PLUS LUCIS 3/93

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

Lehrplandiskussion
Physikalische Aufgaben
Elektronik
Voyager-Bilder auf CD-Rom
Solar-Wasserstoff
Wettererfassung durch TAWES
Rauchringe
Freihandexperimente
Aufgabenecke
Ernst Mach

Physik
Chemie

Impressum

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

Erscheint viermal jährlich.

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

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

Preis des Einzelhefts: S 25,-, für Mitglieder S 15,- (ist im Mitgliedsbeitrag enthalten). Die jährliche Abonnementgebühr für Nichtmitglieder beträgt S 100,-

Offenlegung nach § 25 des Mediengesetzes:

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

Beiträge werden erbeten an:

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

HOL W. Haslauer, Wienerstr. 21, 3250 Wieselburg

Dipl.-Ing. W. Kostjak, Danningerweg 6, 1210 Wien

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

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

Inhalt

Vorwort 1

Lehrpläne

Einige Anmerkungen zum Lehrplanentwurf für Physik 2. Klasse 2

Für die Praxis

Physikalische Aufgaben - nicht nur Rechnereien! Teil II 3

Gedanken zur Effizienz des Physikunterrichts am Beispiel Elektronik 8

Das Planetary Data System (PDS) - VOYAGER to the Outer Planets 11

Fortbildungswoche 1993

Die Solar-Wasserstoffanlage in Neunburg vorm Wald 14

Projekt TAWES - Teilautomatisches Wettererfassungssystem der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik 19

Freihandexperimente zu Rauchringen 22

Freihandexperimente

Schon versucht? Wir Wunderheiler 25

Brausepulver 26

Aufgabenecke 26

Wissenschaft auf Briefmarken

Ernst Mach 27

Aktuelles

11. Treffen des Arbeitskreises "Computer im Physikunterricht" Persönliche Eindrücke eines Teilnehmers 30

Aktive Lehrer während der Sommerferien 31

Bücherecke 32

Die Abbildung auf dem Titelblatt stellt den „Großen Roten Fleck" in der Jupiteratmosphäre dar. Die Aufnahme ist aus zwölf Einzelbildern zusammengesetzt, die von der Raumsonde Voyager 1 aus 1,8 Mio. km Entfernung aufgenommen wurden. (Siehe auch Seite 11)

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

Vorwort

Hat die Schule die Rolle des Ungeheuers von Loch Ness übernommen? Nessie wurde in den Zeitungen des vergangenen Sommers nicht gesichtet, doch die Schule war das Sommerthema. Mit "Wurzelziehen - nein, danke" begann es im *Standard*, der *Spiegel* widmete sich den Problemen der Lehrer, die *Zeit* forderte: "Gebt der Schule endlich schulfrei".

Eine wichtige, von der Politik in die Schule getragene Entwicklung ist die Schulautonomie. Wie ist der Umgang mit ihr zu lernen, so daß die Qualität der Schule nicht ab-, sondern zunimmt? Wie lassen sich die neuen Chancen ausloten? Besonders der naturwissenschaftliche Unterricht steht in dieser Situation vor einer schwierigen Aufgabe. Die Ziele des naturwissenschaftlichen Unterrichts sind in Hinblick auf die Probleme der Zukunft neu zu überdenken und nicht nur im Konferenzzimmer, sondern auch in der Öffentlichkeit klar darzustellen und mit Bestimmtheit zu vertreten.

Wie wird international die Bedeutung des naturwissenschaftlichen Unterrichts gesehen?

Im Juli 1993 fand am Sitz der UNESCO in Paris die Tagung *Project 2000+, International Forum on Scientific and Technological Literacy for All* statt. Mitveranstalter war ICASE (*International Council of Associations of Science Educators*), ein Dachverband von Vereinigungen naturwissenschaftlicher Lehrer. 400 Teilnehmer aus 80 Ländern diskutierten die Notwendigkeit einer breiten technisch-naturwissenschaftlichen Grundbildung und Möglichkeiten, diese zu fördern. Der Blick war dabei besonders auf die durch die rasch anwachsende Weltbevölkerung bedingten Probleme gerichtet. Diese Probleme können nur durch Anwendung einer den jeweiligen sozialen und ökonomischen Gegebenheiten angepaßten Technik gelindert werden. Dazu ist allerdings eine Grundbildung für alle notwendig - nicht nur in den Entwicklungsländern. In einem eindringlichen Appell "Wettlauf zwischen Schule und Krippe" erinnerte der Meeresforscher J. Cousteau daran, daß weltweit 100 Millionen Kinder keine Schulbildung erhalten, weil sie durch ihre Arbeit - vom Wasserholen aus großer Entfernung bis zur Fabriksarbeit - zum Überleben ihrer Familien beitragen. Wie soll unter diesen Umständen Familienplanung, wie soll verantwortlicher Umgang mit Ressourcen gelernt werden? Cousteau zeigte auf, daß 50% der Militärbudgets ausreichen würden, um allen Menschen das Existenzminimum zu sichern.

Die Tagung befaßte sich zunächst in Arbeitsgruppen mit sechs großen Themenbereichen:

1) *Was ist und was soll naturwissenschaftlich-technische Grundbildung?* (Zunehmender Einfluß von Naturwissenschaft und Technik auf den Einzelnen und die Gesellschaft, Entscheidungskompetenz von Politikern, Managern und Bürgern, Qualifikation für das Arbeitsleben.)

2) *Lebenslanges Lernen* (in und außerhalb der Schule).

3) *Lehr- und Lernumfeld* (Rolle von Lehrer, Schüler, Lehrplänen, Lernorten außerhalb der Schule.)

4) *Lehrer als Schlüssel zur technisch-naturwiss. Grundbildung* (notwendiges Hintergrundwissen, Wissen um Lehr- und Lernprozesse, um Kommunikation. Gesellschaftliche Anerkennung der Rolle des Lehrers)

5) *Leistungsfeststellung und Evaluation:* Die traditionelle Leistungsfeststellung stützt sich stark auf die Reproduktion von Wissen. Wie können anwendbares Wissen und Kreativität beurteilt werden?

6) *Außerschulisches Lernen.*

Einhellig wurde die Ansicht vertreten, daß die Bewältigung der in allen Ländern beobachtbaren Krise des naturwissenschaftlichen Unterrichts neue Unterrichtsformen und eine neue Lehrerfunktion erfordert. Dem bisherigen Bild des Lehrers als des Überträgers des Wissens wird der Lehrer als Helfer für den Erkenntnisgewinn der Lernenden gegenübergestellt. Als philosophische Leitlinie dient der Konstruktivismus. Einerseits wird dem Schüler mehr Verantwortung für sein Lernen übertragen, andererseits funktioniert dies nur dann, wenn das Lernen als relevant empfunden wird.

In einer Deklaration fordern die Teilnehmer:
kritische Prüfung, wie weit naturwiss.-technische Grundbildung (auch in Hinblick auf die Bedürfnisse des Einzelnen und der Gesellschaft) realisiert wird; Priorität für Programmme, die verantwortliche und nachhaltige Entwicklung unterstützen; gleichen Zugang für alle, bes. für Frauen und Mädchen; Verstärkung von Forschung, Entwicklung und Evaluation von naturwiss.-technischem Lernen; internationale Zusammenarbeit...

Von Worten zu Taten! Der zweite Teil der Tagung sollte der Anbahnung internationaler Kontakte dienen. Doch wie könnte ohne den Finanzminister eine internationale Kooperation gegründet werden? In Mitteleuropa gibt es zwei von der UNESCO unterstützte Projekte, an denen Schulen grenzüberschreitend teilnehmen: "Blue Danube" und "Radioaktivität nach Tschernobyl". Nur am ersten ist unser Land beteiligt.

Was sollte in Österreich getan werden?

Die von einigen höchst engagierten Lehrern initiierten und durchgeführten Schulversuche mit naturwissenschaftlichem Schwerpunkt sollten in Hinblick auf Methodik, Inhalt und langfristigen Lernertrag untersucht und dokumentiert werden. Es wäre zu prüfen, was in den Regelunterricht auch der stundenmäßig weniger dotierten Schularten übernommen werden kann. Die Schulautonomie sollte flexibel genug sein, um solche Schwerpunktsetzungen fortführen zu können.

Was bringt dieses Heft? Eine erste Reaktion auf den Lehrplanentwurf und schwerpunktsmäßig Vorträge der Fortbildungswoche 93.
Schreiben Sie uns Ihre Wünsche, Vorschläge und Angebote zur Gestaltung der Fortbildungswoche 1994 bald, damit sie berücksichtigt werden können.

Ihr Helmut Kühnelt

Einige Anmerkungen zum Lehrplanentwurf für Physik 2. Klasse

Gerhard Rath

Der Entwurf scheint mir auf jeden Fall ein Fortschritt gegenüber dem bisherigen Lehrplan zu sein. Die Gliederung in nur 5 Themenbereiche schafft Übersichtlichkeit, gut gefallen mir auch die didaktischen Grundsätze.

Nur mit der Formulierung von Lernzielen ist die Lehrplangruppe offenbar nicht so ganz zurechtgekommen.

1) Es fehlen Hierarchien wie im Lehrplan der Oberstufe (Allgemeine Bildungsziele - Ziele des Faches Physik - Ziele der Fachbereiche).

2) Die angeführten Lernziele sind eigentlich wieder Lerninhalte, da die *Handlungsdimension* vernachlässigt wurde.

Dazu zwei Vorschläge:

a) Im Buch von K. Haspas: *Methodik des Physikunterrichts* (Berlin 1974) findet sich eine Fülle von möglichem *Schülerverhalten* - und man könnte ja durchaus bei der Erstellung von Lernzielen einmal von dieser Seite her überlegen: Was können, was sollen Schüler im Physikunterricht eigentlich *tun* (außer "Erkennen" und "Verstehen")?

Zum Beispiel:

Beobachten von Vorgängen
Beschreiben von Sachverhalten
Berichten über Erfahrungen
Vermuten von begründeten Beziehungen
Analysieren von Beobachtungsergebnissen
Aufsuchen von Gemeinsamem und Unterscheidendem
Einordnen, Unterordnen von verwandten Begriffen
Formulieren eines Problems
Aufstellen einer Hypothese
Planen eines Untersuchungsverfahrens
Aufbauen, Durchführen, Auswerten, ...
Erfassen des Wesentlichen aus Texten, u.a.m.

b) Ein Lehrplan muß natürlich ein System von Inhalten vorlegen. Gerade in den Lernzielen könnte man sich aber abseits der wesentlichen Konzepte an den *Prozessen* orientieren, die in der Naturwissenschaft wichtig sind (im englischen Sprachraum gibt es Curricula, die sich mit dem Aufbau der zentralen "processes" beschäftigen, die Inhalte kommen erst in zweiter Linie). Ein Beispiel, getrennt in eine qualitativere und eine quantitativere Seite:

Ganzheitliches, Qualitatives Vorgehen

Beobachten
Vermutungen aufstellen
Global abstrahieren (wichtig/unwichtig)
Qualitative Versuche ausdenken
Probieren, Spielen, Vergleichen mit der Vermutung
Ergebnisse mitteilen
Je-Desto-Beziehungen aufstellen
Weiterführende Probleme lösen
Zusammenhänge bilden

Trennendes, Quantitatives Vorgehen

Klassifizieren
Hypothesen formulieren
Variable isolieren und meßbar definieren
Meßversuche planen
Versuch durchführen: Variable kontrollieren, messen
Daten erfassen: Protokolle, Diagramme
Quantitative Beziehungen formulieren
Anwendungsbeispiele rechnen
In eine Theorie einordnen

(Diese Aufstellung stammt aus meiner Dissertation: *Astronomie im Physikunterricht - fünf praktische Unterrichtsbeispiele und eine theoretische Methodendiskussion*)

Ich wünsche der Lehrplangruppe weiterhin gutes Gelingen ihrer Arbeit!

Mag. Dr. Gerhard Rath
Aframerstraße 3, 8410 Wildon

Physikalische Aufgaben - nicht nur Rechnereien! Teil II

Karl Luchner

Der Nachdruck des ursprünglich in *Physik und Didaktik* 1/93 erschienenen Artikels erfolgt mit freundlicher Genehmigung des BSV. Teil I erschien in PLUS LUCIS 2/93.

Beispiele:

a) Eine Schallquelle, die einen Ton der Frequenz 1 kHz emittiert, bewegt sich mit der Geschwindigkeit 0,7 c (c = Schallgeschwindigkeit) auf einen Empfänger zu. Der Empfänger hört einen Ton der Frequenz

- 0,30 kHz
- 1,30 kHz
- 1,70 kHz
- 0,59 kHz
- 3,33 kHz

Dem "Kenner" (der das Bild der ineinanderlaufenden Kreiswellen vor sich sieht) ist sofort klar, welche Antwort die richtige sein muß: Schon bei 0,5 c wäre die Empfängerfrequenz genau 2,0 Hz; bei 0,7 c muß sie noch höher sein! Natürlich findet auch der nüchterne Formelanwender die richtige Antwort, braucht aber länger und läuft Gefahr, sich in den verschiedenen Fällen der Relativbewegung zu verheddern.

b) In einem Haushalt sind vier elektrische Geräte gleichzeitig eingeschaltet: Zwei Glühbirnen (je 450 Ω), eine Kochplatte (50 Ω) und ein Kleingerät 2.000 Ω). Welchen Gesamtwiderstand bilden diese vier parallel geschalteten Widerstände?

- 2.950 Ω
- 2.500 Ω
- 40 Ω
- 50 Ω

c) Betrachte die folgende Skizze (Abb. 1):

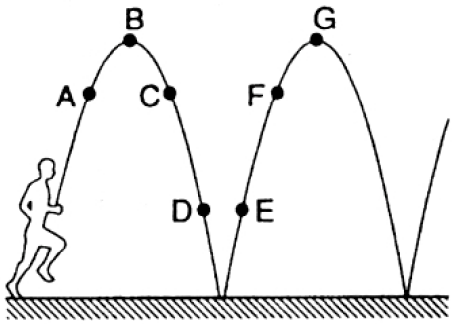


Abb. 1: Idealisierte Wurfbahn eines springenden Balles.

Sie zeigt die Bahn eines schräg nach oben geworfenen Balles, der nach dem Auftreffen auf den Boden wieder hochspringt, usw. (Die Bahn besteht aus aufeinanderfolgenden gleichen Parabelbögen); der Luftwiderstand soll bei der folgenden Betrachtung keine Rolle spielen. Auf der Bahn sind verschiedene Stellen gekennzeichnet (A bis G): Zu einem bestimmten Zeitpunkt befindet sich der Ball an der Stelle A, zu einem späteren Zeitpunkt an der Stelle B, usw. Welche Kraft wirkt auf den Ball, wenn er sich in A, in B, in C, usw. befindet?

Prof. Dr. Karl Luchner, Lehrstuhl für Didaktik der Physik, Universität München

Verschiedene Möglichkeiten zur Fragestellung:

Entweder: Geben Sie Ihre Antwort mit Worten!

Oder: Geben Sie Ihre Antwort, indem Sie Kraftpfeile (Größe und Richtung!) in die Skizze eintragen!

Oder: Multiple Choice:

- In keinem der Punkte wirkt eine Kraft, weil der Ball die Hand schon verlassen hat.
- Die in jedem Punkt wirkende Kraft zeigt in Richtung der Bahn (also: schräg nach oben, dann horizontal, dann schräg nach unten, usw.).
- Die Kraft in jedem Punkt wirkt in horizontaler Richtung (nach rechts).
- Die Kraft in jedem Punkt wirkt in vertikaler Richtung nach unten.
- Die Kraft wirkt in vertikaler Richtung abwechselnd nach oben (A, E, F) und nach und nach unten (C, D).
- Die von der Hand schräg nach oben ausgeübte Kraft wirkt, solange der Ball sich bewegt, also in jedem Punkt schräg nach oben.
- Die Kraft in jedem Punkt wirkt senkrecht zur Bahn (in Bewegungsrichtung gesehen nach rechts).

Wenn Sie vielleicht auch meinen, daß hier nur richtige Antworten kommen können: Sie werden sich wundern. Wichtiger aber ist folgende Einsicht: Aufgaben dienen nicht nur dazu, etwas einzuüben, sondern sie können dem Lehrer auch zeigen, welche Fehlvorstellungen beim Schüler vorliegen; suchen Sie auch die in a) und b) sich möglicherweise aufweisenden Fehlvorstellungen!

Gerade das Beispiel c) (es ist ein Standardfall der didaktischen Forschung und in der Literatur oft beschrieben) wird Ihnen zeigen, daß die aristotelische Vorstellung vom Zusammenhang von Kraft und Geschwindigkeit immer wieder vorkommt. Eine Strategie zur Behandlung von Fehlvorstellungen scheint zu sein: Zunächst die Fehlvorstellung aufzudecken (z.B. eine solche Aufgabe oder ein entsprechendes Unterrichtsgespräch vor der eigentlichen Stoffbearbeitung bringen), diese als solche bewußt zu machen und dann zu überführen in die richtige Aussage. Ein Unterricht ohne Rücksichtnahme auf das gegebene Vorwissen des Schülers ("Präkonzepte", die "Mißkonzepte" sein können) ist weniger erfolgreich als das bewußte Aufgreifen eines Präkonzepts und die entsprechende Weiterführung.

Eine andere Möglichkeit zur Pflege der Intuition besteht darin, an anspruchsvollere Erklärungsmuster anzuknüpfen und den Schüler zu einer Fortsetzung anzuregen. So ist z.B. ein bekannter Inhalt des Physikunterrichts das Hebelgesetz. Es wird üblicherweise experimentell erarbeitet und dann Anwendungen davon besprochen. Leider wird dabei kaum die Frage gestellt, "warum ist das Hebelgesetz so und nicht anders?" Sehr oft im Physikunterricht kann die Frage nach dem Warum nicht beantwortet werden, und darum ist es besonders schade, wenn man die wenigen Möglichkeiten dazu nicht ergreift. Das Hebelgesetz bietet eine solche Möglichkeit; man kann sehr wohl verständlich machen, warum es gerade diese Form hat: Schon Herr Archimedes hat hier seine Intuition spielen lassen (ein noch berühmteres Beispiel seiner Intuition bezieht sich auf die Königskrone). Anhand Abb. 2 ist dargestellt, wie sich Archimedes das Hebelgesetz plausibel gemacht hat. Und damit bietet sich eine ideale Abrundung zur Thematik Hebelgesetz: Zuerst die experimentelle Erarbeitung, dann Anwendungen aufzeigen (und auch von den Schülern beibringen lassen), dann, gewissermaßen als Erklärung, den Gedankengang Archimedes' erläutern und schließlich (Hausaufgabe!) diesen Gedankengang wiederholen lassen, wobei dieser aber so zu variieren ist, daß nicht (wie in Abb. 2) das Verhältnis der Hebelarme von 1:2 herauskommt, sondern 1:3 oder 1:5. Man erreicht dies leicht, wenn man den Archimedischen Gedankengang verstanden hat: Physikalische Überlegungen und Pflege der Intuition ohne Rechnerei! Eine komplette Antwort könnte aussehen wie die in Abb. 2 dargestellte Sequenz, eben nur mit einem anderen rechts anzubringenden Hebel; auch eine verbalisierende Antwort wäre förderlich.

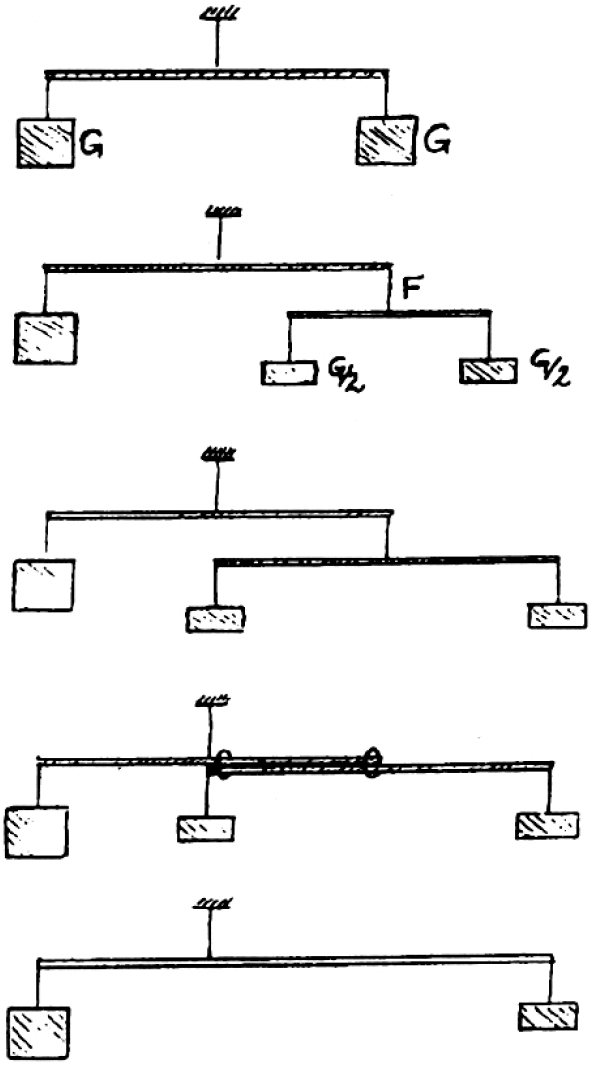


Abb. 2: Archimedes' Gedankengang zur Erklärung des Hebelgesetzes. Die im oberen Teilbild dargestellte Situation ist der Ausgangspunkt, gewissermaßen das Axiom für "Gleichgewicht". Die darauffolgenden darunter dargestellten Situationen sind nur hinsichtlich der Anordung der Gewichte verändert, wobei aber offensichtlich immer das vorherige Gleichgewicht erhalten bleibt. Das genau unterhalb der Aufhängung positionierte Gewicht kann für die Hebelbetrachtung weggelassen werden, denn es hängt am Hebelarm Null und wird von der Aufhängung unmittelbar getragen. Ergebnis (unterstes Bild). Gleichgewicht beim Verhältnis der Hebelarme 1:2; dabei ist das Verhältnis der Gewichte 2:1.

3. Kreativ nachdenken, auch eine Aufgabe

Auch hier zeigt sich, daß Physik nicht primär das Anwenden von Formeln ist. Allerdings ist kreatives Nachdenken oft zunächst mit vorläufigen Betrachtungen, qualitativen Abschätzungen, Erkennen von Tendenzen u.a. verknüpft, alles Aspekte, die durch konkret gestellte Rechenaufgaben meist schon übersprungen werden. Es ist nicht trivial, Aufgaben zu stellen, die einerseits genügend konkret und nicht allzu schwer, andererseits aber genügend offen sind für kreatives Nachdenken. Man wird dabei zweckmäßigerweise natürlich auch hier an einen vorher im Unterricht bearbeiteten Sachverhalt anknüpfen.

Beispiel 1: Im Unterricht ist das Wechselspiel zwischen potentieller und kinetischer Energie bearbeitet worden, z.B. auch am Fadenpendel.

Aufgabe: "Ein Fadenpendel der Länge l ist ausgelenkt (Höhe h über dem tiefsten Punkt) und wird losgelassen. Schätzen Sie ab, nach welcher Zeitspanne es zum Ausgangspunkt zurückkehrt (machen Sie dabei die Annahme, daß die mittlere Geschwindigkeit des Pendels etwa 2/3 der Maximalgeschwindigkeit ist)." In dieser Form ist die Aufgabe sehr schwer. Ein Ausweg bei zu schweren Aufgaben ist meistens, die Aufgabe in kleinere Teilschritte zu zerlegen, wobei zusätzlich gezielte Hilfsaussagen gemacht werden können.

Die Aufgabe könnte dann lauten:

Ein Fadenpendel der Länge l ist ausgelenkt (Höhe h über dem tiefsten Punkt) und wird losgelassen.

a) Wie groß ist die Maximalgeschwindigkeit v_{max} (im tiefsten Punkt)?

b) Welche Wegstrecke L durchläuft der Pendelkörper während einer Schwingung? Berechnen Sie nicht die Länge des Kreisbogens, sondern - näherungsweise - (unter Anwendung des Satzes von Pythagoras) die Länge der Sehne zwischen beiden Umkehrpunkten! (Näherung: $h^2 << 2\,l\,h$)

c) Nehmen Sie an, daß die mittlere Geschwindigkeit des Pendelkörpers $2\,v_{max}/3$ ist (der genaue Wert ist $2\,v_{max}/$

π) und berechnen Sie damit den Zeitbedarf für eine Schwingung T.

d) Wie hängt T ab von der Anfangshöhe h? Erklären Sie dieses Ergebnis!

Lösung:

a) $v_{max} = \sqrt{2gh}$

b) $l^2 = x^2 + (l-h)^2; \quad x \approx \sqrt{2lh}$

$L \approx 4x; \qquad L \approx 4\sqrt{2lh}$

c) $$T = \frac{L}{\frac{2}{3}v_{max}} \approx \frac{4\sqrt{2lh}}{\frac{2}{3}\sqrt{2gh}} = 6\sqrt{\frac{l}{g}}$$

d) h geht in dieser Näherung nicht ins Ergebnis T ein, denn es bestimmt v_{max} und L in gleicher Weise, fällt also im Quotienten für T weg.

Dieses Beispiel ist als Schüleraufgabe wohl immer noch zu schwer. Wenn Ihnen aber der Inhalt attraktiv erscheint: Sie können diese Aufgabe ja auch im Unterricht behandeln und als Schüleraufgabe dazu die analoge Betrachtung am Federpendel durchführen lassen (was leichter ist, weil die Näherung Kreisbogen → Sehne nicht vorkommt).

Beispiel 2: Kreativ nachdenken kann man auch, ohne zu rechnen: Betrachten Sie die in Abb. 3 dargestellte Situation: Körper A kann die Strecke L im freien Fall zurücklegen, Körper B ist an einem Faden der Länge L befestigt und als Fadenpendel um 90° ausgelenkt. Beide werden gleichzeitig losgelassen: Kommen beide gleichzeitig unten an, oder kommt einer von beiden (welcher?) früher an?

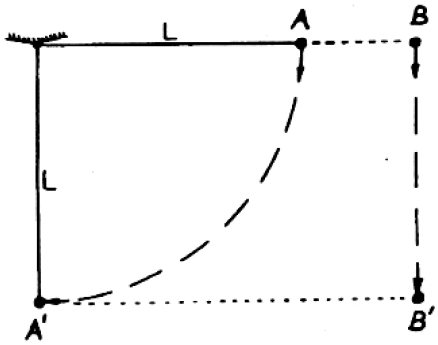


Abb. 3: Ein Gedankenversuch: Körper A (Pendel) und Körper B werden gleichzeitig losgelassen. Wie vergleicht sich deren Zeitbedarf zum Erreichen des tiefsten Punktes (A' bzw. B') qualitativ?

Die Reaktion auf diese Aufgabe (besonders von fortgeschrittenen Studenten) ist oft: "Wenn man das ausrechnen will, braucht man die Formel für die Schwingungsdauer des Pendels bei großer Auslenkung...". Aber man soll eben nicht rechnen, sondern einfach physikalisch nachdenken! Man sieht rasch, daß beide Körper in gleicher Höhe die gleiche Bahngeschwindigkeit haben (die Fadenkraft steht senkrecht zur Bahn, erbringt also keine Arbeit), daß aber die Wegelemente beim Pendel größer sind, also wird das Pendel zurückbleiben (es gibt noch andere Erklärungen, z.B. den Vergleich der Kraftkomponenten und der Beschleunigungskomponenten).

Beispiel 3: Auch dieses soll zeigen, daß physikalisch nachzudenken eine erstrebenswerte und erkennbare Leistung ist, auch wenn dabei nur qualitativ, also ohne Rechnereien argumentiert wird. Vielleicht kommen Sie einmal in die Zwangslage, einem neugierigen Schüler das sogenannte "swingby", also die Beeinflussung der Bahn einer Raumsonde durch Annäherung an einen Planeten, genauer erklären zu müssen, vielleicht sehen Sie darin auch ein ungewohntes, aber attraktives Beispiel für das erste Keplersche Gesetz (Kegelschnitte). Eine einfache, aber korrekte qualitative Beschreibung des "swingby" finden Sie in Abb. 4. Stellen Sie sich vor, eine unterrichtliche Behandlung nach diesem Muster vorgenommen zu haben. Die mögliche Aufgabe für den Schüler: Überlegen (nicht rechnen, das Ergebnis der Überlegung verbal formulieren!), wie sich die Bahn der Sonde ändert, wenn der asymptotische Abstand a (Stoßparameter!) größer oder kleiner wird und wie sich dabei die Relativgeschwindigkeit auswirkt. Wer vorher die Erklärung verstanden hat, wird die Antwort (vielleicht mühsam, aber auch das Verbalisieren will geübt sein) geben können.

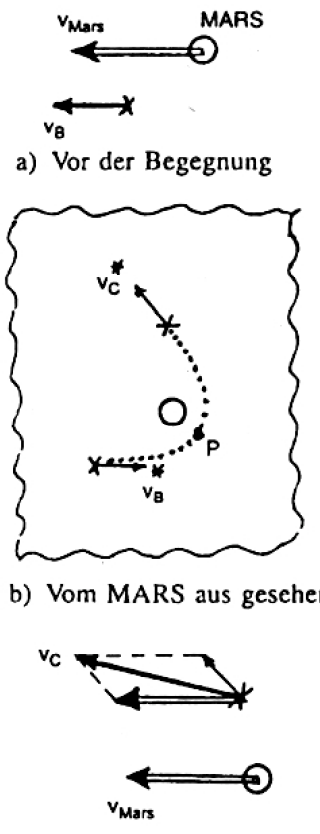


Abb. 4: Erklärung des "Swingby-Verfahrens". Eine Raumsonde (im Bild durch Kreuz dargestellt) kommt - z.B. auf einer Hohmann-Bahn - nahe an einen Planeten (hier Mars) heran und soll durch diese Begegnung einen Energiegewinn und eine Richtungsänderung erfahren.

a) Geschwindigkeitsangaben bezüglich eines in der Sonne ruhenden Koordinatensystems: Vor der Begegnung ist die Bahngeschwindigkeit v_B der Sonde geringer als die des Planeten (Folge der Hohmann-Bahn); die Bahn der Sonde ist aber ein wenig nach innen (zur Sonne hin) versetzt.

b) Wechsel des Bezugssystems: Geschwindigkeit der Sonde, vom Mars aus gesehen, ist $v_B^* = v_B - v_{Mars}$!Die Sonde nähert sich dem Mars, wird mehr und mehr angezogen und abgelenkt (Kegelschnitt, hier Hyperbel, da die Sonde genügend Anfangsenergie hat). In großer Entfernung vom Mars ist die Geschwindigkeit v_C^*, (Wenn man annimmt, daß Mars in b) während der ganzen Begegnung ruht, was wegen der großen Masse in guter Näherung erfüllt ist, dann ist $|v_C^*| = |v_B^*|$.) Die Sonde verhält sich wie eine Kugel, die von oben in eine Mulde hineinrollt, beim Abwärtsrollen schneller wird, beim Aufwärtsrollen wieder langsamer wird und so aus der Mulde mit der kinetischen Energie vom Anfang wieder herauskommt, aber mit einer anderen Bewegungsrichtung.

c) Wieder im Koordinatensystem von a). Die Geschwindigkeit der Sonde ist $v_C = v_C^* + v_{Mars}$. Vergleichen Sie nun v_B (vorher) und v_C (nachher). Wie ändert sich das Ergebnis der Bildsequenz, wenn der Stoßparameter (Abstand der parallel versetzten Bahnen) in a) verändert wird?

4. Daten auswerten

Wenn aus einem im Unterrichtsverlauf vorgenommenen Experiment Meßdaten hervorgehen, die natürlich ausgewertet werden müssen, so braucht dies nicht unbedingt vollständig im Unterricht durchgeführt zu werden; die Datenauswertung kann auch - nach einem im Unterricht erarbeiteten Muster - im Rahmen einer Hausaufgabe zu vervollständigen sein.

Stehen z.B. die optische Abbildung und ihre Gesetzmäßigkeiten im Blickfeld einer Unterrichtsstunde, so wird man mit einer Linse gegebener Brennweite verschiedene Möglichkeiten zur Abbildung eines Gegenstandes (Größe G) aufsuchen und dabei eine Meßtabelle von zusammengehörigen Größen g (Gegenstandsentfernung), b (Bildentfernung), B (Bildgröße) aufstellen. Man kann in dieser Tabelle eine Spalte für den Wert B/G und eine Spalte für den Wert b/g anlegen und als Hausaufgabe stellen, diese Spalten entsprechend den Meßwerten auszufüllen und eine Aussage daraus zu formulieren. Man kann auch je eine Spalte mit (g - f), mit (b - f) und mit (g - f)(b - f) anlegen. Die ebenfalls im Rahmen einer Hausaufgabe zu verifizierende Beziehung $(g - f)(b - f) = f^2$ kann, z.B. evtl. in der nächsten Stunde durch den Lehrer, mit Hilfe der bekannten Konstruktionsstrahlen und den dabei vorkommenden ähnlichen Dreiecken erklärt werden, mindestens daraus aber die Abbildungsformel $1/g + 1/b = 1/f$ ersehen werden.

Ein anderes Beispiel für "Datenauswertung im Rahmen einer Hausaufgabe" ist die Auswertung von stroboskopischen Aufnahmen (z.B. wird im Unterricht eine stroboskopische Aufnahme einer halben Pendelschwingung hergestellt, diese vervielfältigt und begonnen, daraus ein Weg-Zeit-Diagramm anzufertigen, das im Rahmen einer Hausaufgabe fertigzustellen ist). Ein anderes Beispiel hierzu ist eine stroboskopische Aufnahme eines inelastischen Stoßes zweier Massestücke auf der Fahrbahn (siehe Abb. 5), woraus das dazugehörige Weg-Zeit-Diagramm (mit der Möglichkeit auch nach dem Verhältnis der Massen zu fragen) zu erstellen ist. (Deutlich schwieriger wird die Auswertung, wenn es sich um einen elastischen Stoß handelt.)

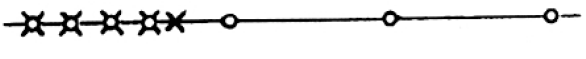


Abb. 5: Stroboskopische Aufnahme eines inelastischen Stoßes auf der Fahrbahn (schematisch). Einer der Körper (zunächst ruhend) ist durch Kreuze gekennzeichnet, der andere (von rechts hereinkommend) durch Kreise. Auswertung: Massenverhältnis feststellen, oder (nach Angabe von Längen- und Zeitmaßstab) Weg-Zeit-Diagramm zeichnen.

Zugleich sei die Beantwortung bzw. Auswertung dieser Aufnahme gegeben:

1. Es handelt sich um einen inelastischen Stoß, denn der von rechts hereinkommende Körper A (durch kleine Kreise dargestellt) bewegt sich später zusammen mit dem anderen Körper B (durch kleine Kreuze dargestellt).

2. An Körper A wird eine Numerierung der aufeinanderfolgenden Lichtblitze angebracht (0, 1, 2 . . .) und die ganze Aufnahme an die Weg-Achse des zu erstellenden Weg-Zeit-Diagramms angelegt (siehe Abb. 6). Nun wird das Weg-Zeit-Diagramm von Körper A hergestellt. Dabei hat man auch schon einen Teil des Weg-Zeit-Diagramms von Körper B, und man findet den Zeitpunkt des Stoßes (Knickpunkt).

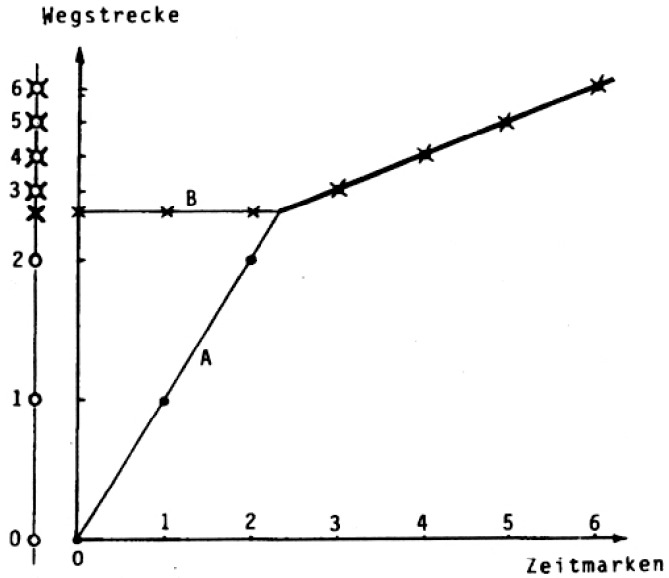


Abb. 6

3. Interpretiert man den nicht mit Numerierung versehenen Bildpunkt von Körper B als "ruhender Körper, der von mehreren Lichtblitzen getroffen wurde", so sind diesem die Zeitmarken 0, 1, 2 zuzuordnen. Überträgt man diese Aussage ins Weg-Zeit-Diagramm (horizontale Gerade), so wird damit der oben gefundene Zeitpunkt des Stoßes bestätigt.

4. Bestimmung des Massenverhältnisses:

$$m_A v_1 = (m_A + m_B)\, v_2$$

$$\frac{m_A + m_B}{m_A} = \frac{v_1}{v_2}; \qquad \frac{m_B}{m_A} = \frac{v_1}{v_2} - 1$$

Dieser Massenvergleich funktioniert für beliebige Zeit- und Längeneinheiten; hier ergibt sich 3:1.

5. Offene Aufgaben

"Physik machen" oder "ein physikalisches Problem bearbeiten" wird üblicherweise und mit Berechtigung als der Standardfall von Physikunterricht betrachtet und die Hausaufgabe als das Anhängsel daran. Man sollte aber nicht vergessen, daß zum "Physik machen" vorher ein wichtiger Schritt erforderlich ist, die Problemstellung. Gerade auch die Problemstellung ist physiktypisch, denn um ein Problem zu erkennen, um eine unbeantwortete Frage zu sehen, um "etwas Bestimmtes wissen zu wollen", braucht man sicher einen gewissen physikalischen Spürsinn; man ahnt, daß es etwas gibt, was man untersuchen könnte und konkretisiert diese Ahnung auf eine bestimmte Frage hin. Es erscheint also sinnvoll, dem Schüler nicht nur im Verlauf des Unterrichts, sondern gelegentlich auch als Hausaufgabe, eine offene

Frage zu stellen, die bewirken soll, daß er selbständig zu konkreteren Vorstellungen über weitere durchzuführende Schritte kommt.

Beispiele:

- Welche Daten braucht man, um einen Ballonaufstieg physikalisch beschreiben zu können?
- Beschleunigung im Straßenverkehr: Welche Beobachtungen könnte man dazu machen?
- Der Verbrauch elektrischer Leistung verschiedener Geräte im Haushalt: Wie könnte man den Leistungsverbrauch direkt beobachten?
- Wie könnte man die Entfernung des Mondes abschätzen?
- Wie könnte man den Wirkungsgrad eines Automotors abschätzen?

Natürlich muß sich der Lehrer darüber klar sein, daß es zeitlich sehr aufwendig ist, sich mit den Antworten oder Vorstellungen der Schüler auseinanderzusetzen. Man sollte aber - natürlich wohldosiert - sich manchmal die Zeit nehmen, denn es lohnt sich, die damit verbundene Anregung zum Gespräch, zur Meinungsäußerung, zum eigenen Nachdenken des Schülers wahrzunehmen. Projektstudien sind die natürliche Fortsetzung dieser Absicht.

6. Schlußbemerkung

Sie sehen natürlich, daß "Aufgaben stellen" schwerer ist, als "fertige Aufgaben passend heraussuchen". Wenn Sie auch oft nicht selbst die Zeit oder die Ideen haben, eigene Aufgaben, passend zu Ihrer Unterrichtsabsicht zu erfinden, so können Sie wenigstens beim Auswählen aus Aufgabensammlungen selbst einige Kriterien anwenden:

- Kann sich der Schüler persönlich angesprochen fühlen?
- Ist eine Situation beschrieben, die einen Bezug zur Erfahrungs- und Interessenslage des Schülers bietet?
- Ist das Ergebnis in irgendeiner Weise anregend, überraschend, merkwürdig?
- Ergeben sich weiterführende Fragen?
- Kann der Schüler sein Leistungspotential damit zeigen?
- Ist eine Anregung zur verbalen Kommunikation enthalten?

Vielleicht finden Sie noch weitere positive Kriterien. Zweifellos gibt es viele Aufgaben, auf die kein einziges dieser Kriterien zutrifft. Versuchen Sie, Ihre Aufgaben so auszuwählen, daß wenigstens manchmal mindestens eines dieser Kriterien realisiert ist!

Den Nachdruck des Artikels von Prof. Luchner möchten wir zum Anlaß nehmen, die Zeitschrift **Physik und Didaktik** unseren Mitgliedern vorzustellen.

Physik und Didaktik erscheint im Bayerischen Schulbuch-Verlag (München, Hubertusstraße 4), das Jahresabonnement (4 Hefte) kostet DM 58,-. Der Herausgeber, Prof. Hansjörg Jodl (Univ. Kaiserslautern), wird von einem Beirat unterstützt, dem unter anderen auch Prof. Pflug (bis 1992 an der Univ. Wien wirkend, nun Professor für Physikdidaktik an der Universität Dortmund) angehört.

Stellvertretend für andere Ausgaben seien die 88 Seiten des Heftes 2/1993 an Hand der Kurzfassungen der Beiträge dargestellt.

Physik und Didaktik 2/93 (Bayerischer Schulbuchverlag)

Helmut Bergold: Eckige Wellen

Die Betrachtung von stückweise geradlinigen Wellenformen anstelle der üblichen Sinuswellen hat verschiedene didaktische Vorzüge. Sie ist aber auch für die Physik selbst wertvoll, da bei den Saiteninstrumenten solche Wellenformen eine wichtige Rolle spielen. Dies wird in Theorie und Experiment gezeigt.

Wilfried Kuhn/Reiner Hedrich/Andreas Müller: Was hat Lorenz' "Schmetterlingseffekt" mit Heisenbergs "Unschärfen" zu tun? - Eine wissenschaftstheoretisch-didaktische Analyse

Der Determinismus Laplacescher Prägung hat in unserem Jahrhundert zwei ganz entscheidende Korrekturen erfahren. Die eine resultiert aus der Analyse des quantenmechanischen Meßprozesses im Zusammenhang mit der Heisenbergschen Unschärferelation. Die andere folgt aus dem sogenannten Schmetterlingseffekt, d.h. der sensitiven Abhängigkeit der dynamischen Entwicklung nichtlinearer Systeme von den Anfangsbedingungen. Die Heisenbergsche Unschärferelation und der Lorenzsche Schmetterlingseffekt werden manchmal aus didaktischen Gründen in eine gewisse Verbindung gebracht. Es wird gezeigt, daß der Schmetterlingseffekt und die Unschärferelation gänzlich verschiedene Aspekte von Schwierigkeiten in der epistemischen Zugänglichkeit der materiellen Realität und verschiedener Aspekte ontischer Unbestimmtheit eben dieser Realität repräsentieren. Deshalb sollte man sich keine wissenschaftstheoretische Naivitäten bzw. der Gebrauch oder Mißbrauch vermeintlich didaktisch motivierter, indes falscher Analogien leisten.

Adolf Kraemer: Gezeitenenergie - ein Problem der Himmelsmechanik

Gezeitenkraftwerke zapfen den Vorrat der Erde an Rotationsenergie an, der im übrigen infolge der Gezeitenreibung ständig abnimmt. Der entzogene Eigendrehimpuls der Erde geht vollständig in Bahndrehimpuls des Erde-Mond-System über, die entzogene Rotationsenergie wird zum überwiegenden Teil (95%) verwärmt, zu einem geringen Bruchteil (5%) erhöht sie die mechanische Gesamtenergie des Mondumlaufs. Die Entfernung Erde-Mond wächst dabei von 60 auf 86 Erdradien, der siderische Monat wächst auf die Dauer von 46 heutigen Tagen.

Manfred Geilhaupt : Physik und Technik

Die Physik ist der Mutterboden für alle bedeutenden technischen Errungenschaften, die unser alltägliches Leben begleiten, die Arbeitsplätze sichern und nur dann sicherer werden können, wenn die physikalischen Grundlagen in der Schule nicht an Bedeutung verlieren.

Otto Lührs: Vom Versuchsfeld zum Spectrum - Die Experimentierabteilung des Museums für Verkehr und Technik

Die Gründung des Museums für Verkehr und Technik im Jahre 1982 geschah in der Absicht, die einstmalige Museumsvielfalt in Berlin unter einem gemeinsamen Dach wiederzuerwecken. Zu den Vorläufern gehörte auch die 1888 gegründete Urania, das erste "Museum zum Anfassen". Der physikalische Experimentiersaal der Urania fand seine Fortsetzung im Versuchsfeld des Museums für Verkehr und Technik. Das Versuchsfeld ist in den vergangenen zehn Jahren immer wieder erweitert worden und hat seit Ende 1990 als "Spectrum" ein eigenes Haus auf dem Museumsgelände bezogen.

Hans-Jochen Foth: Einsatz von Lasern in der Medizin

Die Anwendung von Lasern in der Medizin ist ein faszinierendes Gebiet. Aufgrund der hohen Energie- und Leistungsdichte, die mit heutigen Lasern erreicht werden, können medizinische Maßnahmen durchgeführt werden, die mit konventioneller Technik gar nicht oder nur unter erheblichen Aufwand möglich sind. Der geringere Aufwand bei einer medizinischen Laseranwendung kommt dem klinischen Personal und besonders dem Patienten zu Gute. Da weitgehend natürliche Körperöffnungen verwendet werden oder nur sehr kleine Schnitte gemacht werden, um Lichtleitfasern und Endoskope einzuführen, ist der Heilungsprozeß sehr kurz. Der Einsatz von Lasern in der Medizin, der an einigen Beispielen exemplarisch dargestellt wird, trägt also auch zur Senkung der Kosten im Gesundheitswesen bei.

Axel Donges: Graphische Konstruktion der Beugungsmaxima bei ein- und dreidimensionalen Gittern

Rätselecke: Über die Erhaltung von Impuls und Energie bei der Photoionisation

Tagungsberichte: Physik in der Medizin (21.9.-25.9.1992 in Bad Honnef)

Gedanken zur Effizienz des Physikunterrichts am Beispiel Elektronik

Peter Jereb und Ewald Hosemann

Es gibt wohl kaum einen Lehrer, dem bei zwanglosen Gesprächen mit Schülern während mancher Supplierstunde, Pause oder im privaten Kreis über ein Schulfach nicht Aussagen wie "Wozu braucht man denn das? Es ist so fad und kompliziert! Einfach uninteressant!" oder gar "So ein Schmarrn!" zu Ohren gekommen sind.

Oft ist es selbst recht frustrierend, wenn nach einer gründlich vorbereiteten Unterrichtsstunde bei einer kurzen informellen Überprüfung der wichtigsten Lernziele auf kognitiver Ebene von den Schülern nur fragmentarische Rückmeldungen kommen und im affektiven Bereich nur leises Gähnen vorherrscht.

Als engagierter Lehrer sollte man natürlich in erster Linie die Ursache für solches Verhalten bei sich selbst, am erstellten Unterrichtskonzept und bei den verwendeten Unterrichtsmitteln suchen. Auch sollten sofort Fragen nach Über- und Unterforderung der Schüler, der Sinnhaftigkeit der verwendeten sozialen Organisationsformen des Unterrichts und der Selbsttätigkeit des einzelnen Schülers gestellt werden.

Gerade im Physikunterricht ist diese "Selbsttätigkeit des Schülers" und eine Reduktion des Frontalunterrichts eine wichtige Voraussetzung für einen interessanten und effizienten Unterricht. Dabei soll der Lehrer als "Wissensvermittler" nicht so sehr im Vordergrund stehen, für den Erkenntnisgewinn des Schülers aus einem selbstdurchgeführten Experiment nur gewisse Hilfestellung geben, diesen aber auch durch gezielte Information vertiefen oder wenn nötig korrigieren.

Die Elektronik ist bei richtiger Wahl des Anspruchsniveaus, der jeweiligen Unterrichtsmittel und der sozialen Organisationsform (Gruppenarbeit) durchaus geeignet, dem Schüler einen umfassenden Einblick in eine weltumspannende Technik auf lustbetonte Art und Weise zu geben und somit auch die Voraussetzung für weiterführendes Interesse zu schaffen.

Allgemeine Vorteile der Gruppenarbeit sind:

- Förderung der Kreativität beim Lösen von Problemen
- Größere Menge verschiedener Lösungen
- Höheres Maß an Kritikfähigkeit
- Bessere Problemeinsichtigkeit und erhöhtes Sinnverständnis
- Verminderung von Sprechhemmungen

(vgl. N. SEEL "Allgemeine Unterrichtslehre", S. 208)

Der Vorbereitungsaufwand des Lehrers für die Gruppenarbeit ist natürlich ungleich höher als für den Frontalunterricht. Vielleicht ist auch das ein Grund, warum sich Physiklehrer scheuen, die Gruppenarbeit als *festen* Bestandteil ihres Unterrichts einzuplanen.

Für den Themenbereich Elektronik bietet die Gruppenarbeit gegenüber dem Frontalunterricht noch einen weiteren Vorteil:

So gibt das erforschende Hantieren mit Schülerversuchsgeräten eine Hilfestellung beim Verstehen abstrakter elektrischer Vorgänge. Modellvorstellungen können direkt über die jeweiligen Geräte "begreifbar" gemacht werden.

Das lustbetonte Arbeiten ist gleichzeitig der affektive "Aufhänger" für kognitive Lernprozesse.

Gerade das Anbieten von Analogien aus dem Bereich der direkt beobacht- und begreifbaren Erfahrungswelt des Schülers ist eine unerläßliche Voraussetzung für Abstraktionsvorgänge, z.B.:

der Transistor als Wasserschleusenmodell,
der Schwingkreis als Schaukelmodell,
der Kondensator als Wasserspeicher ...

Die Richtigkeit einer Modellvorstellung kann in der Folge im realen Schülerexperiment erprobt und bewiesen werden

Aufgrund der komplexen physikalischen Vorgänge ist zum Beispiel die Arbeitsweise eines *Schwingkreises* für Schüler nur sehr schwer zu durchschauen. Zur Abstraktion dieser Vorgange bei gleichzeitiger praktischer Betätigung dient unser *Schwingkreiskreisel*, der als Kopiervorlage im Anschluß an diesen Artikel abgebildet ist.

Kriterien zur Auswahl von Elektronik-Schülerversuchsgeräten:

- Möglichst praxisnahe Ausführung des Experimentiermaterials
- Übersichtliche Anordnung - Vermeidung von Kabelsalat
- Möglichkeit des direkten Kontakts zu Bauteilen und Leiterbahnen
- Zuverlässigkeit und somit größtmögliche Effektivität beim Experimentieren
- Einfache und rasche Handhabung
- Mechanische Robustheit und Unempfindlichkeit gegenüber fehlerhaftem Schaltungsaufbau

So könnte man mit Hilfe des von uns entwickelten Transistor-Steckbretts (Abb. 1) folgende grundlegende Lernziele zur Funktionsweise eines NPN-Transistors in Gruppenarbeit verwirklichen:

- Die Schüler sollen mit Hilfe der Schaltskizze auf dem Arbeitsblatt eine Transistorschaltung aufbauen, in

Ing. Peter Jereb, Plabutscherstr. 87, 8051 Graz
Ewald Hosemann, Hauptschule Passail 8162

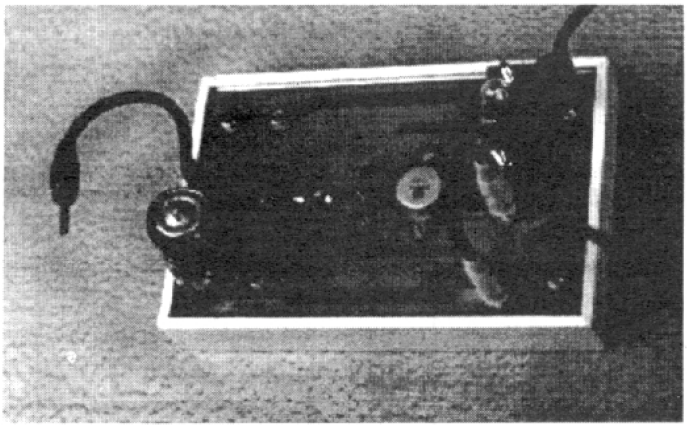


Abb. 1

Betrieb nehmen und das Versuchsergebnis schriftlich festhalten, (Abb. 2a)

- die Basis des Transistors über den 1,2V Akku mit Strom versorgen und das Versuchsergebnis, bzw. eine mögliche Begründung schriftlich formulieren, (Abb. 2b)
- versuchen, die externe Basisstromquelle (1,2V Akku) durch andere Stromquellen (Solarzelle, kleiner Gleichstromgenerator...) zu ersetzten, (Abb. 2b)
- die Transistorschaltung ohne externe Basisstromquelle betreiben, (Abb. 2c/d)
- Möglichkeiten zur stufenlosen Helligkeitssteuerung der Lampe finden. (Abb. 2e)

Für die Anleitung zur Durchführung eines Experiments und zur Sicherung des Unterrichtsertrags eignen sich besonders Arbeitsblätter, die gleich einem Versuchsprotokoll vom Schüler während der jeweiligen Unterrichtseinheit ergänzt werden sollten.

Ein Ausschnitt aus einem Arbeitsblatt zum Thema "Funktionsweise eines Transistors" ist in Abb. 2 zu sehen.

Das Ersetzen der Lampe durch andere Verbraucher wie Motor, LED oder Relais bietet zusätzliche Motivation bei gleichzeitiger Vertiefung und Wiederholung der bisher erarbeiteten Lerninhalte: (Abb. 3)

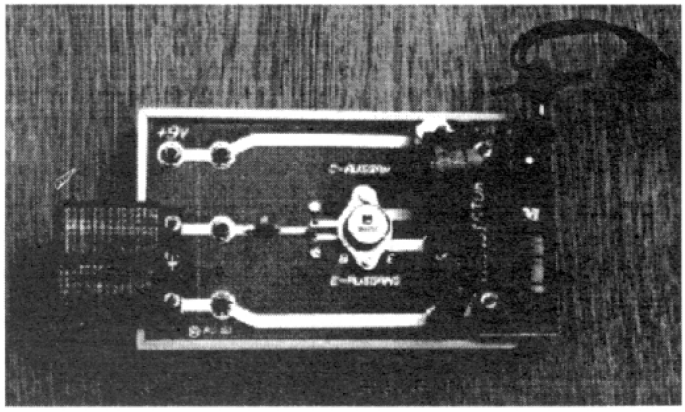


Abb. 3

Aufgrund der eingangs erwähnten Forderungen haben wir versucht, ein schülergerechtes Gesamtkonzept mit dem Titel "Elektronik in der Schule" zu erstellen, das in besonderer Weise der Forderung nach "Selbsttätigkeit des Schülers" nachkommt:

Thematische Übersicht der Unterrichtseinheiten:

Teil A: Der Widerstand (Ohmsches Gesetz). Die Diode. Die Funktionsweise eines Transistors. Anwendungen des Transistors. Anwendung des Transistors als NF - Verstärker. Wiederholen - Erweitern - Vertiefen.

Teil B: Der NF-Verstärker - ein IC im Einsatz. Ein Verstärker im Selbstbau.

Teil C: Die Spule, der Kondensator. Der Schwingkreis. Sender, Empfänger. Wiederholen - Erweitern - Vertiefen.

Das von uns entwickelte Unterrichtskonzept beinhaltet neben den Geräten (für Gruppenarbeit), Arbeitsblättern und Folien (Kopiervorlagen), zusätzlich auch noch eine Reihe von Stundenbildern mit operationalisierten Lernzielen und methodischen Hinweisen.

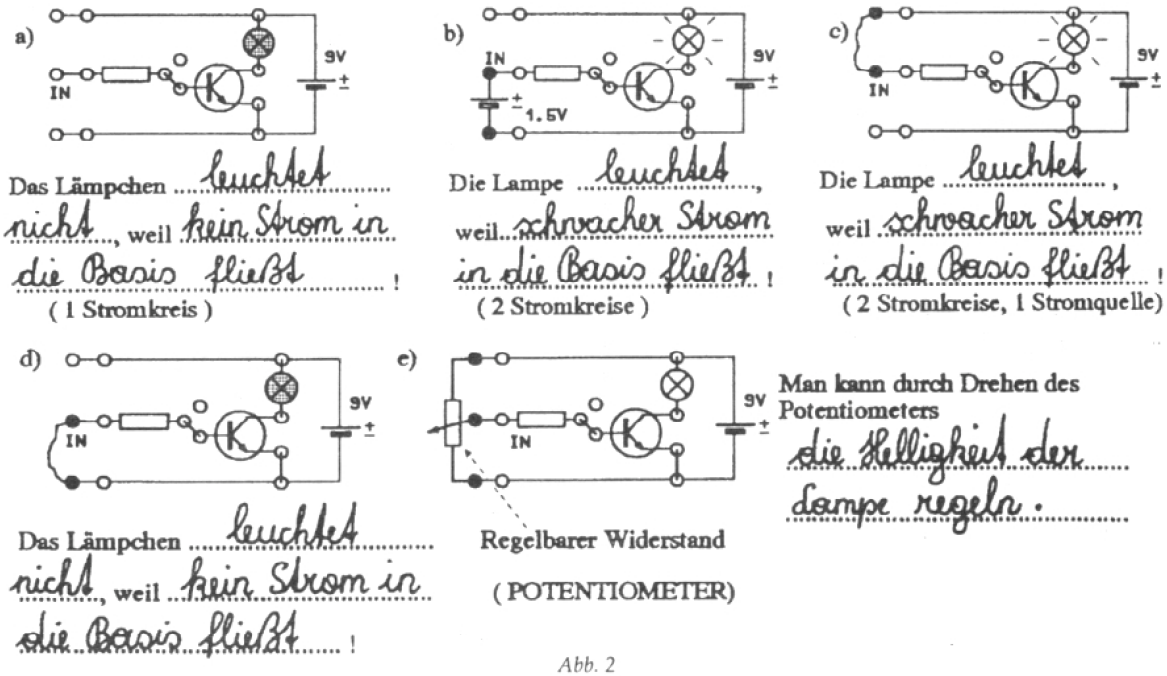
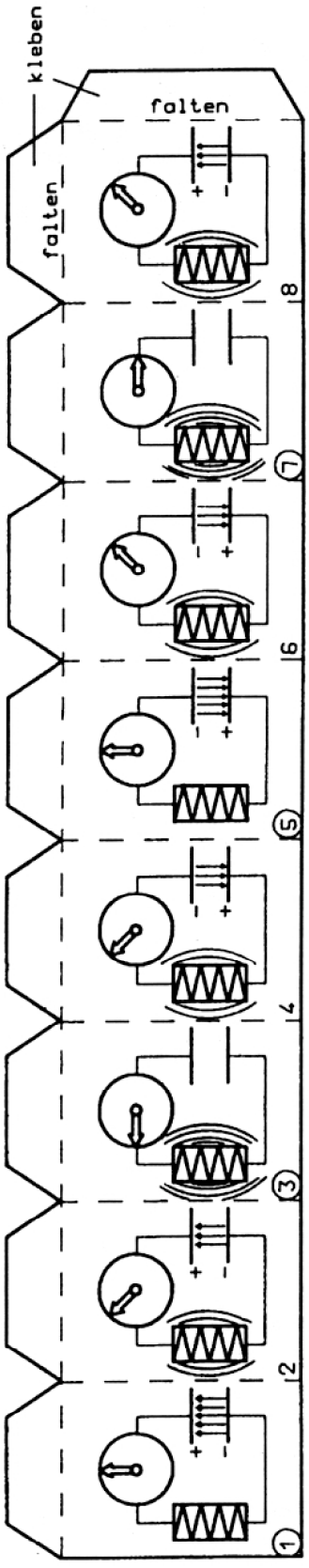
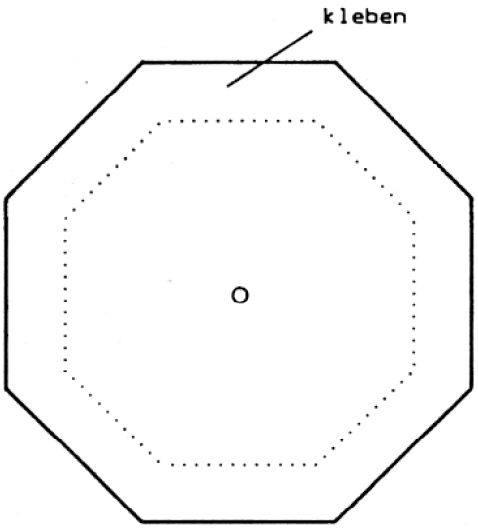


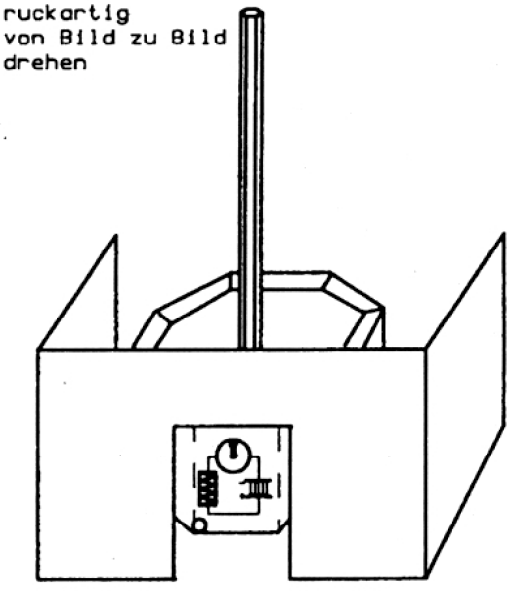
Abb. 2

SCHWINGKREIS-KREISEL

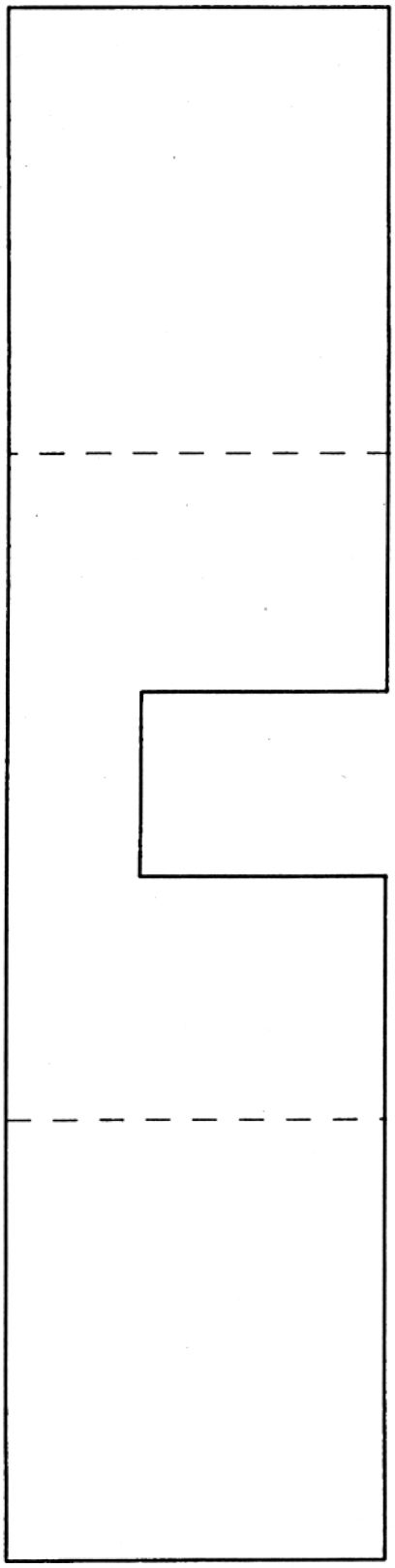
Kopiervorlage







Beobachte erst nur die Bewegung des ZEIGERS, dann versuche, KONDENSATOR, SPULE und ZEIGER gleichzeitig im Auge zu behalten.



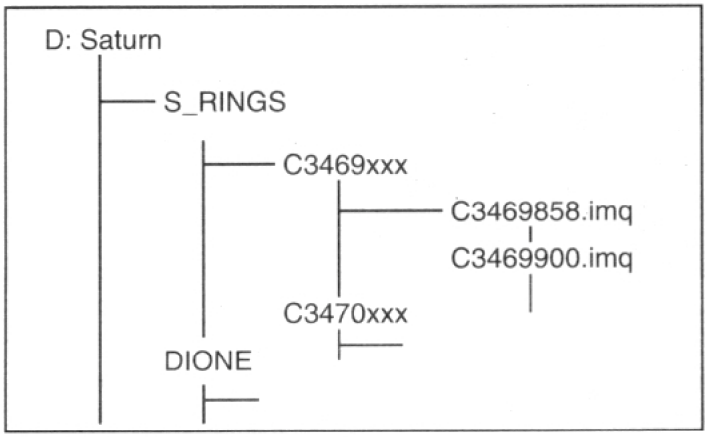
Das Planetary Data System (PDS) - VOYAGER to the Outer Planets

Werner Cyrmon

Seit kurzer Zeit bietet eine Unterabteilung der NASA, die NSSDC (National Space Science Data Center), Daten von Raumfahrtmissionen und Satellitenmeßdaten der Erde (Ozongehalt, etc.) zum Verkauf an. Das Zielpublikum ist in erster Linie sicher an Universitäten zu suchen, einen Teil des Angebots kann man aber auch im Unterricht einsetzen, so das hier vorgestellte PDS.

Ganymed

Bei PDS handelt es sich um alle Originaldaten ("Bilder"), die die beiden VOYAGER-Sonden während ihren Missionen zu den äußeren Planeten unseres Sonnensystems zur Erde gefunkt haben. Das PDS enthält 6538 Bilder von Uranus, 4000 von Saturn, 6000 von Jupiter und 10000 von Neptun und ihrer Monde. Jedes der Originalbilder hat eine Auflösung von 800x800 Pixel in 256 Graustufen und ist ca. 660 kB lang. Auf Grund der so entstandenen enormen Datenmenge wird das PDS auf CD-ROM ausgeliefert. Die einzelnen Bilder sind darauf in komprimierter Form vorhanden.



Beispielhafte Verzeichnisstruktur

Auf der jeweils ersten CD einer Planetenserie gibt es ein BROWSE-Verzeichnis, in dem ausgewählte Bilder in niedrigerer Auflösung (200x200), dafür aber unkomprimiert, gesammelt sind.

Die Namensgebung der Bildfiles ist etwas gewöhnungsbedürftig: Jeder Filename beginnt mit einem C (für Clock), gefolgt vom momentanen Stand der Borduhr der Sonden (7 Digits) und einer 3 Zeichen langen Extension, nämlich IMQ für 800x800 Bilder und IBG für die 200x200 Browse-Bilder. Ein typischer Filename wäre also: C3469858.IMQ

Die Directory-Struktur der CDs ist leicht zu verstehen: Die erste Ebene der Unterverzeichnisse trägt jeweils den Namen des Hauptbeobachtungsobjekts der darin enthaltenen Bilder (S_RINGS). Danach folgen bei längeren Beobachtungen eines Objekts Unterdirectories, die wieder nach der Bordzeit benannt werden: das Directory C3469xxx enthält z.B. alle Bilder von Flugzeit 3469000 bis 3469999. In diesen Verzeichnissen findet man dann die einzelnen Bildfiles also etwa C3469858.IMQ. Wurde ein Objekt nur kürzer beobachtet, so entfällt meist die zweite Ebene. Das Directory DIONE enthält z.B. sofort die Bilddaten.

Wie findet man nun ein gewisses File, beispielsweise den Mond Io vor der Jupiteroberfläche?

Damit sind wir beim Hauptproblem des PDS angelangt, dem Suchen, Finden und Bearbeiten der Rohdaten.

Auf jeder CD befindet sich ein Index-File, das, wieder für jeden Planeten ein Inhaltsverzeichnis der Bilder enthält. Zu jedem Bild gibt es einen Datensatz, der das Beobachtungsobjekt, die Aufnahmezeit, die Empfangszeit auf der Erde, die verwendeten Filter (Clear, Blue, Green, Orange, UV), Kameratyp (Wide oder Narrow-Angle) und auch den Namen des entsprechenden Files auf der CD enthält.

Lädt man das Index-File der Jupiterbilder in Winword (eigentlich sind die Datensätze für DBase gedacht), so erhält man ein Dokument, das ca. 400 Seiten lang ist. Formatiert man auf die kleinstmögliche Schrift (5pt) um, so sinkt die Länge auf ca. 150 Seiten. Der Ausdruck der so behandelten Indexfiles aller 4 Planeten füllt aber immerhin noch 2 DIN-A4-Ordner (ca. 900 Seiten)!

Mag. Werner Cyrmon
Gartengasse 8A, 2721 Bad Fischau
E-mail: 72772.1455@compuserve.com

Durch bloßes Suchen im Index findet man also kaum ein gewünschtes Bild. Hier kann man jedoch gut die Browse-Bilder einsetzen. In der mitgelieferten Software IMDISP gibt es eine Browsefunktion, mit der man sich die Browsebilder der Reihe nach anzeigen lassen kann (es passen immer 8 Bilder auf einen Bildschirm). Mit Hilfe der Bildnummern kann man dann gezielt im Index suchen, wobei man natürlich auch immer in der "Umgebung" eines Browsebildes suchen muß, da ja nur ein Bruchteil der Bilder auch im Browseformat vorliegt. Mit dieser Methode findet man tatsächlich relativ schnell die gesuchten Bilder.

Atmosphäre des Jupiters

Mitgelieferte Software

Zum Dekomprimieren der Bilder gibt es (für PC) das Programm PCDCOMP.EXE, das sehr schnell ist, aber an Bedienungskomfort zu wünschen übrig läßt. So muß jedes File einzeln bearbeitet werden, Wildcards etc. werden nicht unterstützt.

Zum Betrachten und Bearbeiten der dekomprimierten Bilder wird das Shareware-Programm IMDISP ($6) mitgeliefert. Dieses Programm kann Bilder drehen, verkleinern, vergrößern, Teile bearbeiten, filtern, Falschfarbendarstellungen erzeugen, Bilder addieren und subtrahieren, Spektrum zeigen und vieles mehr. Mangelhaft ist wiederum der Bedienungskomfort. Das Programm wird über eine Kommandozeile gesteuert, es gibt keine Menü- und schon gar keine Maussteuerung. Bearbeitete Bilder können im GIF-Format abgespeichert werden. Das Programm selbst arbeitet aber sehr gut, die Filterfunktionen sind hervorragend. Prinzipiell ist die Herstellung eines "Echtfarbenbildes" aus drei Aufnahmen (R-G-B) durch Addition möglich. Dies scheitert (bis jetzt) aber vor allem daran, daß die einzelnen Aufnahmen aber immer leicht veränderte Blickwinkel etc. haben. Hier wäre eine Funktion wünschenswert, bei der man vor dem Addieren beide Bilder übereinander sehen und solange verschieben könnte, bis sie deckungsgleich sind (man kann natürlich die drei Aufnahmen als Falschfarbenbilder im GIF-Format speichern und danach mit einem Zeichenprogramm kombinieren, das über die erwähnte Fähigkeit verfügt).

Zusammenfassend ist zur Bildbearbeitung also zu sagen, daß sie sehr zeitaufwendig ist:

- Browsen aller Bilder und gute Bilder notieren
- Suchen dieser Bilder im Index
- Dekomprimieren
- Bearbeiten und speichern

Trotzdem ist es faszinierend, wenn das erste Mal die Detailbilder, etwa der Saturnringe über den Monitor flimmern.

Wo kann man das PDS nun im Unterricht einsetzen?

Ich spreche hier vor allem für HTLs, da ich selbst an einer solchen Schule unterrichte.

Hier fallen mir auf Anhieb einige Gebiete des Einsatzes ein. Z.B. beeinhaltet der Lehrplan in der 1. Klasse Gravitation/Astronomie. Hier könnte man zunächst über Gravitation aufbauend die 1. und 2. kosmische Geschwindigkeit berechnen, die die Voyager-Sonden erreichen mußten, um das Erdsystem zu verlassen. Danach könnte man eine Besprechung des Sonnensystems eben unter Verwendung der Originalbilder des PDS anschließen (es gibt übrigens auch ein hervorragendes CD-Set mit Marsaufnahmen). Das Zeigen der Originalaufnahmen wirkt zweifellos motivierend (seit meine Schüler wissen, daß ich das PDS bestellt habe, werde ich fast täglich gefragt, wann denn die Bilder endlich da seien).

Eine weitere Einsatzmöglichkeit sehe ich etwa in der Optik, beim Kapitel Farblehre: Farbfilter, Kombination der durch Filter aufgenommenen Bilder zu "Echtfarbenbildern", RGB-Prinzip,...

Saturn

In der Abteilung EDVO (Elektronische Datenverarbeitung und Organisation) bietet sich die Möglichkeiten des Einsatzes, auch fächerübergreifend an. Neben den bisher erwähnten Themen kann man die Datenformate der Bilder, das Speichermedium CD-ROM, die Übertragungs- und Fehlerkorrekturmechanismen etc. besprechen. Im Programmierunterricht könnte versucht

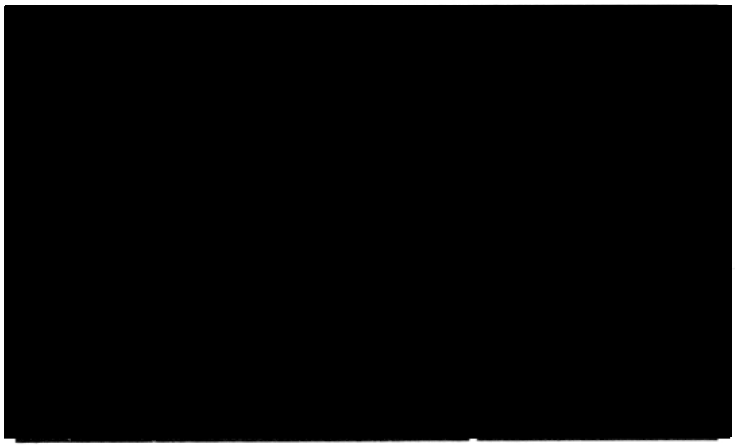
das etwa den oben genannten Mangel von IMDISP beim Addieren von Bildern behebt.

Zum Abschluß noch die Adresse, wo das PDS bestellt werden kann:

Coordinated Request and User Support Office
World Data Center-A for Rockets and Satellites
Code 633.4
Goddard Space Flight Center
Greenbelt, Maryland 20771, USA
E-mail: (INTERNET) request@nssdca.gsfc.nasa.gov

PDS besteht aus 12 CDs und kostet ca. 100$ (inklusive Software), wobei Bezahlung mittels Kreditkarte gewünscht wird. Mit der ersten Lieferung erhält man auch einen Katalog, mit allen von NSSDC und anderen Stellen erhältlichen CD-ROM Disks (etwa Mars-CDs).

Wer nur an einigen Bildern interessiert ist (auch von Satelliten, Galaxien u.ä.) und über ein Modem verfügt, dem kann das Datennetz COMPUSERVE und darin die beiden Foren ASTRONOMY (GO ASTROFORUM) und SPACE/ASTRONOMY (GO SPACEFORUM) empfohlen werden. Darin findet man außer Bildern auch Software, Artikel zu aktuellen Themen, behandelt von Fachleuten, Soft- und Hardwareangebote u.v.m.



M20

Informationen zu COMPUSERVE

Das meistgenutzte Angebot kostet $8,95 pro Monat. Darin ist bereits die Nutzung der Basicdienste enthalten, wie Electronic-Mail bis zu einer gewißen Seitenzahl, Wetterberichte, diverse Softwareforen,... Weiters gibt es Profi- und Premiumdienste. Während letztere, die natürlich die teuersten sind, für den "Normalverbraucher" wenig bieten (OnLineBroking an div. Börsen, OnLine Ticketservice,...), sind die Profidienste sehr interessant. Hier findet man für jeden Geschmack etwas: von Hardwareforen der div. Computeranbieter, über Softwareforen wie Astronomie, Bildung, Erholung, Spiele gibt es eigentlich nichts, das man nicht finden würde. Die Gebühr für diese Dienste ist abhängig vom verwendeten Modem: bei 1200/2400 bps $8, bei 9600 bps $12 pro Std. Zuletzt gibt es noch Kommunikationszuschläge, je nachdem über welches öffentliche Netz man in Compuserve einsteigt. Am günstigsten ist natürlich der Einstieg bei einem CS-Knoten. Leider gibt es in Österreich noch keinen, so muß man sich über das Infonet verbinden lassen. Dies kostet $11 pro Stunde. Das klingt alles furchtbar teuer, man kann aber die Kosten im Rahmen des Erträglichen halten. Am besten loggt man sich am nächsten BRD-CS-Knoten (München) ein, womit man nur mehr die niedrigere Kommunikationsgebühr von ca. $8 zahlen muß. Diese entfällt ganz, wenn man sich an Wochenenden, Feiertagen, bzw. von 19 bis 8 Uhr einloggt. Zu diesen Zeiten sind überdies auch die Telefongebühren gesenkt. Außerdem gibt es sehr gute Navigationsprogramme (OZCIS, TAPCIS,..), die die wirkliche OnLine-Zeit auf wenige Minuten verkürzen. Man gibt dem Computer sozusagen Aufträge, die er dann vollautomatisch und daher viel schneller als ein User online durchführt. Ein typischer Erfahrungswert ist etwa: 1/2 Stunde Vorbereitung, 2-3 min OnLine, 2-3 Stunden Arbeit mit Lesen div. Mails, Messages, News, ... Was sich natürlich nicht verkürzen läßt, ist das Herunterladen von Files. Hier hat CS ein eigenes Übertragungsprotokoll, das nach einer Leitungsunterbrechung, dort weitersenden kann, wo die Unterbrechung erfolgte. Dies ist angenehm, weil die Leitungen meist nicht so stabil sind, wie man sich wünschen würde. So muß man nicht jedesmal erneut das ganze File senden. Die Auswahl an diversen Sharewareprogrammen, Demos, Graphiken, etc. ist überwältigend. Das erste Monat bei CS ist gratis.

Dank an Sponsoren

Neben den in PLUS LUCIS 2/93 angeführten Förderern der 47. Fortbildungswoche vom Feber 1993 wurde diese Veranstaltung auch von

Fa. Leybold, Slamastraße 47, 1230 Wien

unterstützt, was hier mit Dank vermerkt sei.

Die Solar-Wasserstoffanlage in Neunburg vorm Wald

Peter Korczak

Die *Solare Wasserstoffwirtschaft* ist in der Diskussion über regenerative Energiequellen der Zukunft ein vielgebrauchtes Schlagwort geworden. Dieses Energiesystem kann hinsichtlich der Umweltauswirkungen als ideal gelten, da es im Betrieb keine Rohstoffe verbraucht und nahezu keine Schadstoffe verursacht. Der *Solar-Wasserstoff Kreislauf* (Abb. 1) beruht auf der photovoltaischen Erzeugung von Solarstrom, der gespeichert werden kann, in dem er Wasser elektrolytisch in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff aufspaltet.Bei der Nutzung wird der Energieträger Wasserstoff mit Sauerstoff z.B. in einer Brennstoffzelle oder einem Gasheizkessel wieder zu Wasser verbrannt, wo durch der Kreislauf geschlossen ist. (Abb. 2)

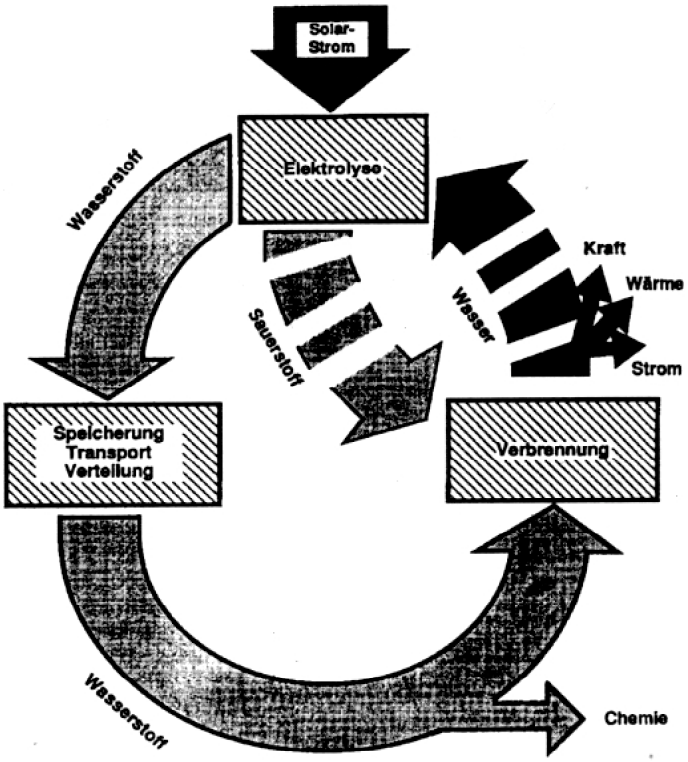


Abb. 1: Solarer Wasserstoffkreislauf

Auch Energieversorgungsunternehmen und Industrie haben sich inzwischen der solaren Wasserstofftechnologie angenommen und in Deutschland mehrere Demonstrationsprojekte gestartet. Ein besonders wichtiges Vorhaben ist das *Solar-Wasserstoff-Bayern* Projekt, das Ende 1986 unter Führung der Bayernwerk AG und Beteiligung der Unternehmen BMW, Linde, MBB und Siemens begründet wurde. Der Projektträger, die Solar-Wasserstoff Bayern GmbH, hat sich zum Ziel gesetzt die solare Wasserstofftechnologie als umweltverträgliche Energieoption voranzutreiben und in einem langfristigen Versuchsprogramm zu erproben.

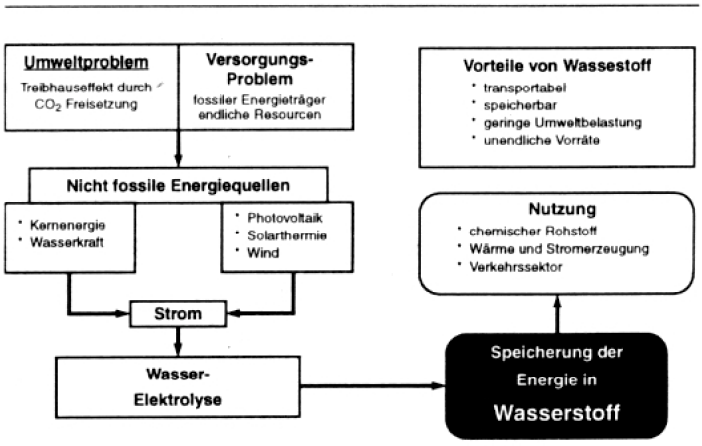


Abb. 2: Gründe für die Einführung von Wasserstoff als Energieträger in der Zukunft

Im nordbayerischen Neunburg vorm Wald wurde schrittweise seit 1987 eine Solar-Wasserstoff-Demonstrationsanlage errichtet und in Betrieb genommen, die sämtliche heute bekannten Bausteine der solaren Wasserstofftechnologie im industriellen Maßstab an einem Standort zusammenfügt und in dieser Art einmalig auf der Welt ist.

Getestet wird die Funktionsfähigkeit der Einzelsysteme Photovoltaik, Wasserelektrolyse, Wasserstoffspeicherung, Brennstoffzellen und Gasheizkessel, sowie das Betriebsverhalten der Gesamtanlage.

Projektphase 1

In der ersten Projektphase mit Gesamtkosten von 65 Mio. DM, die Ende 1991 ihren Abschluß fand, wurden zwei Solargeneratoren mit 270 kW_p Gesamtspitzenleistung und zugehöriger elektrischer Leistungsaufbereitung zwei Wasserelektrolyseure mit 210 kW_e Gesamtleistung und Gasspeichersysteme für 5000 Nm^3 Wasserstoff und 500 Nm^3 Sauerstoff installiert. Die praktische Anwendung und Erprobung des solaren Wasserstoffes erfolgt über zwei Brennstoffzellenanlagen mit 85 kW_e Summenleistung, zwei Gasheizkessel mit je 20 kW_{th} Leistung und einer angeschlossenen Flüssigwasserstoff-Tankstelle zur Betankung von Versuchsfahrzeugen.

Die verschiedenen Verknüpfungsmöglichkeiten zwischen photovoltaisch gespeistem Gleichstromnetz, Drehstromnetz und Gasnetz (H_2) zeigt schematisch Abb. 3.

Dipl.Ing.Dr.techn. Peter Korcak, Siemens AG Österreich, Wien

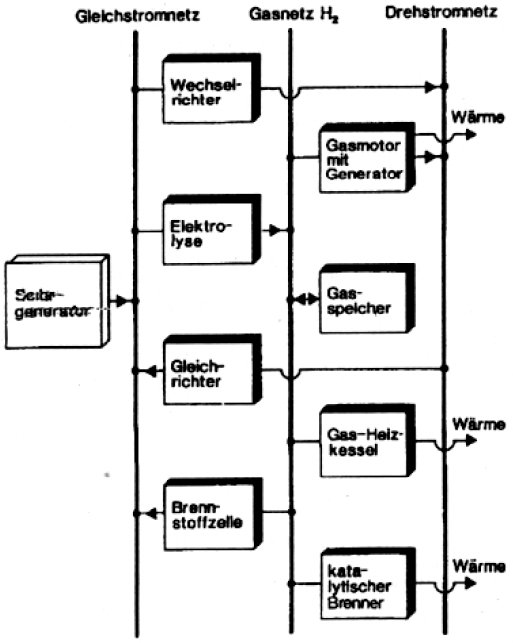


Abb. 3: Verknüpfungsmöglichkeiten zwischen Solarstrom-, Drehstrom- und Gasnetz (H_2)

Beschreibung der installierten Teilsysteme, Betriebsergebnisse

Photovoltaik

Die Photovoltaik-Anlage umfaßt einen 144 kW_p-Solargenerator bestehend aus 2856 Solarmodulen à 50 W_p in monokristalliner Siliziumtechnologie von Siemens - darunter ein Teilfeld mit 952 Modulen in rahmenloser Laminatausführung - und einen 134 kW_p-Solargenerator aus 3016 Solarmodulen à 44 W_p mit polykristallinen Si-Zellen von TST (AEG). Die gesamte Modulfläche beträgt ca. 3000 m^3 und ist einheitlich nach Süden unter 40° gegen die Waagerechte auf optimierten Großgestellen fest montiert, deren Standfestigkeit sich bei Sturmspitzen bereits bewährt hat. Die im praktischen Betrieb bei optimaler Sonneneinstrahlung erreichte Leistung der Solaranlage entspricht den Nennwerten. Die Solarstromerzeugung verlief bisher problemlos und praktisch störungsfrei.

Leistungselektronik

Um das Zusammenwirken der Teilsysteme Photovoltaik - Elektrolyse - Netz besser untersuchen zu können, wurde die elektrische Leistungsaufbereitung flexibler und damit aufwendiger gestaltet. Sie umfaßt Gleichstromsteller, Elektrolyse-Stromversorgung, Umrichter und Wechselrichter und ermöglicht vier verschiedene Betriebsarten bzw. Systemkopplungen. Die Komponenten der Leistungsaufbereitung funktionieren problemlos; die erzielten Wirkungsgrade liegen teilweise höher als projektiert.

Wasserelektrolyse

Der elektrolytischen Wasserstoffgewinnung kommt im Zusammenhang mit der Solarenergie-Nutzung besondere Bedeutung zu. Beide Systeme von Niederdruck-Elektrolyseuren - der alkalische Elektrolyseur (111 kW_e) von Krebskosmo und der Membran-Elektrolyseur (100 kW_e) von ABB - sind Prototypen in fortgeschrittener Technologie und mit verbessertem spezifischen Energieverbrauch gegenüber konventionellen Ausführungen. Nach Beseitigung von Anfangsschwierigkeiten (Risse in Diaphragmen, Fehler in Durchfluß-Sensorik, Deionat-Leckagen) haben die Elektrolyseure ihre Garantieläufe Mitte 1990 absolviert und arbeiten seither problemlos. Allerdings ist festzuhalten, daß beide Elektrolyseur-Hersteller, Krebskosmo und ABB, die Entwicklung ihrer Systeme zwischenzeitlich eingestellt haben, jedoch ihren im Solar-Wasserstoff Projekt eingegangenen Verpflichtungen weiter nachkommen müssen.

Wasserstoffaufbereitung und -speicherung

Die Produktgase der Wasserelektrolyse, Wasserstoff und Sauerstoff, werden in außenliegenden Behältern gasförmig gespeichert. Da beide Elektrolyseure bei niedrigen Drucken arbeiten, ist zur vorgesehenen Druckgasspeicherung von H_2 und O_2 eine Verdichtung in mehrstufigen Kompressoren auf ca. 30 bar notwendig.

Nach katalytischer Reinigung und Trocknung der Gase erfolgt die Druckspeicherung von 5000 Nm^3 Wasserstoff in zwei Tanks mit je 80 m^3 Volumen, entsprechend einem Energiegehalt von rund 1500 l Öl. Sauerstoff wird nur in einem Behälter mit 500 Nm^3 für die speziellen Versuchsanwendungen gespeichert. Die von Linde gelieferten H_2-/O_2-Gasaufbereitungs- und -speichersysteme haben nach Beseitigung von Undichtheiten an Ventilen, bzw. verzögert durch Ausfälle des übergeordneten Leittechnik-Systems (TST/AEG), bis Mitte 1991 ihre Garantieläufe erfolgreich absolviert. Bestehende Probleme an H_2-Durchflußmeßgeräten werden noch untersucht.

Brennstoffzellen

Mit einer alkalischen 6 kW_e -Brennstoffzelle von Siemens und einer phosphorsauren 79 kW_e/42 kW_{th}-Brennstoffzelle von KTI-Fuji werden zwei fortgeschrittene, aber sehr unterschiedliche Aggregate zur elektrochemischen Stromerzeugung eingesetzt. Während die alkalische BZ infolge der Anforderung, Reinwasserstoff als Brennstoff und Reinsauerstoff als Oxidant zu verwenden, mehr für spezielle, mobile Anwendungen (z.B. Raumfahrt, Bootsantriebe) geeignet ist, erscheint die phosphorsaure BZ bei Betrieb mit Wasserstoff aus reformiertem Erdgas und Luft als Oxidant durch geeignete Abwärmenutzung (bei ca. 200° C) als Alternativsystem für Kraft-Wärme-Kopplungen sehr aussichtsreich.

Zur Untersuchung des dynamischen Betriebsverhaltens der alkalischen BZ, wurde diese mit einer elektrischen Belastungseinrichtung gekoppelt. Das angeschlossene

Hybridsystem bestehend aus Gleichstromsteller, Batteriepuffer und Umrichter, erlaubt die Simulation des elektronischen Traktionsbetriebes. Nach erfolgter elektromagnetischer Abstimmung zwischen BZ und Hybridsystem, sowie Modifikation im H_2-Gasdurchsatz, konnten die Garantieläufe Mitte 1991 durchgeführt werden. Zwischenzeitlich ist ein Defekt an einer Einzelzelle des BZ-Blockes aufgetreten, dessen Ursache noch untersucht wird.

Die phosphorsaure BZ kann sowohl mit Erdgas als auch mit Reinwasserstoff betrieben werden. Als Oxidant kann Luft oder alternativ Reinsauerstoff eingesetzt werden. Bei Erdgasbetrieb wird durch Reformierung und CO-Konvertierung in einer integrierten Druckwechseladsorptionsanlage der gewünschte Reinwasserstoff mit mindestens 99,9 Vol.% erzeugt. Im Zuge der Inbetriebsetzung der phosphorsauren BZ-Anlage sind erhebliche Verzögerungen vor allem durch Probleme in der peripheren Wasserstofferzeugungsanlage aufgetreten und machen den Prototyp-Status dieses Aggregates deutlich. Die Anlage konnte bisher noch nicht endgültig abgenommen werden.

Gasheizkessel

Als weitere Gasanwendung wurden zwei Prototypen von Gasheizkesseln (Fabrikat Buderus) mit jeweils 20 kW_{th} Wärmeleistung installiert. Beide Brennersysteme können H_2-/Erdgasgemische stufenlos verarbeiten; ein Kessel wird nur mit O_2, der andere nur mit Luft als Oxidant betrieben. Die Zumischung von Erdgas erlaubt, den schrittweisen Übergang auf eine Wasserstoffversorgung der Kesselanlagen zu demonstrieren und zu untersuchen. Beide Gasheizkessel sind als Brennwertkessel mit aufwendiger Abgasanalytik ausgerüstet und werden im praktischen Betrieb, nach erfolgter Meßwert-Neukalibrierung, seit Herbst 1991 problemlos in die vorhandene Heizungsanlage eingebunden.

Die Auswertung erster Meßreihen zeigt, daß bei Einsatz von Wasserstoff eine deutliche Steigerung der Energieausbeute gegenüber Erdgas möglich ist, insbesondere wenn darüber hinaus reiner Sauerstoff als Oxidant eingesetzt wird (Wirkungsgradsteigerung ca. 17%).

Flüssigwasserstoff Tankstelle

Die Probleme einer späteren Wasserstoffwirtschaft sollten am Beispiel der Betankung von Kraftfahrzeugen (modifizierter BMW) mit tiefkaltem Flüssigwasserstoff (LH_2) bei ca. -250°C demonstriert und untersucht werden. Der flüssige Wasserstoff wird in Neunburg vorm Wald per Tankwagen in den 3000 l-Standtank der von Linde installierten LH_2-Tankstelle angeliefert.

Zu Beginn der Versuche wurde für die Befüllung eines 120 l fassenden LH_2-Fahrzeugtanks (der Energieinhalt entspricht ca. 35 l Benzin) mit allen Teilschritten wie An- und Abkuppeln, Evakuieren, Spülen, Abkühlen und nachfolgender Wiedererwärmung der Kupplung etwa 1 Stunde benötigt, wobei die über 20% Abdampfverluste mit 40 Nm^3 H_2 pro Betankungsvorgang sehr hoch lagen. In der Zwischenzeit ist es durch Optimierung der LH_2-Siedetemperatur im Standtank und der Druckdifferenz zwischen Standtank und Abgasleitung gelungen, die Betankungszeit auf knapp 20 Minuten zu begrenzen und dabei die Verdampfungsverluste um 50% zu reduzieren.

Die bisher in der ersten Projektphase der Solar-Wasserstoff Pilotanlage gewonnenen Betriebserfahrungen sind unter Berücksichtigung, daß die eingesetzten Systemkomponenten und Aggregate weitgehend als Prototypen zu betrachten sind, insgesamt zufriedenstellend.

Projektphase 2

Das Solar-Wasserstoff Bayern Projekt war von vornherein langfristig konzipiert, daher wurde 1992 eine zweite Projektphase begonnen. Sie hat den Weiterbetrieb der aus Phase 1 installierten Teilsystem zur Gewinnung von Langzeiterfahrungen, aber auch die weitere Ergänzung und den Ausbau der Anlage mit neueren technologischen Entwicklungen zum Inhalt.

Der derzeitige Konzeptrahmen für die Projektphase 2 ist schematisch in Abb. 4 dargestellt. Das mit Gesamtkosten von 76 Mio.DM veranschlagte Programm (1992 bis 1996) sieht im einzelnen die Realisierung folgender Anlagenteilsysteme vor:

Photovoltaik

Erweiterung des Photovoltaikfeldes um ca. 80 kW_e in neuen weiterentwickelten Technologien, umfassend amorphe Silizium- und CIS-Dünnschichtmodule, sowie Kleinfelder in fortschrittlichen kristallinen Silizium-Strukturen.

Wasserelektrolyse

Die Ergebnisse aus Phase 1 haben gezeigt, daß die energetischen Wirkungsgradgewinne der eingesetzten Niederdruck-Elektrolyseure in der nachfolgenden Verdichtung wieder aufgezehrt werden und insgesamt keine Vorteile gegenüber der konventionellen Druckelektrolyse verbleiben. Deshalb sind für die nächste Phase zwei fortgeschrittene alkalische Druckelektrolyseure mit einem Prozeßgasdruck von ca. 35 bar und je 100 kW_e elektrischer Leistungen geplant.

Brennstoffzellen

Es ist beabsichtigt, eine PEM-Membranbrennstoffzelle mit einer elektrischen Leistung von 10 kW_e zu installieren und sie nach dem stationären Testbetrieb zum Antrieb eines Elektrogabelstaplers mobil einzusetzen. Polymer-Elektrolyt-Membranzellen (PEM) zeichnen sich durch hohe Leistungsdichte und hohen elektrischen Wirkungsgrad aus. Da der Betrieb mit Luft als Oxidant möglich ist, sind Anwendungschancen im Verkehr prinzipiell gegeben.

Abb. 4: geplanter Projektumfang für Phase 2 (1992 - 1996)

Katalytische Wasserstoffanwendungen

Im Rahmen eines Entwicklungsauftrages ist vorgesehen, ein katalytisches Heizgerät mit 10 kW_{th} thermischer Leistung für Erdgas/ Wasserstoff Mischbetrieb und Luft als Oxidant zu realisieren und in die vorhandene Heizanlage einzubinden. Einsatzpotential für katalytische Heizer wird in effizienterer und emissionsärmerer Erdgasverbrennung gesehen.

Ein weiteres Entwicklungsvorhaben betrifft eine katalytisch beheizte Absorptionskälteanlage (H_2/Luft), deren Kälteleistung von ca. 18 kW_{th} zur Unterstützung der vorhandenen Kaltwasserversorgung dienen wird.

Flüssigwasserstoff Tankstelle

Eine Optimierung der LH_2-Tankstelle soll durch Neuentwicklung der Betankungskupplung und die Automatisierung des Füllvorganges eine weitere Verkürzung der Gesamtbetankungszeit auf ca. 10 Minuten bringen.

Das vorstehende Programm zeigt deutlich den Technologiefortschritt, den Wasserstoff Energiesysteme gemacht haben und machen werden - nicht zuletzt durch Demonstrationsprojekte wie das der Solar-Wasserstoff Bayern GmbH. Die Bedeutung einer engen Partnerschaft zwischen Geräteentwicklung, Pilotanwen-dung und Test wird offenbar. Auf Basis der heutigen Energiepreise und der heute verfügbaren Technologien ist aber ein wirtschaftlicher Einsatz von Wasserstoff noch nicht darstellbar. Wasserstoff als Energieträger ist und bleibt eine längerfristige Zukunftsoption der Energiewirtschaft im allgemeinen und solarerzeugter Wasserstoff im besonderen.

Technische Daten

Solargeneratoren

	Leistung	Wirkungsgrad (%)
mono-Si	50 W	14
multi-Si	44 W	11

elektrische Leistungsaufbereitung

	Nennleistung	Wirkungs-grad (%)
Gleichstrom-steller		≥ 96
Elektrolysestrom-versorgung	100 kW	≥ 90
Wechselrichter	3 × 160 kVA	93

Wasserstoffelektrolyse

	Krebskosmo	ABB
Prinzip	Fortgeschrittene alkalische Elekrolyse	Membran-Elektrolyse (Festelektrolyt)
Arbeitsmedium	wässrige Kalilauge	Wasser
Seperator	Polysulfon-Diaphragma	sulfonsaure organische Ionenaustauscher-Membran
Elektroden	Ni, aktviert	Edelmetall-Katalysatoren
Betriebstemperatur	max. 90°C	80°C
Gasüberdruck	≥ 80 mbar	1,5 bar
Leistungsbereich	6 - 111 kW_{el}	7,5 - 100 kW_{el}
Stromdichte (Nennlast)	5 kA/m^2	11,5 kA/m^2
H_2-Produktion (Nennlast)	24,7 Nm^3/h	22,4 Nm^3/h
Energieverbrach	< 4,3 kWh/Nm^3 H_2	< 4,3 kWh/Nm^3 H_2
Wirkungsgrad	> 83 %	> 83 %
Gasreinheit (Nennl.) Wasserstoff Sauerstoff	 ≥ 99,8 Vol% ≥ 99,5 Vol%	 ≥ 99,8 Vol% ≥ 98,0 Vol%

Brennstoffzellen

	Einheit	SIEMENS	KTI-FUJI
Prinzip	-	alkal. BZ mit freien Elektrolyten	phosphorsaure BZ mit Dampfreformer, CO-Konverter und DWA
Arbeitsmedium	-	KOH-Basis	H_3PO_4-Basis
Elektroden	-	Raney-Ni-Ti, Raney-AG	C, Pt, PTFE
Diaphragma	-	Asbest	-
Arbeits-temperatur	°C	78 - 88	190
Leistung (DC)	kW_{el}	6,2 - 6,6	79,3*)
Stromdichte	mA/cm^2	397	160
Stromstärke	A	135	610
Zellenspannung	mV	767	610
Zellenzahl	-	60	192
H_2-Ausnutzung	%	k.A.	95
el. Wirkungs-grad (bez. auf Hu H_2)	%	60 - 63**)	51,3*)

*) 50 % O_2 im Kathodengas
**) 100 % O_2 im Kathodengas

[redacted]

Projekt TAWES - Teilautomatisches Wettererfassungssystem

der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

Ilse Fabian und Peter Steinhauser

Grenznahe Atomkraftwerke wie Bohunice, Dukovany, Krsko etc., mögliche Giftgasunfälle auf Österreichs Straßen, Zeiten erhöhten Ozonvorkommens und andere Quellen von Schadstoffaufkommen können eine gesundheitliche Gefährdung der Bevölkerung mit sich bringen. Der Grad der Gefährdung steht in einem engen Zusammenhang mit der jeweils herrschenden Wettersituation. Die rasche Erkennung der meteorologischen Situation ist daher eine wesentliche Entscheidungshilfe bei den zu setzenden Maßnahmen. TAWES, das im Aufbau befindliche Teilautomatische Wettererfassungssystem der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), stellt eine grundlegende Modernisierung des Österreichischen Wetterdienstes in dieser Richtung dar.

An meteorologisch repräsentativen Orten Österreichs sind teilautomatische Wetterstationen errichtet worden, an denen die wichtigsten meteorologischen Parameter wie Windgeschwindigkeit und - richtung, Luftdruck, Lufttemperatur, Niederschlag, Globalstrahlung, Sonnenscheindauer, relative Feuchtigkeit und Erdbodentemperaturen mittels Sensoren *Tag und Nacht automatisch* erfaßt werden.

Die von den Sensoren erfaßten und einem an der Station befindlichen Datenerfassungsgerät (METEODAT-S) zugeführten Meßdaten werden von dort über ein weitverzweigtes Datenleitungsnetz unter Mitbenützung des vorhandenen Strahlenfrühwarnsystems des Bundesministeriums für Gesundheit, Sport und Konsumentenschutz in die TAWES-Zentrale an der ZAMG in Wien, Hohe Warte, und ihre Außenstellen in Innsbruck, Salzburg und Klagenfurt weitergeleitet. Das Datenerfassungsgerät METEODAT-S wurde vom Österreichischen Forschungszentrum Seibersdorf gemeinsam mit der ZAMG entwickelt. Es läßt die Eingabe der nach wie vor wichtigen nicht automatisch erfaßbaren Meldungen über z.B. Bewölkung, Gewitter, etc. über eine Tastatur durch einen Beobachter zu. Das Datenerfassungsgerät ist geschützt in einem Gebäude untergebracht und im allgemeinen in unmittelbarer Nähe des sogenannten Klimagartens, in welchem die Sensoren aufgestellt sind (siehe Abb. 1). Der Abruf der Daten erfolgt *alle 10 Minuten*.

Dr. Ilse Fabian,
Univ.Prof.Dr. Peter Steinhauser,
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik,
Hohe Warte 38, A-1191 Wien

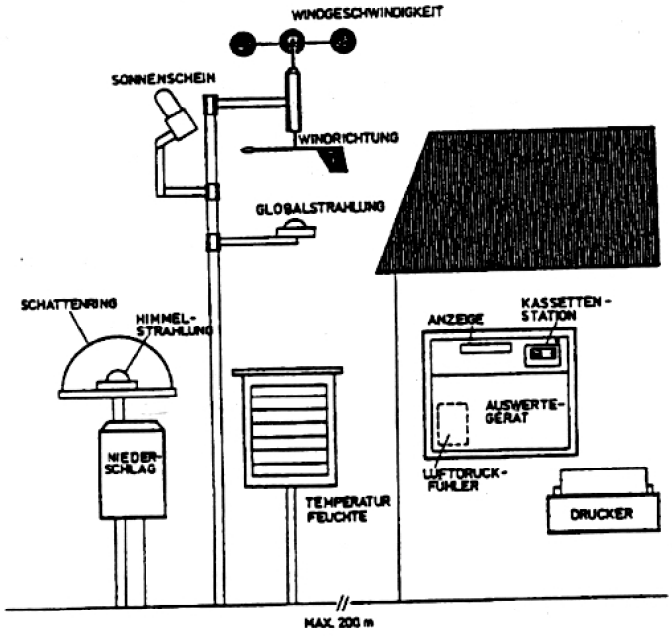


Abb. 1: TAWES-Wetterstation

Unter Berücksichtigung der Anforderungen künftiger Benutzer von TAWES wurden die Standorte dieser TAWES- Stationen ausgewählt. Derzeit sind 71 TAWES-Stationen errichtet, wovon 62 bereits ins Datenleitungsnetz eingebunden sind (siehe Abb. 2). Der Vollausbau sieht 120 solcher Stationen vor.

Vor TAWES standen den Meteorologen in Österreich, was die Bodenstationen betrifft, als Grundlagenmaterial für Wetterprognosen an inländischen Meßdaten nur jene zur Verfügung, die von meist ehrenamtlichen Beobachtern tagsüber alle 3 Stunden erhoben und weitergeleitet wurden. Die nunmehrige Automatisierung bildet daher den Schlüssel für den Übergang vom klassischen zu einem modernen, technisch hochentwickelten meteorologischen Beobachtungswesen. Die anfallende, um ein Vielfaches gesteigerte Datenmenge - von 320 Datensätzen täglich im alten Netz auf 12240 Meldungsblöcken täglich im neuen Netz - wird mittels eines eigens dafür an der ZAMG entwickelten Computerprogrammes verarbeitet, welches dem Meteorologen einen raschen Überblick über die augenblicklich herrschende Wetter situation vermittelt. Unter anderem lassen sich die durch die Topographie Österreichs bedingten räumlich und zeitlich starken Veränderungen von Wetterfronten genauer als bisher analysieren und prognostizieren. Diese vorhersehbaren Vorteile von TAWES dokumen-

tiert bereits eine Studie, im Laufe derer eine nachträgliche Analyse eines Durchzugs einer Bodenkaltfront unter Verwendung von zahlenmäßig erhöhten, jedoch noch konventionell ermittelten Daten deutlich die starken Abweichungen von der konventionellen Analyse zeigt (Abb. 3). Den speziellen Aufgaben des Wetterdienstes, wie der Warnung vor gefährlichen Wettersituationen (z.B. starke Niederschläge, Sturm, Glatteis etc.) kann somit durch hohe räumliche und zeitliche Auflösung der Daten besser als bisher entsprochen werden. Was dies für die Wirtschaft, den Fremdenverkehr, die Landwirtschaft u.v.a. bedeutet, ist unschwer vorzustellen.

Ein weites Gebiet der Nutzung von TAWES ist im Bereich der Umweltmeteorologie zu erwarten. Genaue Kenntnis der Wind- und Temperaturverteilung mit der Höhe (sogenannte "Vertikalprofile") ist die grundlegende Voraussetzung für die Vorhersage von Verfrachtung und Konzentrationsänderung von Schadstoffen verschiedenster Art. Für die Erstellung solcher Vertikalprofile sind nicht nur die TAWES-Bodenstationen auf Kuppen und Berggipfeln notwendig, sondern es werden auch zusätzliche neue Meßsysteme wie z.B. SODAR-Geräte zum Einsatz kommen. SODAR (Sound detecting and ranging) mit einer Reichweite von 1500m beruht im wesentlichen auf der Tatsache, daß die Reflexion akustischer Signale unter anderem von der herrschenden Turbulenz abhängig ist, und erlaubt somit Rückschlüsse auf die Windverteilung mit der Höhe. Daneben werden auch Fesselballonsondenaufstiege durchgeführt, die eine Höhe von 1000m erreichen und geringere Steiggeschwindigkeiten zulassen (siehe Abb. 4). Erkenntnisse aus Satellitenbilder und Ergebnisse von Radiosondenaufstiegen ergänzen die Informationen.

Gerade auch im Hinblick auf grenznahe Kernkraftwerke und auf die mögliche Gefahr der Ausbreitung ra-

dioaktiver Luftmassen kommt diesen Einrichtungen eine besondere Bedeutung zu. Bereits jetzt stellt das Trajektorienprogramm der Umweltabteilung der ZAMG eine wichtige Entscheidungshilfe in Krisenfällen dar. Mit Hilfe dieses Programmes ist es möglich, Trajektorien (Trajektorie = Luftbahn, d.h. der von einem Luftpaket während einer bestimmten Zeit zurückgelegte Weg) in verschiedenen Höhen zu berechnen (Abb. 5).

Man unterscheidet dabei zwischen Vorwärts- und Rückwärts-Trajektorien je nachdem, ob der weitere Verlauf des Transportes eines Luftpakets ab einem bestimmten Zeitpunkt für die nächsten drei Tage berechnet wird oder der Ort des Ausgangs eines jetzt eingetroffenen Luftpaktes vor drei Tagen von Interesse ist. Es liegt auf der Hand, daß die Treffsicherheit dieser Aussagen, die auf Modellberechnungen beruhen, vom zugrundeliegenden Datenmaterial abhängt, und eine räumliche und zeitliche hohe Auflösung, wie es TAWES bietet, entscheidende Vorteile bringt.

In diesem Zusammenhang sei auf ein weiteres in Aufbau befindliches Netz, ein seismisches Netz hingewiesen. Der österreichische Erdbebenwarndienst betreibt ein Netz von derzeit fünf seismischen Stationen zur ständigen Beobachtung der Erdbebentätigkeit in Österreich, welches über die Grenzen Österreichs hinaus ausgedehnt werden soll. Derzeit werden 2 seismische Stationen in der Nähe des Kernkraftwerkes Bohunice, bzw. im Einzugsgebiet des Kernkraftwerkes Dukovany errichtet. Nach dem erfolgreichen Abschluß der Verhandlungen mit den Partnern in Tschechien und der Slowakei ist der gegenseitigen Datenaustausch gesichert. Im Falle eines Erdbebens kann dann ohne Zeitverzögerung die Erdbebengefährdung des jeweiligen Reaktors beurteilt und entsprechend der Wetterlage die Ausbreitung der Radioaktivität vorhergesagt werden.

Das Konzept von TAWES geht jedoch über den Bereich der ZAMG eigenen TAWES-Einrichtungen hinaus. In Österreich werden von verschiedenen Stellen, wie z.B. vom Umweltbundesamt, von den Umweltabteilungen der Länder, den Landesforsten, den Straßendiensten u.a. verschieden detaillierte meteorologische und luftchemische Daten erhoben. Einige dieser Stellen haben ihre Meßstellen bereits vernetzt. Ein Datenaustausch zwischen TAWES und diesen Netzen anderer Betreiber ist aus vielerlei Gründen, so auch aus Wirtschaftlichkeit und Sparsamkeit ein wichtiges Ziel.

Anmerkung: Projekt TAWES und Schule

TAWES stellt ein ergiebiges Thema für einen fächerübergreifenden Projektunterricht dar und läßt sich auf fast allen Schulstufen sinnvoll durchführen. Der Bogen spannt sich dabei über die naturwissenschaftlichen Fächer bis zu den geisteswissenschaftlichen und musischen Fächern.

Z.B.:

Kodierung, Statistik, Datenverarbeitung, Bearbeitung von Meßreihen (M, Inf)

Meteorologische Parameter, Meßverfahren, eigenständiges Beobachten (Ph, Ch), Organismus und Wetter (BuU)

Fachliteratur (E)

Datenverarbeitung und Graphikprogramme (Inf, BE)

Internationale Met.Projekte (H, Gg, Polit.Bildung)

Symbole und Logos (BE)

Thema "Wetter" in der Kunst (D, Me, BE)

Kontaktadresse:

Dr. Ilse Fabian,
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik,
Hohe Warte 38, A-1191 Wien

Freihandexperimente zu Rauchringen

Werner Gruber

"Wenn ich in den Himmel kommen sollte, erhoffe ich Aufklärung über zwei Dinge: Quantenelektrodynamik und Turbulenz. Was den ersten Wunsch betrifft, bin ich ziemlich zuversichtlich."

Horace Lamb

Wie vielen Schülern ist die Arbeitsmethodik der Physiker bekannt? Wird nicht der Schüler allzu oft vor vollendete Tatsachen in Bezug auf Experiment und Theorie gestellt?

Aber ich glaube, daß der Aspekt der "Theorienfindung" der elementarste und wichtigste der Naturwissenschaften ist. So sollte es die Aufgabe des Lehrers sein, den Schüler zu motivieren, Fragen zu stellen, zu beobachten und sich Theorien zu überlegen. Sicherlich ist es schwierig, ohne Mathematik (Differentialrechnung in der 7. Klasse, Integralrechnung in der 8. Klasse) Physik sinnvoll zu betreiben, aber ich vertrete den Standpunkt, daß ein "Gefühl" für physikalische Sachverhalte, sowie ein "Blick" für Details und das Globale genauso wichtig sind. Sie ermöglichen erst das physikalische "Denken".

Mit der Physik im Wasserglas - den Freihandexperimenten - ist dies leicht zu bewerkstelligen. Wenn dann bei diesen Experimenten verblüffende Effekte auftreten, können Sie leicht das Interesse der Schüler gewinnen. Die Aerodynamik - speziell der Rauchring - eignet sich dafür hervorragend, zumal hier Physik ohne großen Aufwand betrieben werden kann.

Rauchherstellung

Bevor ich auf die Rauchringe eingehe, sollte auf ein prinzipielles Problem nicht vergessen werden, die Rauchherstellung.

So gibt es mehrere Möglichkeiten. Die einfachste ist selbst zu rauchen oder aber mit Tricks zu arbeiten. Der erste Trick kommt aus der Chemie. Wenn man Salzsäure und Salmiak (bei jedem Schulchemiker zu erhalten) mischt, bekommt man schönen weißen Rauch. Er ist aber nicht sehr angenehm und schädlicher als das Nikotin des Tabaks.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, feinstes Pulver zu verwenden, zum Beispiel Kakaopulver. Allerdings ist es schwierig, das Pulver zum richtigen Zeitpunkt ordentlich mit der Luft zu verwirbeln.

Die wohl beste und auch gesündeste Möglichkeit ist die Verwendung einer Pfeife. Wenn Sie selber nicht Pfeife rauchen, so können Sie sich leicht mit einer kleinen Apparatur helfen. Ein Kartonröhrchen, oben verschlossen, mit einem Mundstück versehen (ein Kunststoffröhrchen von einem Kugelschreiber), wird auf eine Pfeife aufgesteckt. Wichtig ist nur, daß man nicht beim Mundstück der Pfeife die Luft hineinbläst - die Pfeife geht sonst aus -, sondern in das Kunststoffröhrchen.

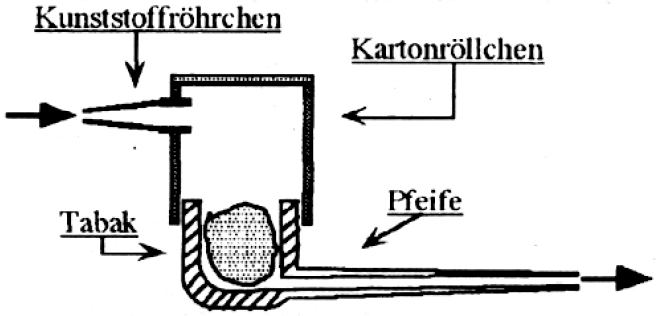


Abb. 1: Apparatur zur Herstellung von Rauch mit einer Pfeife.

Herstellung von Rauchringen

Nun aber zum eigentlichen Thema - den Rauchringen. Die Experimente können ohne großen Aufwand durchgeführt werden. Eigentlich genügt ein gewöhnlicher Verpackungskarton, wie man ihn in jedem Haushalt findet. Man schneidet einfach ein Loch in die Mitte einer Seitenwand und ein weiters kleineres Loch am Rand (für den Raucheinlaß).

Trotz der Einfachheit gilt es einige Dinge zu beachten: Nicht jeder Karton ist gleichermaßen dafür geeignet. Kann die Rückwand nicht genügend schwingen, werden die Ringe unvollständig und "mager". Weiters sollte das Austrittsloch nicht zu groß sein, sonst entstehen wiederum keine ordentlichen Rauchringe. Ist hingegen das Loch zu klein, dann darf die Kraft, die auf die Rückwand wirkt, nicht zu groß sein. Der Rauchring wird sonst sehr schnell und löst sich aufgrund seines Luftwiderstandes rasch auf.

Ein wesentlicher Faktor ist auch die Relation der Höhe zur Tiefe des Kartons. Ist zum Beispiel die Tiefe zu klein, so entstehen zu bald Wirbel, die den Rauchring zerstören. Ist die Tiefe zu groß, so muß auch die Kraft, die auf die Rückwand wirkt, sehr groß sein - meist zerreißt man dann den Karton. Mit etwas Fingerspitzengefühl sieht man sehr schnell, welcher Karton sich besser eignet.

Die Rückwand des Verpackungskartons können Sie auch durch eine Gummimembran ersetzen. In der Regel ist das aber nicht notwendig. Die Gummimembran sollte besonders schwingungsfähig sein. So läßt sich auch eine Rauchringapparatur aus einem Blumentopf bauen. Der Blumentopf sollte am Boden ein kleines Loch besitzen, durch das der Rauchring heraus kann (Abb. 2).

Werner Gruber,
Starkfriedgasse 15/3019, 1180 Wien

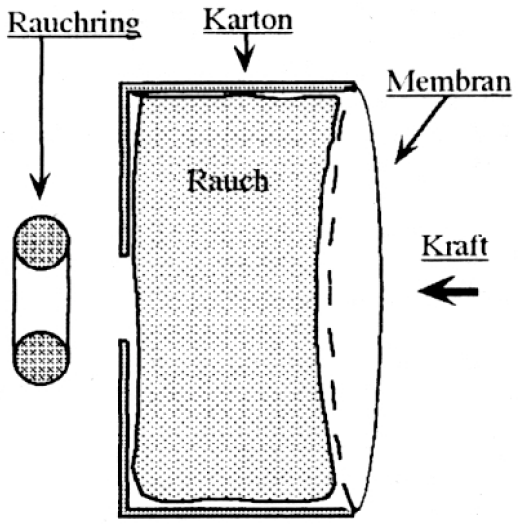


Abb. 2: Einfache Apparatur aus Karton zur Herstellung von Rauchringen (Querschnitt).

Für Schüler kann es durchaus interessant sein, sich mit diesen allgemeinen Randbedingungen zu beschäftigen, sie lernen somit, selbst zu beobachten. Vor allem werden sie nicht nur mit Noten "belohnt", sondern auch mit sehr ästhetischen Gebilden, wenn sie den richtigen Gedankengang und die richtige Beobachtungsgabe hatten. Ich behaupte, es gibt keine bessere Motivation.

Apropos Beobachtung: Am besten können diese Gebilde mit indirektem Licht (am besten mit einem Overheadprojektor) und dunklem Hintergrund (Tafel) beobachtet werden.

Die Rauchringe können verschiedene Strukturen annehmen. So kann man das Rohr, im einfachsten Fall ein einfaches Loch im Karton, durch den der Rauchring entsteht, verändern, zum Beispiel mit gewöhnlichen Papprollen, wie man sie in jedem Papierfachgeschäft bekommt.

Theorie

Wie sollte sich der Rauchring bei Änderung der Rohrparameter nun ändern? Damit sind wir eigentlich schon bei der Theorie. Bei der idealen Potentialströmung durch ein Rohr (der Aufbau der Rauchringapparatur entspricht einem Rohr) nimmt die Geschwindigkeit bei Annäherung an die Mittelebene zu.

Die Flüssigkeits- bzw. Gasteilchen werden durch das Druckgefälle beschleunigt, hinter der Mittelebene können sie auf Grund der vermehrten kinetischen Energie gegen das Druckgefälle anlaufen und verlieren wieder an kinetischer Energie (idealer Fall).

An jeder realen Oberfläche, die umströmt wird, werden die Teilchen jedoch gebremst. Es bildet sich die Prandtl-Grenzschicht an der Oberfläche aus. So entsteht ein parabolisches Geschwindigkeitsprofil im Rohr. Die Teilchen verlieren aber auch noch zusätzlich an kinetischer Energie. Der Rauchring entsteht ja durch einen Impuls auf eine Membran. Das heißt, die Potentialströmung hat sich noch nicht ausgebildet, wenn der Rauchring entsteht, und die Teilchen müssen erst den Luftwiderstand am Rohrende überwinden. Die Teilchen sind jedoch bestrebt, trotzdem die theoretischen Stromlinien auszubilden - es fehlt aber an der nötigen Energie, daher wird eine Drehung eingeleitet. Somit bildet sich ein "Wirbelpaar" (Schnitt durch den Torus) mit entgegengesetztem Drehsinn aus. Im Prinzip handelt es sich um einen speziellen Fall einer Wirbelbildung beziehungsweise um den Spezialfall einer Karman-Wirbelstraße.

Nach einem anschaulicherem Modell nimmt das aus der Rohröffnung austretende Gas eine Pilzgestalt an. Dieser Pilz ist abhängig vom Rohrdurchmesser, der Rauhigkeit des Rohres, der Geschwindigkeit des Gases im Rohr und den allgemeinen Gasparametern innerhalb und außerhalb der Apparatur. Dieser Pilz besitzt dann noch eine gewisse Eigengeschwindigkeit. Das den Pilz umströmende Fluid versetzt die äußere Schicht aufgrund der Reibung in Bewegung. Zugleich entsteht aber auch hinter dem Pilz ein Unterdruck, wie hinter jedem in einem Gas bewegten Körper, und so kommt es, daß sich die äußere Schichte des Pilzes mit der umströmenden Luftschicht vermischt. Die Randschicht beginnt sich einzurollen. Da die Luft und der Rauch ungefähr die gleiche Dichte besitzen, geschieht die "Verwirbelung" zwischen den beiden Medien im Verhältnis 1 : 1. Das

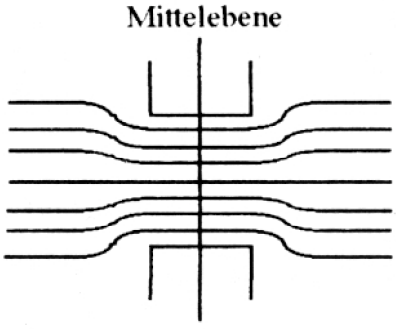


Abb. 3: Ideale Potentialströmung durch ein Rohr.

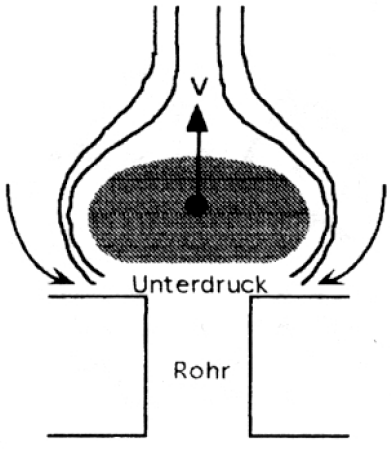


Abb. 4: Rauchpilz beziehungsweise Rauchring bei der Entstehung.

heißt, die Masse des "Rauchrings" verdoppelt sich während seiner Entstehung. Da die Energie erhalten bleiben muß, verringert sich die Geschwindigkeit noch einmal.

Nach Helmholtz stellt ein solcher Rauchring für kurze Zeit näherungsweise (abhängig von seiner Geschwindigkeit) einen idealen Wirbel dar. Die Wirbelintensität, das Produkt aus Wirbelquerschnitt und Winkelgeschwindigkeit, bleibt kurz nach der Entstehung bis zur Auflösung dieselben beziehungsweise bis zum Erreichen eines speziellen Energiezustandes erhalten und größtenteils konstant. Der zweite Helmholtzsche Satz - Wirbel können in einer Flüssigkeit nicht beginnen oder enden - ist ebenso durch die perfekte Ringstruktur erfüllt. Diese Ringstruktur gibt dem Gebilde auch die nötige Steifigkeit.

Ebenso ist der Kelvinsche Satz von der Erhaltung der Zirkulation erfüllt. Vor der Wirbelbildung beobachtet man nur laminare Strömung im Rohr, während sich nach der Wirbelablösung die Einzelzirkulationen der beiden Wirbel (im Querschnitt) kompensieren.

Nun wird die Bedeutung der Pappröhrchen klar. Es erhöht sich die Reibung im Inneren des Zylinders (im einfachsten Fall ein Loch), je länger das Röhrchen bzw. je rauher die Innenwand ist. Das heißt, das Geschwindigkeitsprofil wird ausgeprägter, der Rauchpilz schlanker und länger.

Es gibt zwei Möglichkeiten, wie sich ein Rauchring auflöst: Durch die innere Reibung beziehungsweise durch die Reibung mit dem umgebenden Fluid verliert der Torus an Energie und Masse. Der Rauchring löst sich buchstäblich in Luft auf. Hat der Rauchring aber eine gewisse Grenzgeschwindigkeit (direkt nach der Entstehung) überschritten, so nimmt man einen interessanten Effekt wahr: Der Rauchring verliert ebenso Masse wie Geschwindigkeit. Er nähert sich der Grenzgeschwindigkeit an. Der Rauchring besitzt dann eine bestimmte Energie. In diesem Zustand verändert der Rauchring schlagartig seine Form. Der Rauchring ist an der Oberfläche nicht mehr glatt, sondern es hat sich ein Schlauch um den Torus gelegt, der letztendlich den Rauchring einschnürt. Warum es zu diesem Phänomen kommt, wird noch zu klären sein, aber die Parallelität zu Bénard-Zellen ist verblüffend. Vielleicht kann die Chaostheorie eine Lösung anbieten.

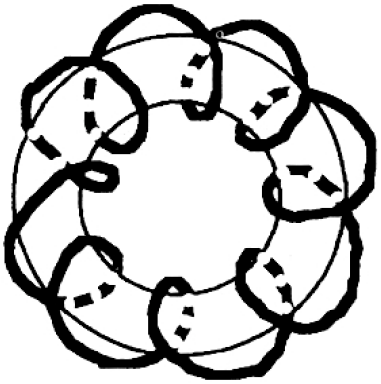


Abb. 5: Rauchring, der von einem Schlauch eingeschnürt wird.

Eine interessante Frage ist aber auch, was passiert, wenn das Rohr nicht rund ist, sondern quadratisch. Es entsteht ebenfalls ein Rauchring, denn das Geschwindigkeitsprofil, das sehr wichtig für den Rauchring ist, ist nicht eckig. Eine weitere Erklärung wäre das Energieminimalprinzip, das der Torus erfüllt.

Verwendet man anstelle eines Quadrates ein Rechteck so macht sich noch ein weiterer Effekt bemerkbar: Der Rauchring beginnt um seine Idealform zu oszillieren.

Es muß aber nicht unbedingt ein Rechteck sein. Mit zwei benachbarten Löchern in einem Karton oder einem Dreieck läßt sich dasselbe zeigen. Bei der Apparatur mit zwei benachbarten Löchern ist wieder die Erhaltung der Masse und Energie bewiesen. Kurzfristig existieren zwei verschiedene Rauchringe, die dann aber ineinander übergehen.

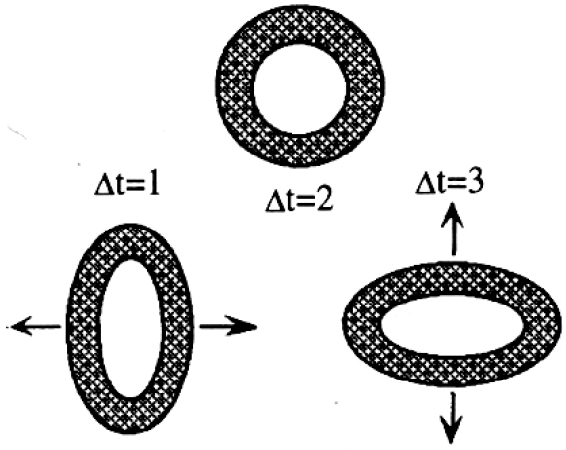


Abb. 6: Die beiden Extrema bei der Oszillation und die Idealform des Rauchrings (Mitte).

Es gibt noch eine weitere Möglichkeit, Rauchringe und deren Phänomene zu beobachten - einfach einen Tintentropfen in ein Glas Wasser fallen lassen. Im Prinzip ist es dasselbe Phänomen, nur die Zähigkeit ist eine andere. Dieses Experiment hat den Vorteil, daß es sehr leicht aufzubauen und unempfindlich gegenüber Luftturbulenzen im Klassenzimmer ist - solange das Wasserglas nur ruhig genug steht. Die Ringe sind natürlich viel kleiner, aber wenn man das Wasserglas auf den Overheadprojektor stellt, kann man die Ringe leicht an die Wand projizieren.

Anschließend darf ich Ihnen noch viel Erfolg beim Experimentieren wünschen. Zugleich möchte ich mich aber auch bei meinen Kollegen Christian Rupp und Lothar Bodingbauer für ihre tatkräftige Unterstützung bedanken.

Freihandexperimente

Schon versucht? Wir Wunderheiler

Werner Rentzsch

Bedarf: Kalium- oder Ammoniumthiocyanatlösung (ca.3%ig), verdünnte Eisen(III)chloridlösung, weißes Papier oder weiße Porzellanwanne, Stanleymesser mit ausfahrbarer Klinge, durchsichtiges Klebeband, Wattestäbchen, zwei "Medikamentenfläschchen", Watte, Gummihandschuhe, Küchenrolle.

Vorbereitung: Die sehr schwach salzsaure Kaliumthiocyanatlösung (einige Tropfen verdünnte Salzsäure zusetzen) füllt man in ein Weithals-Schraubgefäß und beschriftet mit dem Wort "ALKOHOL". Die Eisen(III)-chloridlösung kommt in eine braune Flasche - beschriftet wird mit dem Wort "IODLÖSUNG". Auf die in der Hand liegende Seite des Stanleymessers klebt man ein Wattestäbchen derart, daß das Stäbchen bei ausgefahrener Klinge nicht sichtbar ist.

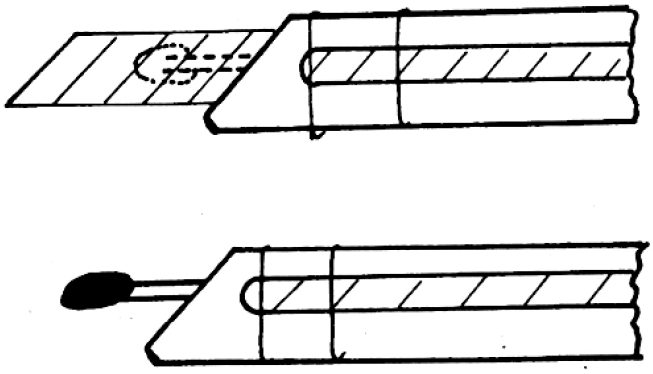


Abb. 1

Ablauf und Beobachtung: Bei dieser "Operation" (Experiment) ist es wichtig, sein schauspielerisches Talent zur Geltung kommen zu lassen. Man behauptet operieren zu können, ohne bleibende Wunden und Narben. Eine "freiwillige" Versuchsperson wird ausgewählt. Man ersucht sie, sich den Unterarm freizumachen und mit der Innenseite nach oben auf das vorbereitete weiße Papier (oder Porzellanwanne) am "Operationstisch" zu legen. Nun zieht man sich Gummihandschuhe an und tränkt einen Wattebausch mit der "Iodlösung" - "vor der Operation muß die Haut vollkommen keimfrei sein; ich verwende dazu immer noch die gute alte Iodlösung". Mit der Flüssigkeit wird die zu "operierende" Stelle fest betupft. Der Arm sollte so flach am Tisch liegen, daß die Lösung die Haut benetzt und nicht abrinnt. Das vorbereitete "Skalpell" wird derart zur Hand genommen, daß das festgeklebte Wattestäbchen durch die ausgefahrene Klinge verdeckt ist. "Auch die Klinge muß desinfiziert werden, wir wollen ja keine Komplikationen durch Blutvergiftung". Unbeobachtet vom Publikum fährt man die Klinge vollständig ein und taucht das Messer mit dem Wattestäbchen in das "Alkoholfläschchen". Mit dem getränkten Wattestäbchen zieht man schnell einen geraden "Schnitt" und zwei bis drei "Querschnitte" durch das "Operationsfeld".

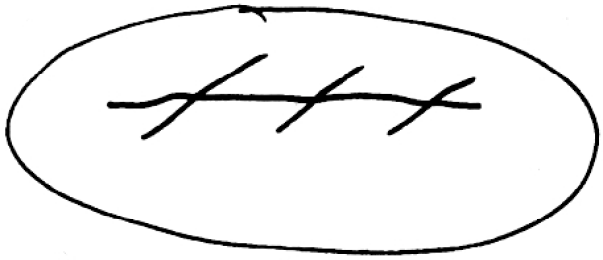


Abb. 2

Das Messer mit dem Wattestäbchen legt man so ab, daß es vom Publikum nicht mehr gesehen werden kann. Aus den "Schnitten" quillt dunkles "Blut". "Die Schnitte sind gut geführt, jetzt wollen wir sehen, ob Wunden geblieben sind". Der Arm wird mit Küchenrolle abgetupft und präsentiert. "Die Operation ist geglückt, die Wunde hat sich ohne Narbenbildung geschlossen." Die braune "Iodlösung" sollte sofort nach dem "Eingriff" mit warmem Wasser und Seife abgewaschen werden.

Erklärung: Die braune Eisen(III)-chloridlösung wird für Iodlösung und die farblose Thiocyanatlösung für Alkohol gehalten. Es bildet sich auf der Haut eine Farbreaktion aus Kaliumthiocyanat und Eisen(III)-chlorid.

$$FeCl_3 + 3\ KCNS \rightarrow Fe(CNS)_3 + 3\ KCl$$

Hinweise:

- Die Art der Präsentation hängt stark vom Alter des Publikums ab. Bei jüngeren Schülern, speziell bei der Versuchsperson, kann die Vorführung für wirklich gehalten werden (ev. Versuchsperson vorher "einweihen").
- Besonders gut wirkt der Versuch bei Personen mit sehr weißer Haut.
- Bei der Durchführung des "Schnittes" ist darauf zu achten, daß die Klinge wirklich vollständig eingeschoben ist - Verletzungsgefahr.
- Die Lösung sollte vor dem eigentlichen Versuch ausprobiert werden (intensives Rot ist eindrucksvoll); günstig ist es auch, die entscheidenden Handgriffe vorher alleine auzuprobieren.

Für den schnellen Heilungsprozeß kann die folgende Erklärung gegeben werden. "Durch ein besonders scharfes Spezialmesser mit Ultrawellenschliff und die schnelle, kurze Schnittführung heilt die Wunde unmittelbar nach der Operation zu und bildet keine Narben."

Verwendete Literatur:

Bukatsch/Krätz/Probeck/Schwankner: *So interessant ist Chemie.* Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln 1987

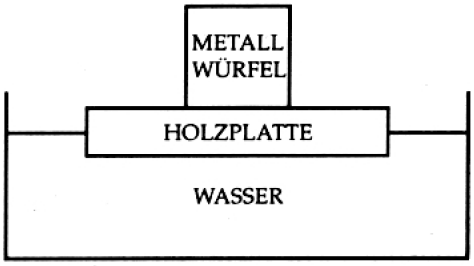
Kral/Rentzsch/Weissel: *Einfache chemische Experimente für Schule und Ausbildung.* Klett Verlag, Stuttgart 1988

Aufgabenecke

Helmuth Mayr

Dichte

In einem quaderförmigen, mit Wasser gefüllten Trog schwimmt eine Holzplatte, auf der sich ein Metallwürfel befindet.



Das einzig verfügbare Meßgerät ist ein Lineal.

Erfinden Sie eine Methode, um mit dieser Anordnung die Dichte des Metallwürfels zu bestimmen, ohne die Dichte der Holzplatte zu kennen!

Daten

Dichte des Wassers = 1000 kg/m^3
Fallbeschleunigung 10 m/s^2

Brausepulver

Wilhelm Haslauer

Geräte: Bechergläser oder Gläser aus der Küche

Chemikalien:

Speisesoda $NaHCO_3$ (Natriumhydrogenkarbonat)
Zitronen-, Wein- oder Ascorbinsäure (Vitamin C)
Zucker (Rüben- oder Traubenzucker)

Vorgang: Mischen der Chemikalien oder Zutaten nach folgendemVerhältnis

1 Teil Speisesoda
2 Teile Zucker
1 Teil Säure

Gut geeignet für Schülerversuch (Verbindung mit HW)

Vorsicht: nur kosten und zum Trinken verwenden, wenn sicher ist, daß die verwendeten Chemikalien rein sind, womöglich frisch im Lebensmittelhandel besorgen, auch auf reine Gläser achten!

Mit H_2O entsteht eine perlende Limonade!

Hinweis: Das freiwerdende Gas kann mit Kalkwasser als CO_2 identifiziert werden.

Wilhelm Haslauer, Wienerstr. 21, 3250 Wieselburg

Knobelei im D-Zug

Frau Alberta Zweistein saß während einer langen, ermüdenden Fahrt allein in einem Waggon-Abteil des D-Zuges von Ahstadt nach Beheim. Draußen rauschte ein "Schnürl-Regen" vom Himmel, im Coupe jedoch war es angenehm warm. Nachdem Frau Zweistein alle mitgebrachten Zeitschriften ausgelesen hatte, blickte sie trüb umher. Die Aussicht, bis zum Eintreffen in Beheim noch eine Stunde untätig herumsitzen zu müssen, behagte ihr gar nicht!

Als ihr Blick jedoch auf die Scheiben des Abteiles fiel, erhellte sich ihre Miene zusehends: Da gab es ein kleines Problemchen, das sie zu knacken beabsichtigte !

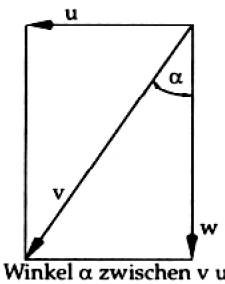
"Wie kann ich", dachte sich Frau Zweistein, "aus den Spuren der Regentropfen auf der Scheibe die Fallgeschwindigkeit dieser Tropfen bestimmen ?" Beim Herumsuchen fand sie als geeignete Meßgeräte lediglich ein Lineal und ihre Armbanduhr. (Ihren Taschenrechner betrachtete sie nicht als Meßgerät im engeren Sinn).

Können Sie auch ein Verfahren angeben, mit dem Sie die Fallgeschwindigkeit dieser Tropfen nur mit den erwähnten Hilfsmitteln bestimmen können ?

Lösung:

Bei einem "Schnürl-Regen" fallen die Regentropfen lotrecht herab. (Es geht so gut wie kein Wind). Die auftreffenden Tropfen zeichnen somit ein schräges Muster von annähernd parallelen Linien auf die Scheibe: Die Vertikal-Komponente entsteht durch die Fallgeschwindigkeit, die Horizontal-Komponente entsteht durch die Zugsgeschwindigkeit. (Bewegt sich beispielsweise der Zug von links nach rechts, bewegt sich folglich der Tropfen von rechts nach links).

Daher ergibt sich folgendes Diagramm:



u .. Horizontal-Komponente
v ... Resultierende
w... Vertikal-Komponente

Der Winkel α zwischen v und w genügt der Beziehung:

$$\tan \alpha = u/w$$

Für die Fallgeschwindigkeit w gilt demnach:

$$w = u \cdot \cot \alpha$$

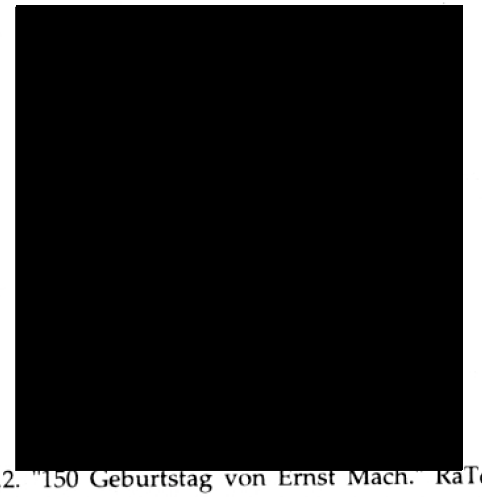
Die Zugsgeschwindigkeit u kann man "direkt" mit Hilfe der am Bahndamm angebrachten Kilometerangaben und der Armbanduhr bestimmen. Den Winkel α bestimmt man durch Abmessen von Horizontal- und Vertikalkomponente der Spur des Regentropfens. Der Rest ist Sache des Taschenrechners (oder einer Abschätzung).

Zahlenbeispiel:
Bei einer Zugsgeschwindigkeit von zirka 30 m/s (= 108 km/h) und einem Winkel von etwa 60° ergäbe dies:

$$w = 30 \text{ m/s} \cdot \cot 60^\circ = \text{ca. } 17 \text{ m/s (= ca. 62 km/h)}$$

Große Köpfe - kleine Marken

Wissenschafter auf Briefmarken



1988, 19.2. "150 Geburtstag von Ernst Mach." KaTdr/StTdr.; Kz. 141/4:131/2. (Physiker, 1838-1916). Nr. 1942 im Austria-Netto-Katalog. S 6,00, mehrf., Auflage 3.100.00.

Ernst Mach

Karlheinz Seeger

Herkunft, Jugend und Studium

Ernst Waldfried Joseph Wenzel Mach wurde am 18. Feber 1838 in Chirlitz/Chrlice in Mähren als erstes von drei Kindern des Ehepaares Johann und Josephine Mach geboren. Die Familie stammte aus Liebenau/Hodkovice in Böhmen. Ur- und Großeltern waren Weber und Kleinbauern. Der Vater war mit zwölf Jahren in eine Piaristenschule eingetreten, hatte an der Universität Prag zwei Jahre Philosophie studiert und war schließlich Lehrer an einem Gymnasium geworden. Die Mutter entstammte einer Chirlitzer Beamtenfamilie. Zwei Jahre nach der Geburt des Sohnes übersiedelt die Familie nach Untersiebenbrunn bei Wien, und der Vater findet eine Stelle in Wien als Hauslehrer für die beiden Kinder des Barons Breton.

Ernst Mach ist ein schwaches Kind, das sich nur langsam entwickelt. Zwei Schwestern kommen noch auf die Welt. Den Schulunterricht führt der Vater neben seinem Beruf selbst durch. Mit neun Jahren tritt Ernst zwar in das Stiftsgymnasium in Seitenstetten bei Amstetten ein, verläßt es jedoch ein Jahr später wieder, da er Schwierigkeiten in griechischer und lateinischer Grammatik hatte. Im Alter von zehn Jahren erlebt er die Revolution von 1848 mit. Die Eltern sympathisieren mit den Revolutionären; ein Flüchtling wird sogar kurzfristig auf dem Landgut der Eltern verborgen gehalten. Wie viele andere Liberale denken auch die Eltern an Auswanderung nach Amerika, und als Vorbereitung dazu wird der Sohn zwei Jahre lang zweimal pro Woche halbtags als Schreiner ausgebildet. Mit 15 Jahren tritt Ernst wieder in ein Gymnasium ein, diesmal in Kremsier/Mähren, und erwirbt dort zwei Jahre später die Matura. Physik und Naturgeschichte finden sein spezielles Interesse. In der väterlichen Bibliothek liest er Kants *Kritik der reinen Vernunft* in einer von Kant selbst gekürzten Ausgabe ("Prolegomena"), befaßt sich also bereits mit Philosophie.

Mit 19 Jahren beginnt Ernst Mach das Studium der Mathematik und Physik an der Wiener Universität. Seine Physikprofessoren sind u. a. Andreas von Ettingshausen und August Kunzek. Ettingshausen ist heute noch weltweit bekannt durch den von ihm entdeckten thermomagnetischen Effekt. Er ist übrigens der erste Professor an einer deutschsprachigen Universität, der reguläre Laborübungen in Physik abhielt. Sein Nachfolger wird dann wenige Jahre später, nämlich ab 1866, Josef Stefan, zu Machs Studienzeit noch Dozent. Mathematik unterrichtet Petzval, der für den ersten Entwurf einer achromatischen Linse bekannt geworden ist. Petzval setzt in der Vorlesung die Kenntnis der Differential- und Integralrechnung voraus, und Mach muß sich diese Kenntnis aus Büchern nebenbei aneignen. Trotzdem gelingt es Mach, das Doktorat nach nur vier Jahren Studium zu erwerben. Seine erste Arbeit handelt *Über elektrische Entladung und Induktion*. Für weitere physikalische Untersuchungen fehlen aber die Mittel. Nun gibt es aber bereits eine blühende Wiener Medizinische Schule, und so wendet sich Mach mehr der Medizin zu, insbesondere der Sinnesphysiologie. Zweifellos auch zur Fristung seines Lebensunterhalts hält er auch populäre Vorträge, z. B. über "Psychophysik". Ebenso referiert er über die Helmholtzsche Lehre der Tonempfindung sowie über Musiktheorie. Zeitweise gibt er, um Geld zu verdienen, Privatstunden in Mathematik und sogar Volksschulunterricht. Unter diesen Umständen sind seine Ausgaben für Klavierunterricht gewissermaßen ein Luxus. Seine wissenschaftlichen Arbeiten tragen ihm ein Stipendium der Wiener Akademie der Wissenschaften ein, wodurch seine finanziellen Sorgen wesentlich gelindert werden. Er beschäftigt sich mit Problemen der Blutzirkulation, der Mechanik des Herzens, der Physik des Ohres und des Auges sowie mit der Wärmeökonomie der Tiere. An der Universität hält er Vorlesungen: *Physik für Mediziner, Methoden der physikalischen Forschung, Höhere physiologische Physik* und *Die Prinzipien der Mechanik und der mechanischen Physik in ihrer historischen Entwicklung*. Viele seiner Vorlesungen gibt er spä-

Prof. Dr. Karlheinz Seeger,
Institut für Festkörperphysik, Universität Wien, 1090 Wien

ter in Buchform heraus. Einen Freund gewinnt Mach in dem Schriftsteller und Ingenieur Josef Popper-Lynkeus, der übrigens ebenso wie er vom Widerwillen gegen den damaligen Klerikalismus erfüllt war.

Professuren in Graz, Prag und Wien

Bereits 1864, im jugendlichen Alter von nur 26 Jahren, wird Mach zum Ordinarius für Mathematik nach Graz berufen, wobei ihm auch das Recht eingeräumt wird, über Physik zu lesen. Zwei Jahre später wird er dort auch zum Physikprofessor bestellt. Zwar hat er dort weder ein Institut noch eine Dotation, sodaß er sich alle Apparate aus seinen Privatmitteln anschaffen muß, doch ist er jetzt immerhin von den drückendsten Finanzsorgen befreit. Hier in Graz lernt er auch Ludovica (Louise) Marrusig kennen, eine "Vollwaise", wie er sagt, und damit meint, daß die Heirat am 1. August 1867 eine Liebesheirat ist. Aus der Ehe gingen vier Söhne und eine Tochter hervor.

Im April 1867, nach nur dreijähriger Tätigkeit in Graz, wird Mach nach Prag, also noch innerhalb der österreichisch-ungarischen Monarchie, berufen, wo er dann 28 Jahre lang unterrichtete. An der Universität Prag lehrten teils deutsche, teils tschechische Professoren, und bei jeder Neubesetzung einer Lehrkanzel tobte der Kampf unter dem nationalen Gesichtspunkt, eine Problematik also, die einem ruhigen Gelehrtendasein nicht gerade förderlich sein konnte. Hinzu kam, daß Mach 1872 zum Dekan der Philosophischen Fakultät gewählt wird, 1879 zum Rektor der Universität, und in diesen Funktionen konnte es kaum ausbleiben, daß er in den Nationalitätenstreit hineingezogen wird, so sehr er selbst die Nationalitätsidee für eine bedauerliche Borniertheit hält. Er sieht es als seine Pflicht an, hier für Humanität einzutreten, und lehnt 1882 einen Ruf nach Jena und 1885 einen Ruf nach München ab, um vor seinen Kollegen nicht als Deserteur dazustehen. Von deutscher Seite, unterstützt von Mach als Rektor, wird nun die Wiener Regierung ersucht, eine zweite Universität für die Tschechen in Prag zu errichten. Die Tschechen dagegen beanspruchen die Karls-Universität ebenfalls für sich. Als Kompromiß wird von Wien eine Teilung der Universität verfügt, und Mach wird 1883 zum ersten Rektor des deutschen Teils gewählt. Aber bereits im folgenden Jahr legt er das allzu schwierig gewordene Amt zurück.

Elf Jahre später, 1895, folgt er dann doch einer Berufung, zwar an die Universität Wien, aber nur mehr auf eine Lehrkanzel für Philosophie, wo er noch sechs Jahre lang wirken sollte. Ein Jahr zuvor, 1894, hatte ihn der Freitod eines seiner vier Söhne schwer getroffen. 1898 erleidet er einen Schlaganfall während einer Eisenbahnfahrt, der ihm die rechte Körperhälfte lähmt. Von 1901 bis 1913 lebt er als Emeritus in Wien, dann zieht er zu einem seiner Söhne, Ludwig, auf dessen Wunsch nach Vaterstetten bei München. Ludwig hilft ihm bei den Experimenten und bei der Herausgabe seiner Bücher. Einen Tag nach seinem 78. Geburtstag, am 19. Feber 1916, ereilt ihn im Nachbarort Haar der Tod.

Physikalische Arbeiten in Wien, Graz und Prag

Im Jahre 1860 gelingt ihm ein schöner experimenteller Nachweis einer in Wien von Doppler 1842 aufgestellten Theorie: Die bei Annäherung oder Entfernung einer Schall- oder Lichtquelle vom Empfänger wahrgenommene Frequenz ist erhöht bzw. erniedrigt. Für Schall wurde dieser Effekt bereits 1845 bei schnellfahrenden, pfeifenden Dampflokomotiven beobachtet. Mach schlug vor, die Violettverschiebung (bei Annäherung), bzw. Rotverschiebung (bei Entfernung) der Spektrallinien von Sternen als Doppler-Effekt von Licht zu deuten und daraus die Geschwindigkeit der Sterne relativ zur Erde zu berechnen.

Mach ist auch der erste, der schon im Jahre 1889 in Prag, zu einer Zeit, da es weder Kinematographie noch Flugzeuge gab, Funkenaufnahmen der Bahnen fliegender Geschoße macht und dabei feststellt, wie sehr sich das Strömungsbild in der Umgebung eines bewegten Projektils ändert, wenn es die Schallgeschwindigkeit überschreitet. Er hat die von dem Geschoß durchlaufene Bahn mit Mehrfachfunken von gleichem zeitlichem Abstand belichtet und aus dem Abstand der so erhaltenen fotografischen Reihenbilder dann recht genau die Geschwindigkeit bestimmen können ("Stroboskopie"). Auf diese Weise wird er zum Pionier auf dem Gebiet der Kurzzeit-Fotografie und des Überschallflugs, und es ist daher durchaus berechtigt, daß man das Verhältnis der Bewegungsgeschwindigkeit eines Körpers zur Schallgeschwindigkeit als "Mach-Zahl" eingeführt hat. Erst nach Machs Tod wurde allerdings der ruckartige Vorgang beim "Durchbrechen der Schallmauer", d. h. beim Überschreiten der Schallgeschwindigkeit, beobachtet.

Worin besteht das zu Machs Ehren benannte Prinzip? Mach hat den von Newton in seiner Theorie der Gravitation 1687 postulierten "absoluten Raum" abgelehnt und nur relative Lageänderungen zweier Körper zueinander als sinnvollen Gegenstand der physikalischen Betrachtung angesehen. In Machs Kritik des Newtonschen Eimerversuchs wird behauptet, daß die Trägheitserscheinungen, zu denen ja auch die Fliehkräfte gehören, nicht allein von der Masse und dem Bewegungszustand des betreffenden Körpers bestimmt seien, sondern auch noch von der Masse und Bewegung der übrigen Körper in der Umgebung abhängen. Dieses "Machsche Prinzip" hat dann Albert Einstein zur Entdeckung seiner Relativitätstheorie angeregt. Allerdings verwahrte sich Mach später gegen die Rolle eines Wegbereiters Einsteins und kritisierte die Relativitätstheorie.

Eine weitere Kritik von Mach betrifft die damalige Atomhypothese. Mach hält unbewiesene Vorstellungen, die nur der Veranschaulichung halber eingeführt werden, für überflüssig und eventuell irreführend. Zur damaligen Zeit hatte noch niemand Atome "gesehen", und ihre Existenz wurde von vielen Physikern nur angenommen. Mach dagegen glaubt, daß die Naturgesetze nur eine ökonomische Art und Weise darstellen, eine große Menge von Beobachtungen zu beschreiben. Und die Atomannahme sei hierfür nicht notwendig, behauptet Mach. Erst als man ihm in den letzten Jahren vor sei-

nem Tod die Lichtblitze von Alphateilchen auf einem Leuchtschirm vorgeführt hatte, soll er sich geschlagen gegeben haben. Jedoch sollte man diesen Irrtum eines ansonsten genialen Forschers nicht allzu hoch bewerten. Vielleicht ist ihm aber doch aus diesem Grund trotz der Bemühungen sehr angesehener Fachkollegen der Nobelpreis für Physik versagt geblieben.

Schließlich studiert er auch die Geschichte der Naturwissenschaften. Über die Untersuchung der Wege, die die naturwissenschaftliche Forschung einst gegangen ist, stößt er auf wissenschafts- und erkenntnistheoretische Fragestellungen. Mit seiner Methodenlehre versucht er, über die Beschreibung der Eigentümlichkeiten von Elementen- und Relationen-Mannigfaltigkeiten nach dem Prinzip der logischen Ökonomie im Bereich einer Wissenschaft erworbene Erfahrungen auch für deren Nachbardisziplinen fruchtbar zu machen.

Mach als Philosoph

Mach wollte selbst niemals als Philosoph gewertet werden. Er hatte nie die Absicht, Philosophie zu treiben, sondern nur auf dem einem Naturforscher zugänglichen und vertrauten Gebiet Überlegungen anzustellen, welche ihm für seine Arbeit nützlich werden könnten. Und doch war er eigentlich ein philosophischer Geist. Er war ein Theoretiker der Erkenntnis im allgemeinen, nicht nur der physikalischen. In seine Physikbücher (Mechanik, Optik, Wärmelehre) hat er auch grundsätzliche Darlegungen über die Erkenntnis eingestreut. Alles, was sich nicht durch Erfahrung, also das Experiment, nachweisen läßt, versucht er auszuschalten. Als rein philosophische Bücher von Mach sind anzusehen: *Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen* (1886) und *Erkenntnis und Irrtum; Skizzen zur Psychologie der Forschung* (1905). Nach Mach sind der Leib und das "Ich" Komplexe von Sinnesempfindungen, die zueinander in Beziehung stehen. Daraus resultiert nach Mach der Zusammenhang von Sinnesphysiologie und Psychologie. Philosophisch gesehen präsentiert sich Mach als "Monist". Ein weiteres Prinzip, das Mach und - unabhängig von ihm etwa gleichzeitig - Avenarius vertritt, ist die denkökonomische Funktion der Wissenschaft. Z. B. beim Rechnen werden die Zählvorgänge von Objekten als von der Art der Objekte unabhängig erkannt und in abstrakter Form eingeübt. In seinen *Leitgedanken meiner naturwissenschaftlichen Erkenntnislehre* (1910) hat er diesen Gedankengang expliziert. Er möchte zu einer von spekulativ-metaphysischen Zutaten freien Weltauffassung kommen. Diese Tendenz weist ihn den "Positivisten" zu. Als Lehrer der Philosophie hat er sich auch mit der historischen Philosophie auseinandergesetzt. Hume, Descartes, Leibniz und Kant hat er kritisch betrachtet, aber auch mit den zeitgenössischen Philosophen ist er in Kontakt getreten. Nach der russischen Revolution 1905 entstand unter der Wirkung der Machschen und Avenariusschen Philosophie innerhalb der Bolschewiken eine Verunsicherung über die philosophischen Grundlagen des Marxismus. Lenin schrieb deshalb 1909 eine philosophische Streitschrift gegen Mach, auf die Mach selbst aber niemals reagierte, teils weil er des Russischen nicht mächtig war, teils auch wegen des teilweise parteipolitischen Charakters der Schrift. Max Planck andererseits fand Machs Positivismus allzu revolutionär und kritisierte ihn öffentlich. Die Nachwirkung von Machs Philosophie erstreckte sich bis in die dreißiger Jahre dieses Jahrhunderts. Z. B. innerhalb des "Wiener Kreises" wurde ein eigener neopositivistischer Verein "Ernst Mach" gebildet. In der Pariser Ausstellung von 1986 *Vienne 1880 - 1938, l'apocalypse joyeuse* wurde Ernst Mach ein eigener Abschnitt gewidmet, in dem der tiefgreifende Einfluß der Machschen Philosophie auf die Denkweise und auf die Kunst der Jahrhundertwende dargelegt wurde (nach V. Kraft, Almanach 116 [1967] 373 der Österr. Akademie der Wissenschaften, Wien).

Machs Persönlichkeit

Mach war ebenso wie sein Vater eine ausgesprochene Lehrerpersönlichkeit. Die Weitergabe gewonnener Erkenntnisse in mündlicher und vor allem auch in Buchform lag ihm besonders am Herzen. Sein leichtlesbarer Schreibstil verursacht im Leser eine intellektuelle Freude und Befriedigung. Aufgrund seiner langen Lehrerfahrung weiß er, daß Wichtiges zwei- oder gar dreimal, jeweils in etwas anderer Form, wiederholt werden muß, um "anzukommen". Hinzu kommt sein starkes menschliches und soziales Interesse. Schon in seiner Jugend erwirbt er eine natürliche Wertschätzung für die handwerkliche Tätigkeit, die für einen Experimentalphysiker so wichtig ist und die er bei seinen späteren Philosophiekollegen öfters vermißt. Hinzu kommt seine große Bescheidenheit, die ihn ebenso wie seine demokratische Gesinnung dazu veranlaßt, 1901 den ihm angebotenen Adelstitel abzulehnen. Die daraufhin erfolgte Ernennung zum Mitglied des Österreichischen Herrenhauses nimmt er an. Bezeichnend für ihn ist auch, daß er in seinem Testament für sich ein möglichst einfaches Begräbnis bestimmt und die ersparten Kosten dem Volksbildungsverein und der *Arbeiterzeitung* widmet.

Durch folgende Auszeichnungen wurde Ernst Mach in Anerkennung seiner großen wissenschaftlichen Leistungen geehrt: 1876 durch Verleihung des Titels "Regierungsrat"; 1896 durch Verleihung des Titels "Hofrat"; 1901 Mitglied des Herrenhauses; Ehrendoktorat der Universität Tübingen; Mitglied der folgenden Akademien: Wien, Halle, München und Göttingen sowie des Instituto de Coimbra; zahlreiche Ehrenpreise und Medaillen, u. a. 1909 Kommandeurkreuz 1. Klasse des kgl. norwegischen St.-Olaf-Ordens sowie Kaiser Franz-Joseph-Orden (Österreich); Ehrenmal im Wiener Rathauspark; Ernst-Mach-Archiv in Freiburg/BRD.

(Für die Erlaubnis zum Nachdruck dieses Artikels sei der Postdirektion gedankt.)

11. Treffen des Arbeitskreises "Computer im Physikunterricht"

Persönliche Eindrücke eines Teilnehmers

Franz Gigl

Am 8. und 9. März 1993 fand in der oberösterreichischen Landeshauptstadt Linz im Informations- und Schulungszentrum für Informationstechnologien (IST-Zentrum) an der Pädagogischen Akademie der Diözese Linz das 11. Treffen des Arbeitskreises "Computer im Physikunterricht" statt. Der folgende Artikel stellt keinen vollständigen Bericht über das oben angeführte Treffen dar, sondern ich möchte darin nur kurz einige, mir persönlich als besonders interessant erscheinende Neuerungen, Ideen und Anwendungen des Computers und der Software erläutern. Ich erlaube mir daher auch, aufgrund dieser sehr subjektiven Auswahl zu verzichten, die Namen der Referenten, die dankenswerterweise die verschiedenen Entwicklungen vorstellten, anzuführen.

Als sehr beeindruckend habe ich die methodischen Möglichkeiten der Anwendung des *Fitting-Verfahrens* empfunden. Dabei werden computersimulierte Modelle an quantitative Ergebnisse physikalischer Experimente angepaßt. Versuch und Computer werden parallel eingesetzt, so daß der Schüler bei unbefriedigenden Ergebnissen seines entwickelten Modells versuchen kann, weitere Variablen aus dem Versuchsaufbau zu gewinnen und somit das Modell der Wirklichkeit ein Stück näher zu bringen, wodurch sich neue methodische Ansätze für den Physikunterricht ergeben.

Sehr gut habe ich auch die Idee gefunden, mittels *Tabellenkalkulationsprogrammen* Formeln graphisch darzustellen. Tabelle und Graphik ordnet man nebeneinander an, was z.B. im Programm Windows sehr einfach möglich ist. Für einzelne Variablen können die Werte in der Tabelle geändert werden, die Auswirkungen werden dann in der Graphik unmittelbar sichtbar.

Als originelle und vor allem kostengünstige Lösung, Meßdaten in den Computer einzuspeisen, wurde die *Maus* vorgestellt. Dabei müssen lediglich die beiden Achsen von außen zugänglich gemacht werden, wodurch eine direkte Verbindung zwischen Experiment und Computer hergestellt werden kann.

Weiters wurden interessante Anwendungen von *Internet* für den Schulbereich präsentiert, so z.B. ein Projekt namens *Shadow*. Schüler verschiedener Staaten ermittelten Daten bezüglich des Sonnenstandes und konnten so u.a. den Umfang der Erde berechnen. Eratosthenes von Kyrene hat bekanntlich bereits im 3. vorchristlichen Jahrhundert durch das Vermessen des Schattens eines lotrecht in die Erde geschlagenen Stabes an zwei verschiedenen Orten den Erdumfang berechnet. Er mußte zwischen den beiden Messungen ein Jahr verstreichen lassen, um diese bei gleichem Sonnenstand durchzuführen. Die Schüler jedoch können mittels *Internet* über große Entfernungen ihre Daten austauschen und so verschiedene Berechnungen anstellen. Die Motivation ist bei derartigen Projekten sehr groß, da ein selbständiges Arbeiten möglich ist und eine direkte Verbindung mit Schülern jenseits der Grenzen entsteht. Auch können via *Internet* täglich die aktuellen Informationen der NASA abgerufen werden, die bereits "for school and education" aufbereitet sind. Es wurde auch angeregt, daß die einzelnen Schulen in Österreich mittels *Internet* verstärkt kommunizieren könnten - z.B. zur Vorstellung interessanter Projekte, schöner Experimente usw...

Ein zentraler Punkt des Treffens war die Präsentation von *Multimedia*. Die weitreichenden Möglichkeiten, die durch den kombinierten Einsatz aller digitalisierbaren Informationen geschaffen werden, wurden in beeindruckender Weise dargestellt.

Ich möchte an dieser Stelle eine Ausnahme machen und Herrn Prof. Dr. Jack Wilson vom Center for Education, Rensselaer Polytechnic Institute, New York, namentlich anführen. Er stellte das von ihm initiierte *CUPLE-Programm* (Comprehensive Unified Physics Learning Environment) vor, an dem alle in den USA an Multimedia-Entwicklungen für den Physikunterricht beteiligten Fachleute zusammenarbeiten - eine für Europa wünschenswerte Perspektive. CUPLE stellt ein Gesamtkonzept eines neuen Physikunterrichts dar, der mit Hilfe von Multimedia neben den klassischen Experimenten und der Mithilfe des Lehrers einen individuell wählba-

Franz Gigl, AG Physikdidaktik am Institut für Theoretische Physik, Universität Wien, Boltzmanngasse 5, A-1090 Wien

ren und somit leichter und rascher verständlichen Zugang zur Physik ermöglichen soll.

Zum Abschluß sei mir noch eine ganz persönliche Bemerkung erlaubt: Es wurde zwar eine Reihe sehr leistungsfähiger und interessanter Anwendungen gezeigt, die didaktische Komponente wurde aber - bis auf wenige Ausnahmen, die den qualitativen Zugang zur Physik als den in den Vordergrund zu rückenden betonten - stark vernachlässigt. Nur wenige Referenten wiesen Gesamtkonzepte oder Untersuchungen bezüglich des Einsatzes im Unterricht vor - darauf sollte meiner Meinung nach in Zukunft mehr geachtet werden.

Computerarbeitskreis Liste der Beitragsthemen

Bethge (Univ. Bremen): *Erfahrungen und Befunde zum Computereinsatz im Physikunterricht (Modellversuch)*
Diemer, Jodl (Univ. Kaiserslautern): *Bericht aus USA, TIF - Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern*
Dobes (BG 8, Wien): *Multimedia im Physikunterricht*
Dönhoff (Landesinstitut für Schule, Soest): *Graphisch strukturierte Modellbildung und Simulation*
Duenbostl (BRG 10, Wien): *Soft- und Hardware für den Physikunterricht*
Härtel (IPN Kiel) *Computergraphik als Zwischenschritt zur Abstraktion*
Heuer (Univ. Würzburg): *Dynamische Physikrepräsentation in Realexperimenten*
Hilscher (Univ. Augsburg): *Meßwerterfassung - Benutzeroberfläche*
Jakesch (BRG 10, Wien): *Telekommunikation, NASA-News*
Krahmer (Celtis-Gymnasium Würzburg): *Mausphysik*
Krämer, Uebelgünn (Univ. Bochum): *Datenkompatibilität bei Datenerfassungs- und Modellbildungssystemen*
Kühlewind (Gymn. Berchtesgaden): *Nachbereitung physikalischer Meßreihen*
Lüder (Humboldt-Univ. Berlin): *Möglichkeiten und Grenzen computergestützter Experimente (CASSY)*
Oehme (Univ. Leipzig): *Computer im Praktikum Physik (9. Schulstufe)*
Rass, Kirstein (TU Berlin): *Meßwerterfassung mit Maus*
Richter (Landesinst. für Lehrerfortb., Halle/S.): *Aufgabenlösen mit Tabellenkalkulationsprogrammen (WORKS)*
Schwarz (Univ. Gießen): *Methodische Möglichkeiten der Anwendung des "Fitting"-Verfahrens*
Treitz (Univ. Duisburg): *Einschleichen in Gleichgewichte*
Wagner (Klagenfurt): *PELMO - Dynamische Systeme und Wellen-Felder-Teilchen*
Wilson (Rensselaer Polytechnic Institute, USA): *A Comprehensive Unified Physics Learning Environment (CUPLE)*
Zeitlhofer (BG/BRG St. Pölten): *Erfahrungsbericht zum Seminar "Messen und Auswerten mit dem PC"*

Kurzfassungen der Beiträge von Bethge, Diemer, Dönhoff, Härtel, Heuer, Kühlewind, Rass sind in einer Broschüre zusammengefaßt erhältlich.

Aktive Lehrer während der Sommerferien

Leo Ludick

Schon zum dritten Mal stand eine Ferienwoche für engagierte Physiklehrer im Zeichen eines Sommerworkshops, der vom Unterrichtsministerium als bundesweites Seminar ausgeschrieben war und vom PI-Oberösterreich geplant und betreut wurde. In Schörfling am Attersee in Oberösterreich trafen sich mehr als dreißig Teilnehmer - darunter zum ersten Mal auch 2 Kolleginnen aus der Slowakei und drei Lehramtsstudenten - um sich fachlich und pädagogisch weiterzubilden.

Es wurden die unterschiedlichsten Themen angeboten:

- Klimaänderungen durch Veränderung der Zusammensetzung der Atmosphäre
- moderne Stofftrennverfahren und Analysentechniken
- Flugphysik mit Selbstbau von Flugmodellen
- Physik in der Medizin
- Was ist zur Ozonproblematik fundiert zu sagen?
- Origami im Physikunterricht
- Ein Heißluftballon wird gebaut und die Physik dabei behandelt.
- Durchführung von Projekten im Physikunterricht
- Filme und Literatur im Physikunterricht
- neue Methoden, die Mitarbeit zu bewerten und die Schüler zu motivieren
- die Kirlianfotografie
- Sternbeobachtungshilfen im Klassenzimmer
- Erklärung der Halbleiter mit Hilfe des Bändermodells
- der Zufall in der Physik
- physikalische Aufgabenstellungen nicht nur als Rechenübungen
- Wie kann man Physik unterrichten, so daß sie nicht langweilig wird?
- Problematik der Quantenphysik in der Schule

Es war erfreulich zu sehen, mit welcher Begeisterung bis in die Nachtstunden hinein gearbeitet und diskutiert wurde. Dem bisherigen Rhythmus entsprechend soll es in den Sommerferien 1995 wieder ein solches Seminar geben.

24. Internationale Physikolympiade

Williamsburg, USA, 10. - 18. 7. 1993

Franz Diwoky, Christian Pfaffel und Ewald Rößl errangen ehrenvolle 4. Plätze bei der IPhO 1993. Sie wurden zusammen mit den beiden weiteren Teilnehmern Christina Moser und Stefan Soucek zur Jahreshauptversammlung der ÖPG nach Graz eingeladen und den Tagungsteilnehmern vorgestellt. Besonders sei an dieser Stelle dem langjährigen Olympieadeteam, Mag. Gün-Lechner und Mag. Ing. Helmuth Mayr, für Vorbereitung und Betreuung der Olympiadeteilnehmer gedankt.

Bücherecke

Karl Luchner: Fliegen - Angewandte Physik

Praxis Schriftenreihe Physik Bd. 48, 108 S., 76 Abb., DIN A5, brosch., DM 24,-, ISBN 3-7614-1300-9. Aulis Verlag Deubner & Co KG Köln

Fliegen, einst ein Menschheitstraum, heute Alltag! Eine Schatztruhe an Fragestellungen, die in viele Teilgebiete der Physik hineinreichen, liegt vor uns. Statischer Auftrieb, dynamischer Auftrieb, Eigenschaften der Luft und barometrische Höhenformel, Heißluft- und Heliumballon, Triebwerke des Jumbojets, Trägheitsnavigation, Messungen im Windkanal, stabiles Flugverhalten sind Themen, die Prof. Luchner in flotter und für den Unterricht aufbereiteter Weise präsentiert. In eindrucksvoller Weise zeigt der Autor, wie mit einfachen Überlegungen mittels der Praxis entnommenen Daten aus Formeln, die nahezu unvermeidlich im Lehrplan stehen, interessantes Wissen gewonnen werden kann. Alle Beispiele sind durchgerechnet, zahlreiche Abbildungen sorgen für Anschaulichkeit. Vom Niveau her ist das Büchlein für die Oberstufe bestimmt, jeder Physiklehrer wird jedoch darin auch Anregungen für die Unterstufe finden und selbst Genuß bei der Lektüre haben - sicher klärt sich dabei die eine oder andere (bange) Frage, an die man beim letzten Flug dachte.

H.K.

Neue Bücher

Die folgenden Bücher des Aulis-Verlags sind in der Redaktion eingetroffen. Leser, die eines dieser Bücher rezensieren wollen, mögen sich an die Redaktion wenden.

Jürgen REISS: *Alltagschemie im Unterricht.* Reihe Unterrichtshilfen Naturwissenschaften, 136 S.

Roland FRANIK: *Klausur- und Abiturtraining Chemie 4,* Säure-Base-Reaktionen, Chemisches Gleichgewicht, S. 220 S.

BECKER et al.: *Fachdidaktik Chemie,* 512 S.

Peter GROB: *Einfache Schulversuche zur Lebensmittelchemie.* Reihe Unterrichtshilfen Naturwissenschaften, 153 S.

Heinz WAMBACH et al.: *Materialien Handbuch Kursunterricht Chemie,* Band 3: Kinetik-Gleichgewichte, Massenwirkungsgesetz, 357 S.

Theodor GROFE: *Anfangsunterricht Chemie,* Sekundarbereich I, Unterrichtsbeispiele für das erste Jahr, 104 S. + Kopiervorlagen

Theodor GROFE: *Anfangsunterricht Chemie,* Sekundarbereich I, Unterrichtsbeispiele für das zweite Jahr, 114 S. + Kopiervorlagen

Jearl Walker: Ein Knick in der Optik.

Unterhaltsame Experimente aus Spektrum der Wissenschaft.

Fischer Logo (Taschenbuch), ISBN 3-596-10485-8. 157 S., zahlr. Abb., DM 16,80.

Jearl Walker, jahrelang Herausgeber der Spalte "Experiment des Monats" im Spektrum der Wissenschaft, führt in diesem Büchlein durch 12 ausgewählte Kapitel der Optik. Wie bei Walker nicht anders zu erwarten, bietet der Autor zahlreiche Experimentiervorschläge an, damit der Leser die beschriebenen Phänomene auch selbst untersuchen und weiterführen kann.

Er beginnt mit einem Paradox, das nur in der Wellentheorie des Lichtes verständlich ist, dem Poissonschen Fleck oder der Frage, was geschieht, wenn man eine kleine glatte Kugel beleuchtet. Poisson leitete aus dem Wellenmodell des Lichts ab, daß im Zentrum des Schattens der Kugel ein heller Fleck sein müsse - dies sei so absurd, daß das Wellenmodell falsch sein müsse. Das Experiment bestätigt jedoch die Vorhersage. Die im folgenden beschriebenen Experimente sind allerdings nur für Geduldige zum Nachmachen.

Leichter wird es sogleich im nächsten Kapitel "Seifenfilme". Die Faszination der Farben, die bereits Newton verspürte, wird nachvollziehbar, subtile Effekte wie die scharf abgegrenzte schwarze Färbung des oberen Randes eines vertikalen Seifenfilms werden ebenfalls besprochen. Staub auf Spiegeln gibt zu Interferenzerscheinungen Anlaß: Neben den Frauenhoferschen Interferenzringen beobachtet man die Quételetschen Ringe.

Lochkamera, Mikrofotografie, Lichtspiegelung an Christbaumkugeln, Brechung in Medien mit veränderlichem Brechungsindex und Reflektoren (Katzenaugen) sind weitere Themen. Eingehend ist die Diskussion der alten Frage "Warum ist der Himmel blau?" und der Dämmerungsfarben. Nicht verschwiegen wird, daß auch hier noch manches Detail ungelöst ist. Der Regenbogen, leider meist nur ein Thema der Unterstufe, wird eingehend im Rahmen der geometrischen Optik besprochen, was hat die Wellenoptik dazu zu sagen? Bei Nebel (Tröpfchen <0,3 mm) entstehen durch Interferenz weiße Regenbögen. Die labormäßige Untersuchung an einem Wassertropfen wäre wohl auch für Schüler lohnend.

Der Schluß des Büchleins ist den Spiegelungen an Wasserflächen und dem Schatten von Objekten im Wasser gewidmet. Verblüffende Effekte werden uns gezeigt, die wohl vielen schon aufgefallen sind, denen man aber doch nicht nachgegangen ist.

Das Buch ist mit Abbildungen gut ausgestattet, die Übersetzung der ursprünglich englisch erschienen Artikel ist akzeptabel, vom Thema und seiner Aufbereitung her ist es für alle, die "mit Neugier die Geheimnisse des Alltags zu entschlüsseln suchen", zu empfehlen. H.K.