow$ Kohlensäure

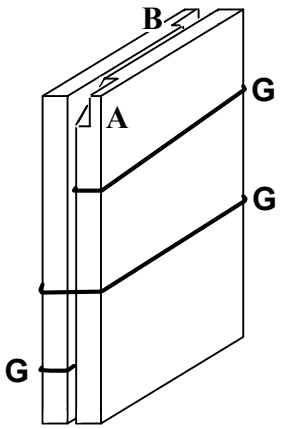
$CO_2 + H_2O \longrightarrow H_2CO_3$

Hinweis: Gib keinesfalls zuviel Natronlauge in das Glas. Kohlensäure ist nur eine schwache Säure. Bei zu hoher Konzentration der Base gelingt die Neutralisation nur durch Hineinblasen nicht.

Grafit-Leitungswasser-(Solar-)Akku

Herbert Klinglmair

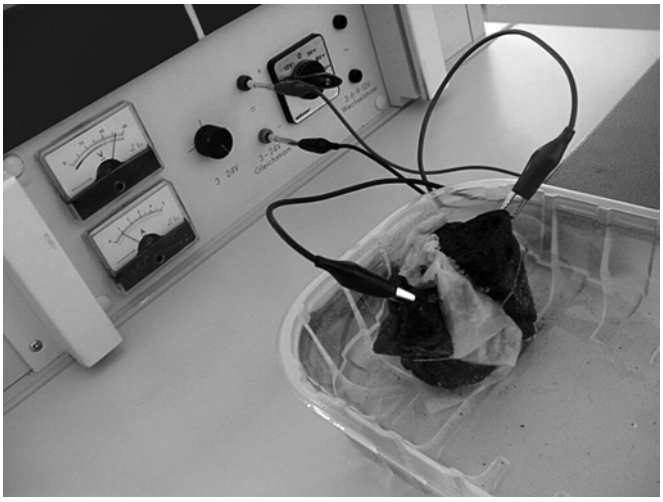
Zwei als Elektroden dienende Grafitplatten*) (A bzw. B) werden wie in untenstehender Skizze ersichtlich an jeweils einer Ecke mit einer Säge oder Raspel ein wenig zurechtgestutzt, damit die dort anzubringenden Abgreifklemmen ordentlich halten und nicht in unerwünschter Weise zu beiden Platten Kontakt haben können. Um jede der beiden Platten wird ein Gummiringerl (s. Skizze G, G - oben und unten) gespannt; ein drittes Gummiringerl (s. Skizze G - Mitte) hält beide Elektroden zusammen.



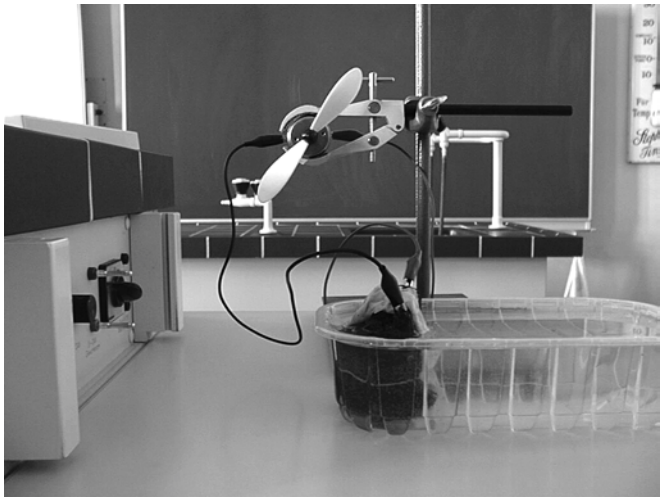
Dieses Elektrodenpaar wird nun bis knapp unter den oberen Rand in einem mit Leitungswasser gefüllten Gurkenglas versenkt und über ein mit Abgreifklemmen an den Ecken A bzw. B befestigtes Kabelpaar elektrisch geladen.

Als Ladestromquellen dienen:
a) die Sonne im Umweg über ein Solarmodul 3V/0,8A (Werkpackung Art. Nr. 5277, € 19,90, von www.winklerschulbedarf.com),
b) ein Tageslichtprojektor als "Ersatzsonne" im Umweg über das angeführte Solarmodul (Vorsicht, dieses nicht überhitzen!) oder

*)Platte E41 - Elektrografit blockgepresst; Basis Ruß gebrannt (800° C) und grafitiert (3000°C) von Hoffmann Elektrokohle in A-4823 Steeg. -
Maße: ca. 60x116x8mm - Verwendung: z.B. Bürsten für Lok 1042, ...
Herzlichen Dank an die Kollegen in meiner Schule bzw. an die Belegschaft der Fa. Hoffmann, die bei der Materialbesorgung mitgeholfen haben!
Ob im Lehrmittelhandel erhältliche Kohleplatten (z.B. PHYWE 45211.00 oder Leybold 59161) ebenso gut einsetzbar sind, habe ich bisher noch nicht ausprobiert.



Koks-Akku beim Laden



Koks-Akku betreibt einen Solarmotor

c) eine Gleichspannungsquelle bis 15V= (Schülernetzgerät; Ladestrom bis etwas über 1A).

Beim Ladevorgang kann eine je nach Ladestrom mehr oder weniger heftige Wasserstoff- bzw. Sauerstoffentwicklung beobachtet werden. (Nicht mit offenem Feuer hantieren!)

Die geladene Zelle wird über einen Solarmotor (www.conrad.at 19 80 80-22, Anlaufspannung/-strom 0,4V/10mA) und/oder evtl. eine Glühbirne 3,8V/70mA entladen.

Variante: Koks-Leitungswasser-Akku

Zwei Bröckerl Koks werden mit grobem Schleifpapier auf ebener Unterlage an jeweils einer Seite halbwegs glatt geschliffen. Mit diesen einigermaßen ebenen Flächen legt man sie - getrennt durch ein paar Lagen eines Papierhandtuches - aneinander, spannt sie mit einem Gummiringerl zusammen und versenkt sie zu einem guten Teil in Leitungswasser.

Spannungsquelle für Ladestrom: ca. 20 bis 30 V, Ladestrom bis etwa 1 A.

Während des Ladevorganges kann man - wie auch bei der oben beschriebenen Versuchsanordnung - der Wasserelektrolyse zuschauen und zuhören (sprudelnder Wasser- bzw. Sauerstoff).

Weltmaschine

Die Weltmaschine des Franz Gsellmann (1910-1981) ist nach vollständiger Restaurierung wieder täglich (außer Dienstag) zu besichtigen. Gsellmann baute eine Maschine, die schöpferisches Denken und den schöpferischen Prozess in Einem darstellte.

Adresse: Kaag 12, 8332 Edelsbach bei Feldbach.
http://www.weltmaschine.at

Bücher

Weltbewegend - Unbekannt Leben und Werk des Physikers Christian Doppler und die Welt danach

Peter M. Schuster

Living Edition, 198 S, ISBN 3-901585-03-6, € 29,50

Es werden ja viele unter Ihnen beim Christian-Doppler-Symposion im Oktober in Salzburg Peter M. Schusters ausgezeichnete, keinen Wunsch offen lassende Christian-Doppler-Monographie aus erster Hand, nämlich der des Autors, erworben haben. Allen anderen Fachkollegen kann ihr Erwerb wärmstens ans Herz gelegt werden. Wem der historische Werdegang des Faches Physik ein in den Unterricht einzubauendes Anliegen ist, ist dazu genau so aufgefordert wie derjenige, der einen Überblick über die Anwendungen des Doppler-Effektes im XX. und XXI. Jahrhundert erlangen will.

Die unglaublich intensive und extensive historische Recherche von Peter M. Schuster (übrigens ein an der Universität Wien 1967 promovierter Physiker mit ganz beachtlicher Biographie) ist absolut bewundernswert. So hat er z.B. die "Stammbaum-Linien" aller Doppler-Nachkommen minutiös ausgekundschaftet und es gelang ihm, von einer der beiden noch lebenden Urenkelinnen rechtzeitig vor ihrem Ableben noch wichtige Informationen zu erhalten. Dabei verliert sich Schuster nie im Detail, sondern er bettet seine Forschungsergebnisse in einen sehr anschaulichen kulturhistorischen Hintergrund ein, so dass etwa die unglaublich provinzielle, beinah gespenstische Atmosphäre seiner nach-fürsterzbischöflichen Vaterstadt Salzburg genau so nachvollziehbar wird wie Dopplers schwierige Wohnverhältnisse in Salzburg und Wien.

Für mich wie wahrscheinlich für viele Kollegen überraschend ist der im Buch genau dokumentierte Widerstand, den Dopplers Veröffentlichung seines heute legendären Prinzips im Jahre 1842 zunächst (und bis weit über seinen Tod hinaus) in der wissenschaftlichen Fachwelt erfuhr. Traurig hervorgetan hat sich dabei der Wiener Physik-Professor Joseph Petzval, in dessen wissenschaftliches Weltbild es offenbar überhaupt nicht hineinpasste, dass irgendein Effekt, irgendein Messergebnis vom Bewegungszustand des Beobachters abhängig sein sollte. Außerdem störte ihn die unglaubliche mathematische Einfachheit der Doppler´schen Formeln, denn er wollte alles aus gewichtigen Differentialgleichungen hergeleitet haben. Prof. Petzval leugnete sogar noch die Realität des Doppler-Effektes, als dieser auf akustischem Gebiet bereits bewiesen war! Der wissenschaftliche Wegbereiter des Doppler-Effektes schlechthin war Ernst Mach, der wenige Jahre nach Dopplers Tod den Kampf mit Joseph Petzval aufzunehmen wagte. Man kann ruhig sagen: Ohne Christian Doppler kein Ernst Mach. Zum tragischen Ende Christian Dopplers (das in dem leider ziemlich missglückten Doppler-Film melodramatisch ausgebreitet wurde) würde ich sagen, dass Dopplers frühes Ende durch die Lungenschwindsucht zwar vorprogrammiert war, durch die wissenschaftlichen Anfeindungen aus den Kreisen der Wiener Akademie der Wissenschaften (Schuster spricht vom "Wiener Weltgericht") psychosomatisch aber noch beschleunigt wurde.

Sehr interessant auch, wie Dr. Schuster ein eigenes Kapitel dem Jahr 1842 - dem "annus mirabilis" der Naturwissenschaften (in Anlehnung an Newtons Biographie) - widmet, in dem ja tatsächlich vier epochemachende naturwissenschaftliche Entdeckungen das Licht der wissenschaftlichen Welt erblickten. Eindrucksvoll auch die Nachgeschichte von Dopplers Entdeckung, aus der man etwa erfährt, dass es genau 50 Jahre dauerte, bis der optische Doppler-Effekt (ohne den es keine moderne Kosmologie gäbe) im Jahre 1892 im Spektrum eines Sternes zum ersten Mal nachgewiesen werden konnte. Im abschließenden Kapitel "Moderne Anwendungen des Doppler-Prinzips" kann das sich ständig noch erweiternde Anwendungsspektrum natürlich nur ansatzweise vor dem Leser ausgebreitet werden.

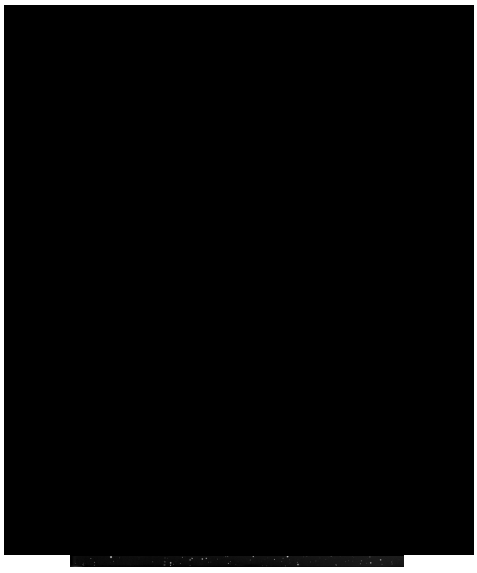
Mit seinem ausführlichen Anmerkungsteil und dem weiterführenden Literaturverzeichnis könnte ich mir Schusters Buch auch als ausgezeichnete Starthilfe für die Abfassung einer FBA vorstellen. Ohne chauvinistisch werden zu wollen, würde ich sagen, Schusters Buch ist ein absolutes Muss für jeden österreichischen Physik-Lehrer.

Manfred Wasmayr

Kosmische Impressionen. Gottes Spuren in den Naturgesetzen

Walter Thirring

Verlag Molden Wien 2004, 208 S., geb., ISBN 3-85485-110-3, € 24,80



Der französische Physiker Pierre-Simon Laplace soll auf die Frage Napoleons, dem er seine Theorie der Entstehung der Planeten darlegte, wo denn Gott sei in diesem Weltbild, geantwortet haben: "Diese Hypothese, Sire, benötigte ich nicht".

Das damit zusammenhängende Weltbild der klassischen Physik besagte, dass man nur die Anfangsbedingungen eines Systems kennen müsse, um die Zukunft eines Systems beliebig vorhersagen zu können. Für viele Naturwissenschaftler wurde dadurch Gott aus der Welt gedrängt -, zumindest ein täglich eingreifender Gott. Bei dem im 19. Jahrhundert vorherrschenden Bild des Universums, das einmal gestartet, quasi wie ein Uhrwerk, nach deterministischen Gesetzen abläuft, scheint ein Eingreifen von Gott nicht mehr notwendig zu sein. Allerdings erhebt sich die Frage, von wem die Naturgesetze stammen und wie die Anfangsbedingungen des Universums festgelegt wurden.

Im 20. Jahrhundert hat die Biologie im Wesentlichen das mechanistische Bild der Physik des 19. Jahrhunderts übernommen. Es wird versucht, alle biologischen Abläufe und selbst Gefühle und Emotionen auf chemische Ursachen zurückzuführen, durch deterministische, chemische Abläufe zu erklären. Ob dieses Programm voll durchgezogen werden kann, ist heute offen, jedoch erheben sich die Fragen, die wir oben gestellt haben: "Woher kommen die Gesetze, nach denen das Geschehen abläuft, und wie hat es begonnen?" Eine radikale Position zur Frage des Beginnens ist die, davon auszugehen, dass es gar keinen Beginn gegeben hat, sondern eine unendliche Abfolge in der Zeit. Diese Position, die von manchen Religionen vertreten wird, scheint im Widerspruch zur These des Urknalls zu stehen, als einer Singularität, bei der Zeit begann, und wo die Frage nach dem, was davor geschah, eine sinnlose ist.

Das Bild eines deterministischen Ablaufs hat jedoch im 20. Jahrhundert durch die Entdeckungen der Quantenphysik sein Ende gefunden. Das Messergebnis der Einzelmessung ist im Prinzip nicht vorhersagbar, und es lassen sich Kausalketten nur für statistische Ensembles angeben. Die damit zusammenhängende neue Rolle des Beobachters ist bis heute nicht in philosophisch zufriedenstellender Weise geklärt.

In der zum Teil recht unglücklichen Geschichte der Wechselwirkung von Wissenschaft und Religion haben beide Seiten immer wieder den Fehler gemacht, Positionen einzunehmen, die ihnen eigentlich nicht zustehen. Die Religion dort, wo sie, meist aus zu starkem Verhaftetsein in traditionellen Konzeptionen und in einer zu engen Auslegung religiöser Positionen Aussagen über die Beschaffenheit der Welt trifft, die aus naturwissenschaftlicher Sicht nicht haltbar sind. Und die Wissenschaft hat immer wieder die metaphysischen und weltanschaulichen Schlüsse aus ihren Entdeckungen und Konzepten überzogen und gelegentlich, verleitet von ihrem Erfolg, vermeint, zentrale religiöse Aussagen widerlegen zu können.

Bekannte Beispiele in der Geschichte dieser Missverständnisse sind einerseits Versuche auf naturwissenschaftlicher Basis sogenannte "Gottesbeweise" zu führen, und andererseits Behauptungen von Seiten der Naturwissenschaften die Existenz eines Gottes sei überflüssig. Beides sind in Wirklichkeit keine logisch schlüssigen Argumentationslinien sondern weltanschauliche Positionen, die bereits in ihrer Natur eine philosophische Vorentscheidung beinhalten, die allerdings selbst nicht beweisbar ist. Letztlich sind dies immer Entscheidungen, die der Einzelne für sich selbst treffen muss.

Walther Thirring steht mit seinem Buch in der großen Tradition derjenigen Denker, die in Religion und Wissenschaft vielmehr zwei Weltkonzepte sehen, die anstatt einander zu widersprechen, einander ganz wesentlich ergänzen können. Angesichts der großen ungelösten Fragen der Menschheit ist es sicherlich notwendig, auf alle geistigen Traditionen, die wir besitzen, in der ihnen jeweils adäquaten Weise zurückzugreifen, und nicht nur ein Nebeneinanderleben, sondern eine Symbiose und Synthese anzustreben.

Albert Einstein hat einmal formuliert: "Die Naturwissenschaft ohne Religion ist lahm, die Religion ohne Naturwissenschaft ist blind!"

Das vorliegende Buch wird sicher dazu beitragen, die notwendigen Brücken zu schlagen.

Anton Zeilinger

Unterricht Chemie: Band 2 - Wasser

2. überarbeitete Auflage

Peter Pfeifer - Gustav Pfeifer

Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln 2003, 100 S., 49 Abb., 5 Folien, ISBN 3-7614-2425-6, € 22,-

Der zweite Band der Reihe "Unterricht Chemie" wurde überarbeitet und auf den neuesten Stand gebracht.

Wie in den anderen Bänden ist der Inhalt folgendermaßen gegliedert: fachliche und didaktische Grundlagen, Sequenz von Unterrichtseinheiten zum Thema "Wasser" sowie ein Anhang mit Glossar, Literaturverzeichnis und einem ausklappbaren Faltblatt (R- und S-Sätze, Gefahrenstoffkennzeichnungen, Sicherheit und Entsorgung). In einer Klarsichttasche des Einbands befinden sich noch 3 Overheadfolien - "Struktur des Wassermoleküls und Wasserstoffbrückenbindung", "Thematische Schwerpunkte Wasser" und "Wasserfakten im Überblick".

Vom unterrichtspraktischen Teil sind die im Band enthaltenen 19 Folienvorlagen und die 23 Arbeitsblättervorlagen hervorzuheben.

Zum Inhalt:

Im Fundamentum werden die Themen der Unterschied zwischen "reinem Wasser" und Wasser als Reinstoff, Trinkwassertypen, Inhaltsstoffe des Wassers, Wasserkreislauf und Trinkwasser sowie belastetes Wasser - Selbstreinigung behandelt. Auch auf die Bedeutung der Abwasserreinigung in der Kläranlage wird genauer eingegangen.

Im Addendum 1 geht es um Wasserhärte und Sickerwässer in Mülldeponien. Es folgt ein Exkurs zu dem Thema Schülerübungen zur Wasseruntersuchung.

Addendum 2 hat die folgenden Themen zum Inhalt: "Salzfreies Wasser durch Ionenaustausch", "Verfahren zur Bestimmung der Wasserhärte", "Iodometrische Sauerstoffbestimmung nach Winkler" und "Säurebelastung des Regens".

Bei der Überarbeitung wurden unter anderem die folgenden Zahlenwerte aktualisiert: Wassernutzung in Deutschland, Durchschnittlicher täglicher Wasserverbrauch pro Einwohner, Folienmaterial.

Werner Rentzsch