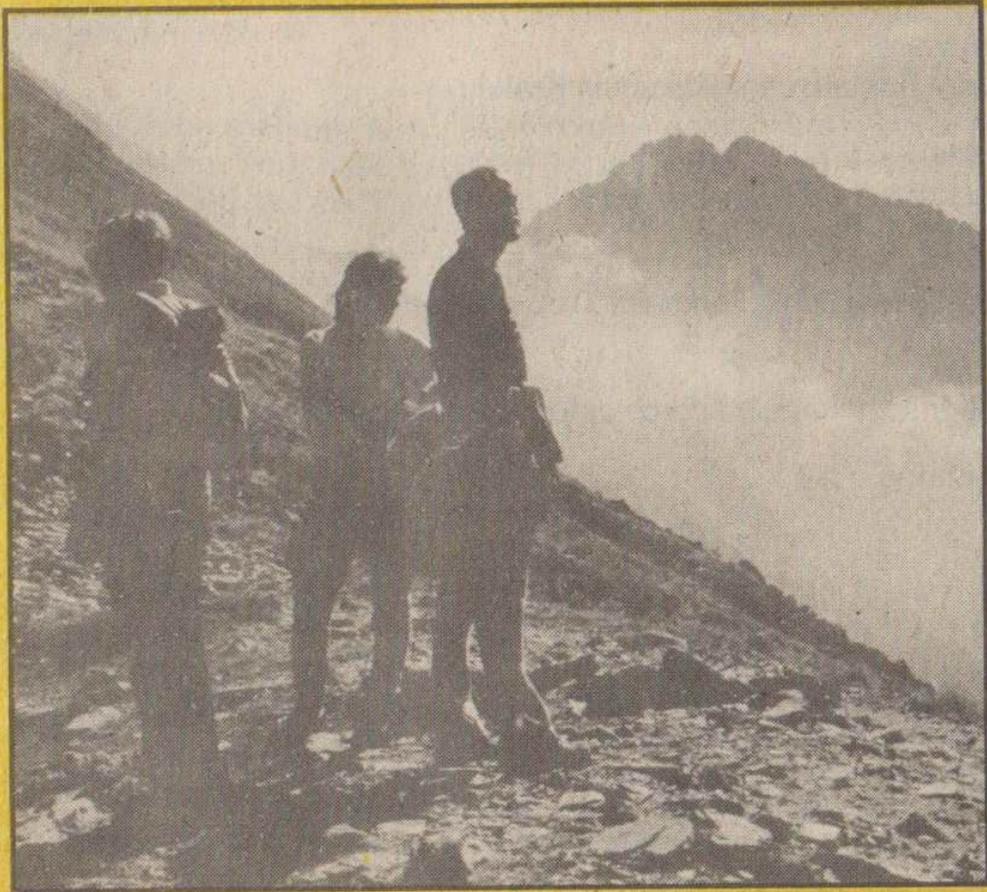


impuls

68

Schülerzeitschrift
für Physik, Chemie
und Biologie

INDEX 322004 · ISSN 0232-9220 · 23. JAHRGANG · PREIS: 0,60 M



Studentenaustausch
mit der VR Polen

1/89

impuls 68



<i>Wolfram Meinhardt</i> Einfache Solitonenexperimente	3
<i>Wolfram Meinhardt</i> Eindrücke vom Austauschpraktikum in Krakau	8
<i>Matthias Mann</i> Selbstorganisation (4. Teil)	14
<i>Thomas Richter</i> Neue Wege und Möglichkeiten beim Trockenätzen	21
<i>Reiner Strobel</i> Kürzeste elektrische Impulse durch optoelektronische Schalter	28
Buchbesprechung	31

impuls 68 – Schülerzeitschrift für Physik, Chemie und Biologie

Herausgeber: FDJ-Aktiv der Friedrich-Schiller-Universität Jena

Die Zeitschrift erscheint im Eigenverlag der Redaktion **impuls 68**

Anschrift der Redaktion: Max-Wien-Platz 1, Jena, 6900, Telefon 271 22/217

Veröffentlicht unter der Lizenznummer 1570 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der DDR.

Erscheinungsweise: zweimonatlich

Heftpreis: 0,60 M

Bezugsmöglichkeiten: durch den Postzeitungsvertrieb

Texterfassung: **impuls 68**

Textverarbeitung und Rollenoffsetdruck: Druckerei Volkswacht Gera, AN (EDV) 13228

Chefredakteur: Andreas Erdmann; stellv. Chefredakteur: Karsten König

Redaktionsmitglieder: Dr. Bringfried Stecklum, Petra Richter, Peter Kroll, Alexander Niehardt, Rainer Strobel, Wolfram Meinhardt, Jens Thole, Andreas Chwala, Klaus-Dieter Herbst, Gustavo Rodriguez Zurita

Gestaltung: **impuls 68**; Steffen Wolf

Redaktionsschluß: 10. November 1988

Titelbild: Jenaer Physikstudenten während ihres Aufenthaltes in der VR Polen – ein Ausflug in die Hoho Tatra.

Wolfram Meinhardt
Friedrich-Schiller-Universität Jena
Sektion Physik

Einfache Solitonenexperimente

Nachdem im ersten Artikel über das Thema „Solitonen“ [impuls 68 22 (1988) 3/88 S.20 bis 29] einige theoretische Grundlagen dargestellt wurden, sollen hier experimentelle Aspekte im Vordergrund stehen.

Im oben zitierten Artikel wurden als Beispiel für Solitonen bestimmte Oberflächenwellen auf Flüssigkeiten geringer Tiefe genannt. Auch bei Flüssigkeiten großer Tiefe sind Solitonen beobachtbar. Hier gilt nicht die Korteweg-de Vries-Gleichung, sondern eine andere nichtlineare Bewegungsgleichung, auf die hier jedoch nicht näher eingegangen werden soll. Die hierbei auftretenden Strukturen sind die sogenannten Envelope-Solitonen (siehe Information 1). Die stabile Ausbreitungsstruktur wird hier durch die Enveloppe des Wellenzuges gebildet (Abb. 1).

tonen (siehe Information 1). Die stabile Ausbreitungsstruktur wird hier durch die Enveloppe des Wellenzuges gebildet (Abb. 1).

Information 1: Enveloppe (Einhüllende, Hüllkurve)

Als Enveloppe einer einparametrischen Kurvenschar bezeichnet man die Kurve, die jede Kurve dieser Schar berührt und die in jedem ihrer Punkte von einer Kurve dieser Schar berührt wird.

$U(x,t)$

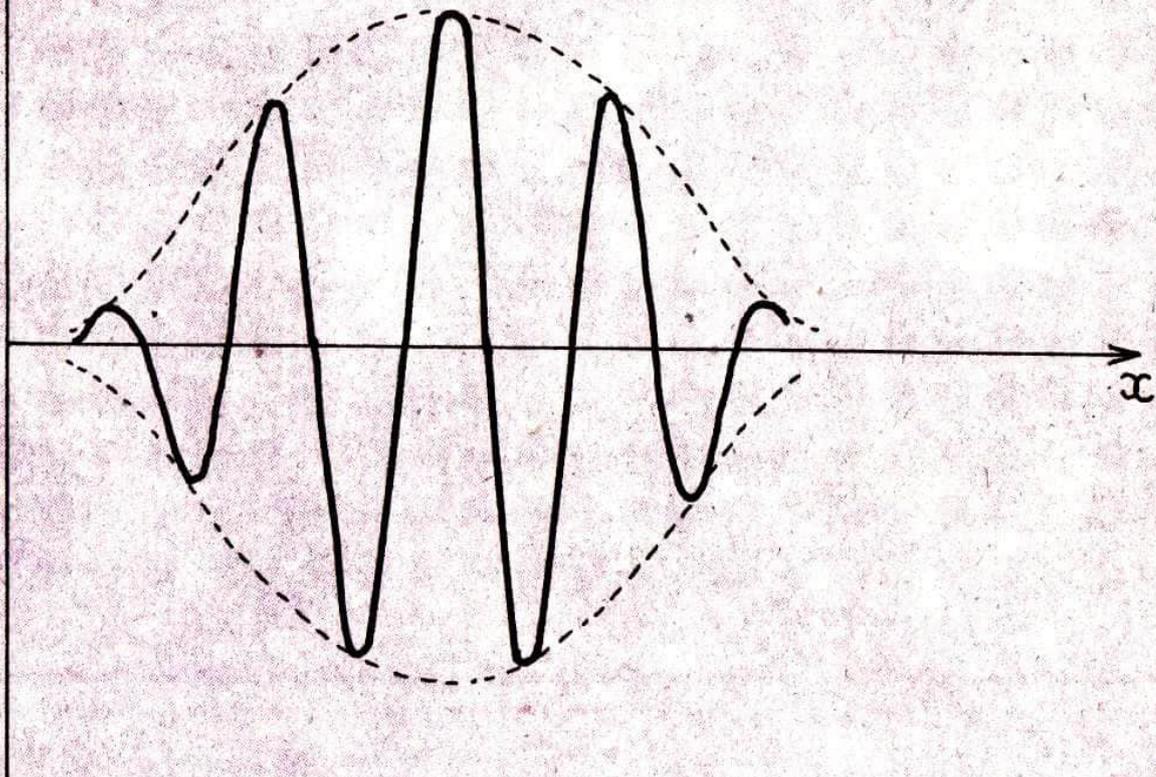


Abb. 1 Enveloppe eines Wellenzuges

Ob man eine vorliegende Anordnung als Flüssigkeit geringer oder großer Tiefe betrachten muß, hängt nicht allein von der tatsächlichen Wassertiefe ab, sondern von weiteren Systemparametern wie z. B. Dichte, Viskosität und Schallgeschwindigkeit der verwendeten Flüssigkeit.

Solitonen auf Flüssigkeiten großer Tiefe kann man experimentell untersuchen. Dabei erfolgt die Anregung im allgemeinen durch ein elektrisch steuerbares Paddelsystem in einem (tiefen) Wassertank, während bei dem von Scott-Russell beobachteten Soliton die Anregung durch einen Dampfer auf einem (flachen) Kanal erfolgte.

Der experimentelle Nachweis der Solitonen erfolgt durch die Kapazitätsänderungen eines Kondensators, dessen eine Platte durch die Wasseroberfläche gebildet wird. Die Wellenform kann damit direkt mit Hilfe eines elektrischen Signals sichtbar gemacht werden. Die typischen Eigenschaften der Solitonen können so sehr gut experimentell nachgewiesen werden.

Ein weiteres Beispiel für das Auftreten von Solitonen sind nichtlineare Gitterschwingungen in Kristallen. Wir betrachten das einfachste Modell eines eindimensionalen Kristalls, welchen wir durch eine Kette von Massenpunkten beschreiben. Zur Vereinfachung nehmen wir an, daß ein Kristallatom nur mit seinen unmittelbar benachbarten Atomen wechselwirkt

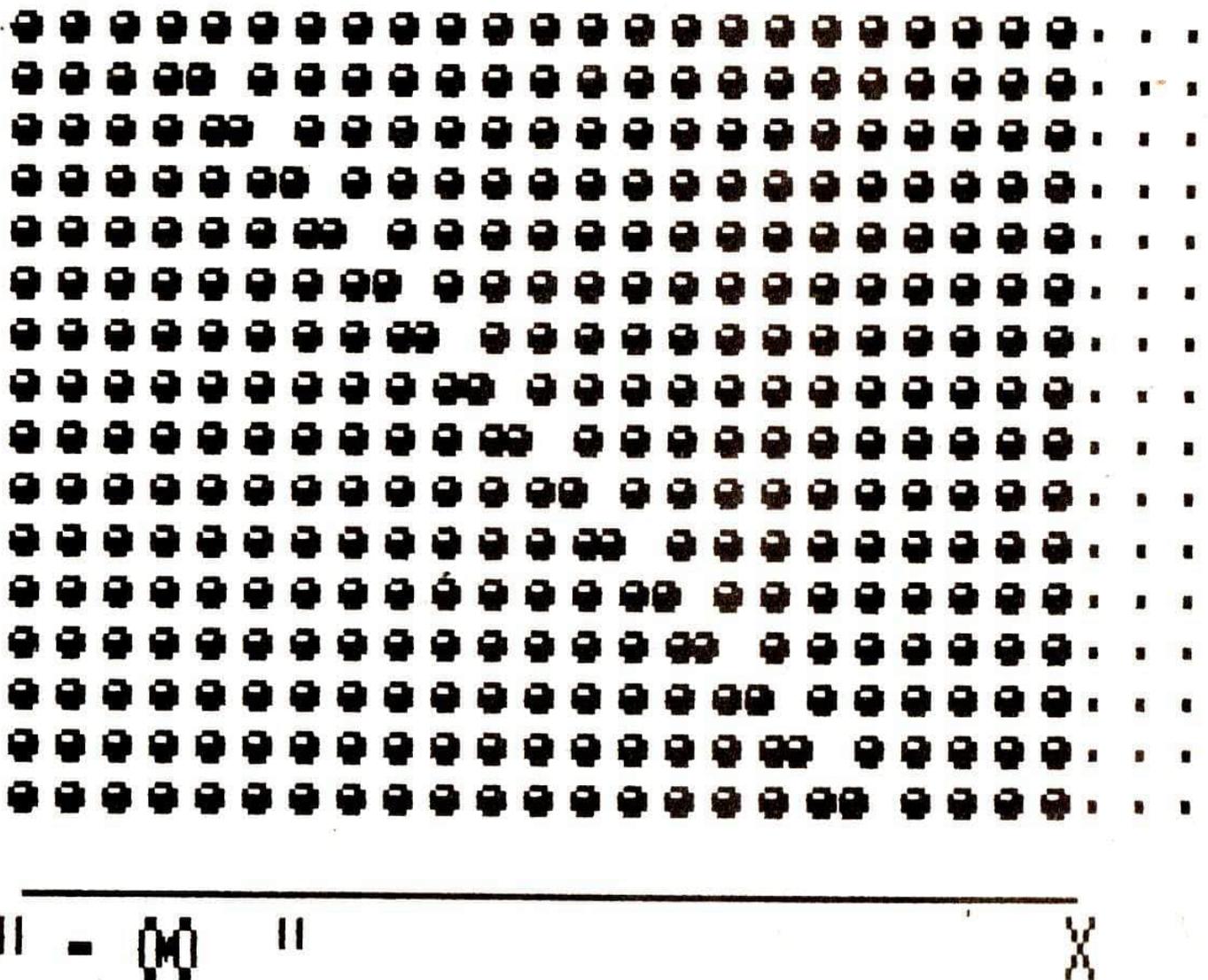


Abb. 2 Ausbreitung eines Stoßes in einer unendlich ausgedehnten Kette

(Nächste-Nachbarn-Wechselwirkung). Im Fall kleiner Auslenkungen kann die Wechselwirkung zwischen zwei Atomen durch ein lineares Kraftgesetz beschrieben werden (lineare Kette). Man stellt sich die Atome durch Federn miteinander verbunden vor, wobei die Kraftwirkung proportional zur Auslenkung eines Atoms aus seiner Ruhelage ist. Hier treten keine Solitonen auf. Vergrößert man die Auslenkung der Atome bis zur Größenordnung der Gitterkonstanten, (das ist der Abstand zwischen zwei Atomen, die Kette bestehe nur aus Atomen einer Sorte), gilt der lineare Kraftansatz nicht mehr, die Kraft zwischen zwei Atomen wird von höheren Potenzen der Auslenkung abhängig. Im folgenden untersucht man die Ausbreitung eines Stoßes an einem Ende der Kette ($x = -\infty$, wir nehmen die Kette unendlich ausgedehnt an).

Dabei stellt sich insbesondere die Frage, ob sich die Auslenkung durch den Kristall ausbreiten kann, ohne ihre Form zu ändern. Die Untersuchung der nichtlinearen Gitterschwingungen führt auf eine Differenzgleichung, die man in guter Näherung durch eine Differentialgleichung approximieren kann. Dies ist möglich, wenn das Übergangsgebiet groß gegen die Gitterkonstante ist. (Unsere Abbildung 2 entspricht nicht dieser Voraussetzung.) Die resultierende Differentialgleichung ist unter den gegebenen Randbedingungen streng lösbar. Man erhält ein stufenförmiges Profil der Lösung, einen sogenannten „Kink“:

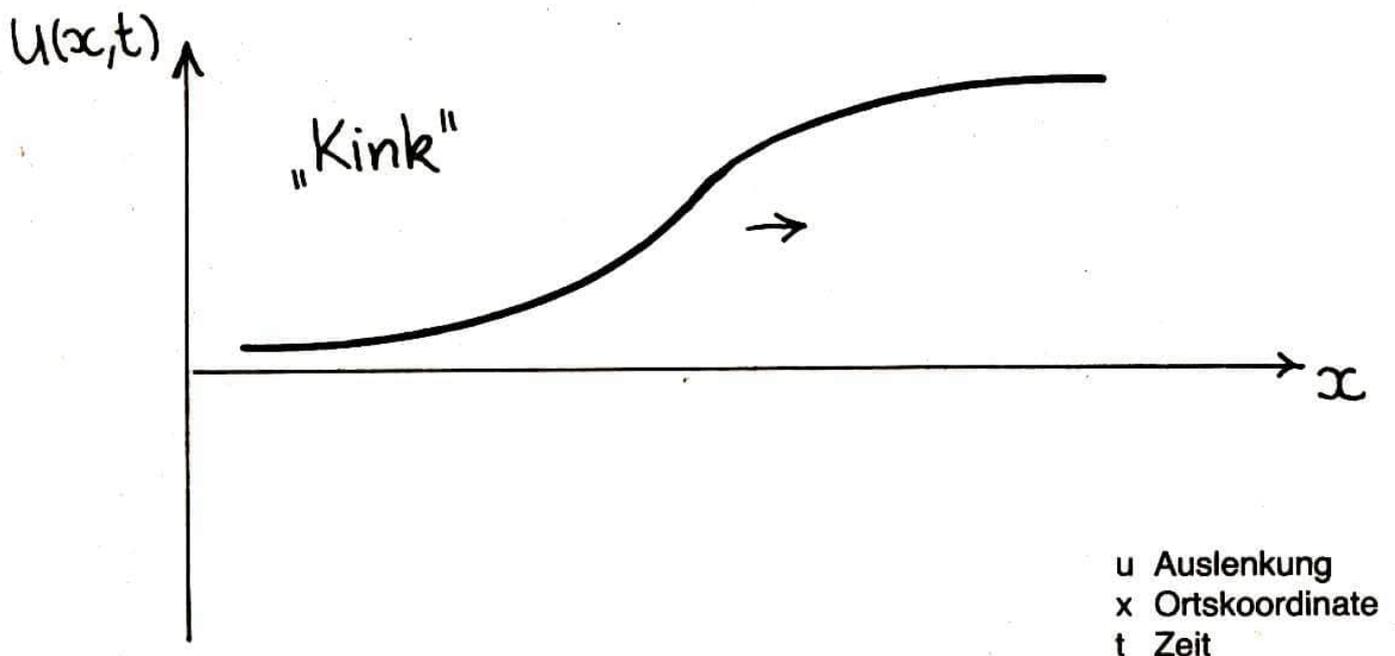


Abb. 3 „Kink“

Diese „Kinks“ haben ähnliche Eigenschaften wie die Solitonen. Im vorliegenden Fall erhält man eine charakteristische Abhängigkeit der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Lösung von der Steilheit des Übergangsbereiches. Des weiteren ist die Steilheit der Stufe von der Anfangsauslenkung abhängig, d. h. bei großen Auslenkungen aus der Ruhelage ist der Übergangsbereich sehr klein, so daß die Lösung bei makroskopischer Betrachtung zu einer Sprungfunktion wird.

Die sich ausbildenden Stoßwellen haben eine Ausbreitungsgeschwindigkeit, die größer als die Schallgeschwindigkeit in dem entsprechenden Medium ist. Die in der Information 2 (partielle Differentialgleichung) des Artikels über Solitonen im Heft 3/88 als letztes Beispiel angegebene Sinus-Gordon-Gleichung $u_{xx} - u_{yy} = \sin(u)$ besitzt ebenfalls derartige Kinks als Lösung, (welche natürlich eine andere mathematische Struktur besitzen).

Information 2: Sprungfunktion (Heaviside'sche θ -Funktion)

Die Sprungfunktion ist wie folgt definiert:

$$\theta(x) = \begin{cases} 1 & \text{für } x > 0 \\ 0 & \text{für } x \leq 0 \end{cases}$$

Sie ist eigentlich eine verallgemeinerte Funktion, eine sogenannte Distribution und wird nur im laxen Sprachgebrauch der Physiker als Funktion bezeichnet. (Vgl. Abb. 4.)

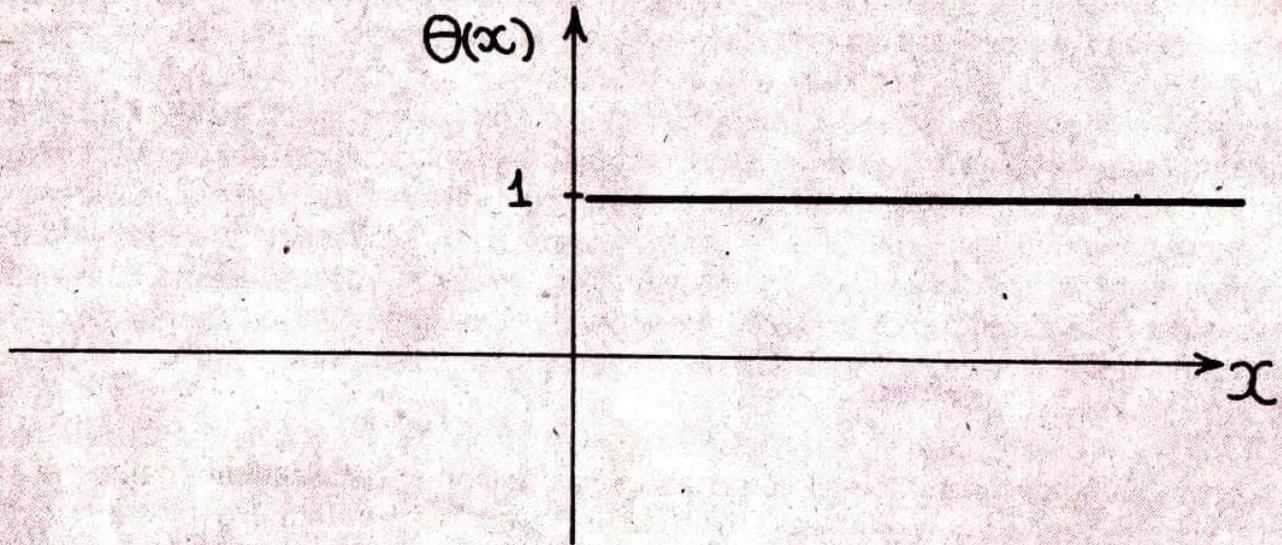


Abb. 4 Heaviside'sche θ -Funktion

Auch hier lassen sich analog zu Soliton und Antisoliton Kink und Antikink angeben. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit ist abhängig von der Steilheit des Kinks, d. h. von der Größe des Übergangsbereichs, in völliger Analogie zur Amplitudenabhängigkeit der Ausbreitungsgeschwindigkeit eines Solitons. Für die Wechselwirkung zweier Kinks bzw. eines Kinks mit einem Antikink gelten zu den Solitonen analoge Aussagen.

Die Eigenschaften der Kinks kann man mit sehr einfachen Mitteln experimentell überprüfen. Die dazu verwendete Anordnung besteht aus einem breiten, ca. 3 m langen Gummiband, an dem in etwa 10 cm Abstand Holzstäbchen befestigt sind. Diese sollten ca. 15 cm lang sein und am Ende etwas beschwert werden, z. B. mit Mutter geeigneter Größe (Abb. 5). An den beiden Enden des Gummibandes sollten dünne Bindfäden befestigt werden.

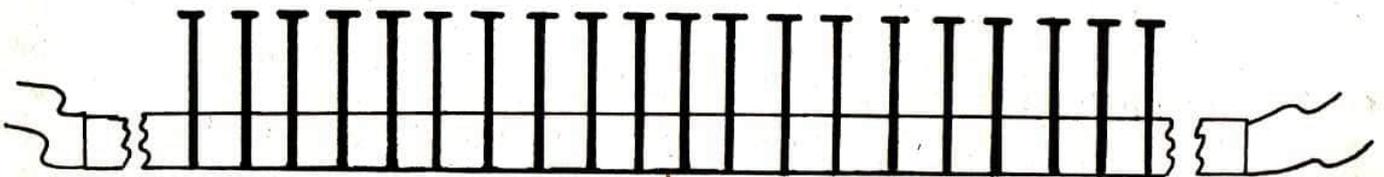


Abb. 5 Gummiband zur experimentellen Realisierung eines Kink:

Mit diesem „Gerät“ können jetzt (fast) alle Eigenschaften von Kinks (bzw. Solitonen) gezeigt werden. Dazu wird das Band leicht gespannt und an seinem Ende das letzte Stäbchen so angestoßen, daß es eine volle Umdrehung ausführt. Diese Anregung pflanzt sich durch das gesamte Band fort, sie ist mit einem Kink zu identifizieren. Die Ordinatenachse der Abbildung 3 entspricht in diesem Fall dem Drehwinkel, der Übergang einer Drehung von 360° .

Hält man das andere Ende direkt am Band fest, kann man beobachten, wie die Anregung am Band zurückläuft, hält man an den Fäden fest, kommt das Band zur Ruhe, nachdem die Anregung es durchlaufen hat. Auch „Streuexperimente“ sind möglich. Dazu werden an beiden Enden des Gummibandes die Stäbchen angestoßen. Abhängig davon, ob die Anregung gleich- oder gegensinnig erfolgte, sieht man die Kink-Kink-Streuung oder die paarweise Vernichtung von Kink und Antikink. Die ebenfalls mögliche Kink-Antikink-Streuung kann man mit diesem einfachen Modell nicht beobachten.

Mit diesen Versuchen wird das Verhalten der Lösungen der nichtlinearen Sinus-Gordon-Gleichung veranschaulicht. Aber auch Eigenschaften der Lösungen im linearen Grenzfall kann man simulieren. Im Fall kleiner Auslenkungen (d. h. linearer Grenzfall) kann man im Sinne einer häufig gebrauchten Näherung den Wert der Sinusfunktion durch ihr Argument ersetzen. [$\sin(u) \approx u$], die Bewegungsgleichung wird linear: $u_{xx} - u_{yy} = u$.

Experimentell wird das so realisiert, daß man die Stäbchen nur schwach anstößt. Auch hier wird sich eine Anregung entlang des Bandes ausbreiten, diese hat jedoch andere Eigenschaften. Bei der Durchführung dieser Versuche muß das Gummiband gut in Ruhe sein. Stößt man an beiden Seiten ein Stäbchen schwach an, so kann man beobachten, daß sich beide Anregungen unterwegs nicht beeinflussen. Dies entspricht dem Superpositionsprinzip für lineare Differentialgleichungen.

Die Anwendung des durch die Untersuchung von Solitonen entwickelten mathematischen Formalismus bringt in immer mehr Gebieten der Physik interessante Ergebnisse, so zeigen die Solitonenlösungen der Sinus-Gordon-Gleichung (Kinks, man spricht auch hier oft einfach von Solitonen) viele Eigenschaften von Elementarteilchen.

Solitonen wurden u. a. auch bei der Untersuchung von Druckwellen in einem Flüssigkeit-Gasblasen-Gemischs gefunden. Die Liste der Beispiele ließe sich noch weit fortsetzen.

**Wolfram Meinhardt (Text),
Hans-Joachim Kühn,
Burkhard Fleck (Bild), alle
Friedrich-Schiller-Universität Jena
Sektion Physik**

Eindrücke vom Austauschpraktikum in Krakau

Zwischen dem Physikalischen Institut der Jagiellonen-Universität Krakau und der Sektion Physik der Friedrich-Schiller-Universität Jena findet seit einiger Zeit ein jährlicher Studentenaustausch statt. So verbringt jedes Jahr im Juli eine Gruppe Krakauer Physikstudenten drei Wochen in Jena, während im September eine Gruppe Jenaer Studenten nach Krakau fährt. Dieses Austauschpraktikum umfaßt neben praktischer Arbeit in den Wissenschaftsbereichen der Sektion Physik und dem Kennenlernen der jeweiligen Gastgeber-Universität auch zu einem nicht geringen Teil ein interessantes Touristikprogramm. Ähnliche Austauschpraktika werden

fast zeitgleich auch zwischen anderen Sektionen beider Universitäten durchgeführt. Analoge Beziehungen bestehen auch zwischen den Universitäten in Jena und Minsk. Während von den Jenaer Physikstudenten nur ein kleiner Teil die Möglichkeit zu einem Auslandspraktikum hat, sind derartige Veranstaltungen in Krakau Teil des obligatorischen Studienplans.

In der Zeit vom 4. bis 24. September 1988 waren zehn Studenten und Forschungsstudenten aus Jena in Krakau zu Gast. Nach 15stündiger Bahnfahrt wurden wir am Bahnhof von einigen Krakauer Physikstudenten, welche uns in den folgenden drei Wochen als Reiseführer zur Seite stehen sollten, abgeholt. Mit universitätseigenen Kleinbussen ging es zum Studentenwohnheim „Piast“, in welchem wir während unseres Aufenthaltes in Krakau untergebracht waren. Das „Piast“ ist ein im wesentlichen ausländischen Studenten vorbehaltenes Wohnheim mit hauseigener Mensa, Post und Verkaufseinrichtungen. Es liegt innerhalb der sogenannten „Studentenstadt“ – einem Viertel, welches im wesentlichen aus Studentenwohnheimen besteht. In unmittelbarer Nähe befindet sich auch das Physikalische Institut, unsere Arbeitsstätte an einigen Tagen der kommenden drei Wochen. In den ersten Tagen unseres Aufenthaltes lernten wir die Hauptarbeitsgebiete des Physikalischen Instituts kennen, welche in den Bereichen Kernphysik, Festkörperphysik und Biophysik liegen. Auffallend war die außerordentlich gute Ausrüstung der Labors mit hochmodernen Geräten.

Unsere Tätigkeit im Rahmen des Praktikums konnten wir entsprechend unseren Interessen gestalten. Es wurden Arbeiten in den einzelnen Wissenschaftsbereichen angeboten, so auf den Gebieten der Hochtemperatur-Supraleitung oder der Laseroptik. Eine weitere Arbeitsmöglichkeit bot sich in den Praktika des Physikalischen Instituts und bestand im Ausprobieren und Vervollkommen von Praktikumsversuchen für Physikstudenten der verschiedenen Studienjahre. Bemerkenswert ist hier die Tatsache, daß vor allem im Anfängerpraktikum in Krakau sehr viel Wert auf einfache, durchschaubare Versuchsanordnungen gelegt wird, in denen das physikalisch Wesentliche nicht durch einen unsinnig hohen Aufwand an „High-Tech“ versteckt wird. Die hier gemachten Erfahrungen sind mit Sicherheit in unseren Praktika nutzbringend einsetzbar.

Großen Raum innerhalb des Austauschpraktikums nahmen Besichtigungen und Führungen durch Krakau mit seinen weltberühmten Sehenswürdigkeiten ein. So war eine Führung durch das Collegium Maius einer der Höhepunkte in der ersten Woche unseres Aufenthalts in Krakau.

Die Jagiellonen-Universität Krakau wurde 1364 von König Kazimierz Wielki (der Große)

gegründet. Sie zählt zu den ältesten Universitäten nördlich der Alpen. Die Alma Mater Jagiellonica wurde im 15. und 16. Jahrhundert zur führenden europäischen Hochschule auf den Gebieten der Astronomie, der Mathematik und der Geographie. Nach fast 600jähriger Geschichte wurde die Jagiellonen-Universität 1939 von den deutschen Faschisten geschlossen. Über 100 Mitarbeiter wurden im Konzentrationslager Sachsenhausen ermordet. Die nach der Befreiung wiedererstandene Universität zählt heute über 16000 Studenten und etwa 1400 wissenschaftliche Mitarbeiter. Das Collegium Maius ist das älteste Gebäude der Jagiellonen-Universität und der besterhaltene Universitätsbau Europas. Ein aus dem 15. Jahrhundert stammender Arkadenhof nimmt den Innenteil des Gebäudes ein. Im Gebäude befindet sich das Universitätsmuseum, in dem neben ausgezeichnet erhaltenen Sälen auch Professorengemächer sowie mittelalterliche astronomische Geräte zu sehen sind. Ein Vorteil, Gast der Universität zu sein, zeigte sich hier: wir konnten Teile des Gebäudes besichtigen, die zur Zeit der Öffentlichkeit nicht zugänglich sind. Neben dem gotischen Gebäude des Collegium Maius, dem früheren Sitz des Rektorats, befindet sich inmitten des sogenannten „Planty“ das Collegium Novum, ein roter Backsteinbau, sein heutiger Sitz. Der „Planty“, ein 4 km langer Ring von Grünanlagen und Parks, welcher die Altstadt vollständig umgibt, wurde vor etwa 150 Jahren, als die alten Befestigungsanlagen der Stadt abgerissen wurden, an ihrer Stelle angelegt. Von den mittelalterlichen Wehrmauern Krakaus ist nur das um 1300 gebaute Florianstor und der ihm vorgelagerte Barbakane, ein 1498 gebautes, in Europa nur wenig anzutreffendes Verteidigungsobjekt, erhalten. Innerhalb des „Planty“ befindet sich die größte städtebauliche Anlage des mittelalterlichen Europa, im zweiten Weltkrieg vollständig erhalten geblieben, mit vielen in der Welt einzigartigen Kulturdenkmälern. Deshalb wurde Krakau in die erste, nur zwölf Punkte umfassende Liste des Weltkulturerbes der UNESCO aufgenommen.



Abb. 1 Krakau, Marktplatz mit Tuchhallen

Mittelpunkt der Stadt bildet der 200 m × 200 m große Marktplatz, der Rynek Glowny, umgeben von mächtigen Bürger- und Geschäftshäusern. Bestimmt wird das Bild des Marktplatzes durch die Tuchhallen, gewaltige Markthallen aus dem 14. Jahrhundert und der Marienkirche mit dem großen Altar von Veit Stoß. Das 1489 nach zwölfjähriger Tätigkeit von ihm vollendete Kunstwerk veranschaulicht in 12 überlebensgroßen Figuren das Leben der Mutter Gottes und ihres Sohnes. Die Figurengruppe des Polyptychons wurde aus einem einzigen, querliegenden Stamm geschnitzt.

Von einem der beiden ungleich hohen Türmen der Marienkirche ertönt stündlich ein Trompetensignal, welches plötzlich abbricht, Erinnerung an einen Stadtwächter, welcher die Krakauer Bürger vor einem herannahenden Heer warnte und von einem Pfeil getroffen wurde. Die Stadt Krakau beschäftigt dazu vier Trompeter, die in Dreifachschicht in der Marienkirche Feuerwache halten und stündlich das Trompetensignal blasen – eine der Touristenattraktionen der Stadt.



Abb. 2 Krakau, Marienkirche

Die Stadt ist sehr regelmäßig und symmetrisch angelegt, die Straßen der Stadt bilden im wesentlichen ein Schachbrettmuster. Das Stadtbild wird durch die Vielzahl von Kirchen bestimmt, von denen hier nur die St.-Peter-und-Paul-Kirche, die erste Barockkirche Krakaus aus dem 16. Jahrhundert erwähnt werden soll, deren Architektur sehr stark an der Peterskirche in Rom angelehnt ist.

Durch die Stadt fließt die Weichsel, an ihrem Ufer befindet sich ein Kalksteinfelsen, der Wawel. Sein Name verbindet sich im wesentlichen mit zwei historischen Bauwerken, dem aus dem 13./14. Jahrhundert stammenden Königsschloß sowie dem gotischen Dom mit seinen Grabkapellen, in denen die polnischen Könige ruhen. Krakau war vom 11. bis zum 17. Jahrhundert polnische Hauptstadt und Residenz der polnischen Könige.



Abb. 3 Ansicht des Wawels vom Weichselufer

Selbst in zwei Tagen, einmal mit Führung und einmal „auf eigene Faust“ konnten wir nur Teile des Wawels mit seinen wertvollen Kunstschatzen besichtigen.

In unserem Programm standen neben der Besichtigung des ehemaligen jüdischen Viertels, dem Stadtteil Kasimierz, einer früher selbständigen Stadt, auch Besichtigungen der im Stadtgebiet Krakaus gelegenen Klöster der Benediktiner und der Kalmedulenser sowie eines Observatoriums der Universität und eine Exkursion ins Neubaugebiet Nowa Huta.

Hier wurde uns die kritische Umweltsituation des Industriegebietes um Krakau besonders deutlich. Die nur wenige Jahre alten Neubauten in unmittelbarer Nähe der Leninhütte zeigen deutliche Spuren der Umweltverschmutzung. In der Eröffnungsveranstaltung in der Universität wurden wir vom Direktor des Physikalischen Instituts bereits darauf hingewiesen, daß die Region um Krakau das am drittstärksten belastete Gebiet Europas ist. Der eigenartige Geruch der stark verschmutzten Luft, der uns in Krakau nur am Anreisetag aufgefallen war, war hier besonders deutlich. Auf dem Gebiet des Umweltschutzes besteht in Krakau großer



Abb. 4 Kirchenneubau im Stadtteil Nowa Huta



Abb. 5 Die Hohe Tatra bei Zakopane

Handlungsbedarf, dies kam auch in vielen Gesprächen mit polnischen Kommilitonen zum Ausdruck.

In den zahlreichen Kirchenneubauten des Stadtteil Nowa Huta wurden die gesellschaftlichen Probleme der VR Polen durch ihre Widerspiegelung auf den dort ausgestellten Gemälden besonders deutlich.

Besonders beeindruckend für uns war der Besuch des staatlichen Museums auf dem Gebiet des ehemaligen faschistischen Konzentrationslagers Auschwitz-Birkenau. Hier wurden wir mit dem dunkelsten Kapitel deutscher Geschichte konfrontiert. Während des zweiten Weltkrieges wurden in Auschwitz von den Faschisten über 4 Millionen Menschen ermordet. Zum Gedenken an diese Opfer legten wir ein Blumengebinde nieder.

Bestandteil des Austauschpraktikums war weiterhin ein dreitägiger Aufenthalt in der Hohen Tatra. Hier waren wir in Zakopane in einem Ferienhaus der Universität untergebracht.

Neben einer Fahrt in den Ojcow-Nationalpark standen auch eine Floßfahrt auf dem Dunajec sowie eine kurzfristig organisierte Fahrt nach Tschenstochau auf dem Programm.

Auch Konzertbesuche und andere kulturelle Veranstaltungen kamen nicht zu kurz. Von den vielen Museen, Galerien und Ausstellungen kann man in knapp drei Wochen nur einen kleinen Bruchteil besichtigen.

Ich kann jedem nur empfehlen, eine sich bietende Gelegenheit einer Fahrt nach Krakau zu nutzen. Unseren Gastgebern in Krakau sei hier an dieser Stelle noch einmal Dank für die freundliche Aufnahme und die liebevolle Betreuung gesagt.

WISSENSWERTES

Clifford A. Hui von der University of California in Los Angeles konnte nachweisen, daß die abwechselnd schwimmende und springende Fortbewegung von Delphinen und Pinguinen die energiesparendste Variante ist.

Das Schwimmen an der Wasseroberfläche erfordert von einem Pinguin 4,5 mal mehr Energie als drei Körperbreiten darunter. Der Pinguin muß jedoch irgendwann einmal Luft holen. Genau das macht er während eines Sprunges, bei dem er sich mit durchschnittlich 3,74 m/s unter einem Winkel von 32 Grad aus dem Meer erhebt. Er ist 0,33 s in der Luft und legt dabei ca. 1,36 m zurück. Die Unterwasser-Schwimmstrecke beträgt etwa 5 m. Dies ist die günstigste Variante. Ein Winkel von 45 Grad z. B. wäre zwar aus ballistischen Gründen günstiger, würde aber zu einer Verringerung der Geschwindigkeit führen.

(nach „Bild der Wissenschaft“ 1/1988)

SELBST- ORGANISATION

Ein Beitrag
von
M. Mann

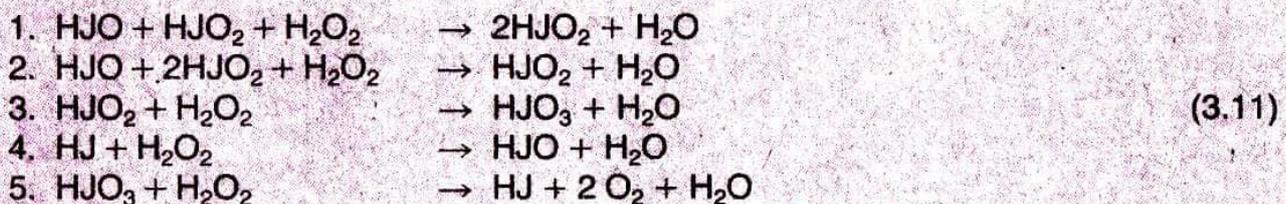


3.2.2. Beispiele für dissipative Strukturen aus der Chemie

In der letzten Folge beschäftigten wir uns mit den allgemeinen Voraussetzungen der Entstehung dissipativer Strukturen in physikalischen Systemen. Dabei verstanden wir unter einer dissipativen Struktur stabile raumzeitliche Strukturen, die sich jenseits eines kritischen Wertes charakteristischer Systemparameter weitab vom Gleichgewicht im nichtlinearen Bereich ausbilden. Heute wollen wir uns mit charakteristischen chemischen dissipativen Strukturen beschäftigen.

Bereits seit dem 19. Jahrhundert sind den Chemikern Beispiele von Reaktionen bekannt, die Oszillationen zeigen. 1921 gelang dem Chemiker BRAY die Untersuchung einer oszillierenden Reaktion in einer homogenen Lösung aus H_2O_2 , HJO_3 und H_2SO_4 bei etwa 60°C .

Ein mögliches Reaktionsmodell lautet:



Eine Modifikation dieser BRAY-Reaktion ist als „Jod-Uhr“ von BRIGGS und RAUSCHER bekannt geworden. Man beobachtet dabei periodische Schwankungen der Konzentration der Jod-Ionen. (vgl. Abb. 9)

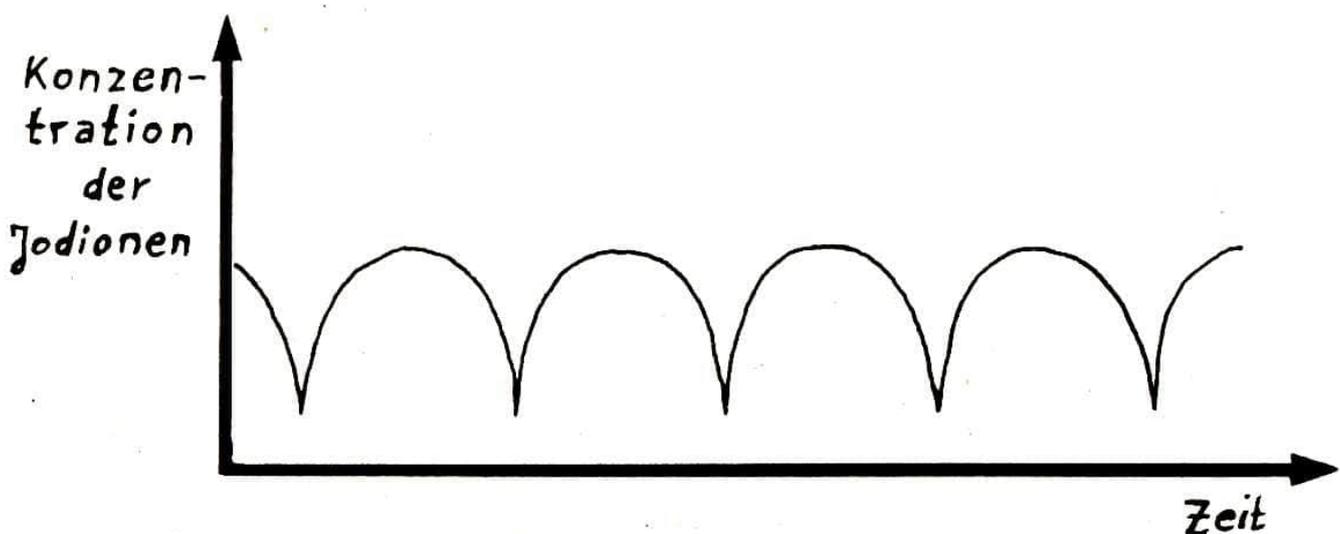


Abb. 9 „Jod-Uhr“ von BRIGGS und RAUSCHER

Sichtbar wird dies an eindrucksvollen zyklischen Schwankungen der Farbe zwischen gold, blau und farblos. Die detaillierte Kinetik dieser oszillierenden Jodreaktion ist sehr kompliziert. (vgl. Informationskasten 4)

Wir wollen hier ein stark vereinfachtes mathematisches Modell der BRAY-Reaktion (3.11) betrachten, daß neben stabilen Oszillationen auch Selbstverstärkung und Bistabilität zeigt. Dies soll relativ ausführlich erfolgen, da man an diesem Beispiel wesentliche Merkmale dissipativer Strukturen auf recht einfache Art und Weise erkennen kann.

Informationskasten 4

Kinetik chemischer Reaktionen

Unter der Kinetik einer Reaktion sind alle Faktoren zusammengefaßt, die die Art und Weise des Ablaufs einer chemischen Reaktion bestimmen (Geschwindigkeit, Bestehen von Teilreaktionen, ...).

Dazu kürzen wir die wesentlichen Reaktionspartner ab [vgl. (3.11)]:



Das Modell der BRAY-Reaktion lautet damit:



Im ersten und zweiten Reaktionsschritt bilden sich X-Moleküle aus A-Molekülen. Dabei wirken die X-Moleküle als Katalysator. Man bezeichnet solche Reaktionen, bei denen der gebildete Stoff selbst als Katalysator wirkt, als „autokatalytisch“. Sie spielen eine wichtige Rolle bei der nichtlinearen Dynamik der chemischen Reaktionen und der Bildung dissipativer Strukturen. Die dritte Reaktion beschreibt den Übergang des Zwischenproduktes X in das Produkt F. Die vierte Gleichung beschreibt die Erzeugung des Produktes A aus B und schließlich die fünfte die Umwandlung von F in B.

Wir wollen nun zu Aussagen über die Konzentration der einzelnen Stoffe in Abhängigkeit von der Zeit gelangen. Dazu muß man wissen, daß die Geschwindigkeit einer Elementarreaktion dem Produkt der Konzentration der Reaktionspartner proportional ist. Dies ist verständlich, da mit steigender Konzentration die Wahrscheinlichkeit einer Begegnung der entsprechenden Teilchen wächst. Wir bezeichnen auch die Konzentrationen des Roh-, Zwischen- und Endproduktes mit A, X und F.

Die Geschwindigkeiten der ersten und zweiten Hinreaktionen sind dann beispielsweise einfach k_1AX bzw. k_2AX^2 . Für die Rückreaktionen gilt entsprechend $k_{-1}X^2$ und $k_{-2}X^3$. Die hier eingeführten Proportionalitätsfaktoren bezeichnet man als Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten.

Kombiniert man nun alle auftretenden Beiträge mit den richtigen Vorzeichen („+“ für Gewinn einer Komponente und „-“ für Verlust), so erhält man das folgende Differentialgleichungssystem für die Konzentrationsänderungen der drei beteiligten Stoffe pro Zeiteinheit.

$$\begin{aligned} \frac{dA}{dt} &= -k_1AX + k_{-1}X^2 - k_{-2}AX^2 + k_{-2}X^3 + k_4B \\ \frac{dX}{dt} &= k_1AX - k_{-1}X^2 + k_2AX^2 - k_{-2}X^3 - k_3X + k_{-2}F \\ \frac{dF}{dt} &= k_3X - k_{-3}F - k_5F \\ \frac{dB}{dt} &= -k_4B + k_5F \end{aligned} \tag{3.13}$$

Diese miteinander verkoppelten Differentialgleichungen beschreiben das System der miteinander reagierenden Stoffe in mathematischer Form. Wir werden nun bei der Betrachtung verschiedener Spezialfälle sehen, daß das System eine Reihe von *qualitativ* verschiedenen Verhaltensmöglichkeiten zeigen kann, die den Charakter von dissipativen Strukturen tragen.

a. Selbstverstärkung bzw. kooperative Anregung der Reaktion

Wir stellen die konkreten Nebenbedingungen:

$$A = \text{konstant}$$

$$B = \text{konstant}$$

$$k_2 = k_{-2} = k_{-3} = 0$$

Das heißt, die zweite Reaktion in (3.12) wird durch geeignete Maßnahmen unterdrückt ($k_2 = -k_{-2} = 0$). Durch eine äußere Beeinflussung werden ferner A und B auf konstanter Konzentration gehalten und außerdem wird die Rückreaktion der dritten Reaktion verhindert. Wir interessieren uns in den verschiedenen Spezialfällen insbesondere für die zeitliche Veränderung der Konzentration des Zwischenproduktes X. Man erhält aus (3.13) dann folgende Differentialgleichung:

$$\frac{dX}{dt} = (k_1 A - k_3)X - k_{-1}X^2$$

Hieraus kann $X(t)$ bestimmt werden. Bei einer genauen Lösungsdiskussion zeigt sich nun die interessante Tatsache, daß eine kritische Rohstoffkonzentration $A_{\text{krit}} = k_3/k_1$ existiert. Ist $A < A_{\text{krit}}$, so verschwindet die Konzentration des Zwischenproduktes X stets für $t \rightarrow \infty$. Für $A > A_{\text{krit}}$ nähert sich dagegen $X(t)$ einem Sättigungswert (vgl. Abb. 10).

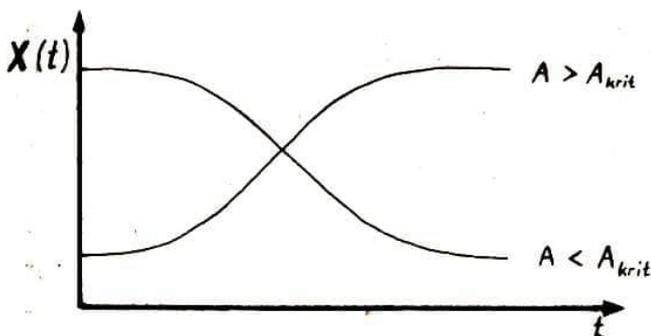


Abb. 10 Verhalten von $X(t)$ bei über- und unterkritischem Rohstoffangebot

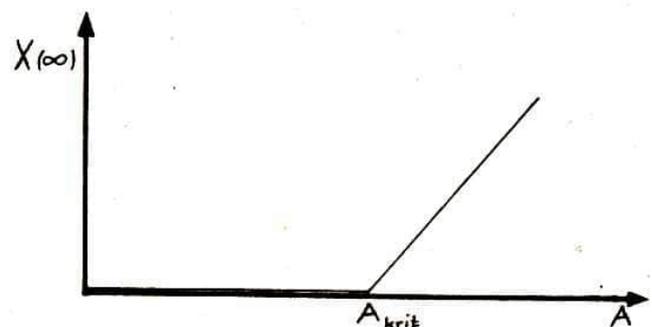


Abb. 11 Stationäre Konzentration X in Abhängigkeit vom Rohstoffangebot

Die Endzustände entsprechen stationären Lösungen des Systems der reaktionskinetischen Gleichungen (3.13).

Ein interessanter Gesichtspunkt ergibt sich, wenn man die Endzustände der Zwischenproduktkonzentration $X(\infty)$ als Funktion vom Rohstoffangebot A aufträgt (vgl. Abb. 11).

Im unterkritischen Bereich zerfällt X stets. Im überkritischen Bereich dominieren infolge eines *kooperativen* Verhaltens der Moleküle die Bildungsprozesse. Kooperativ deshalb, weil an jedem elementaren Bildungsprozeß mindestens zwei X-Moleküle teilnehmen, wodurch eine Kooplung entsteht.

Vergleicht man die Abb. 11 mit den Abb. 3 und 8, so ist eine deutliche formale Analogie zwischen dem Benard-System, dem Laser und der BRAY-Reaktion ersichtlich. In allen Fällen erfolgt bei Überschreiten eines kritischen Wertes des jeweiligen Systemparameters ein qualitativer, sprunghafter Umschlag im Arbeitsregime des Systems vom individuellen zum kooperativen Verhalten, den wir als kinetischen Phasenübergang bezeichnet hatten.

b. Bistabiles Verhalten der Reaktion

Wir stellen nun an (3.13) die Nebenbedingungen: $A = \text{konst.}$
 $F = \text{konst.}$
 $B = \text{konst.}$
 $k_1 = k_{-1} = 0$

Dieser Zustand läßt sich erreichen, indem man in (3.12) die erste Reaktion unterdrückt und die Zu- bzw. Abführung von A und F entsprechend stört.

Es existiert auch hier ein kritischer Wert der Rohstoffkonzentration A_{krit} . Für $A < A_{\text{krit}}$ konvergieren die Lösungen $X(\infty)$ gegen *eine* stationäre und stabile Endkonzentration (vgl. Abb. 12).

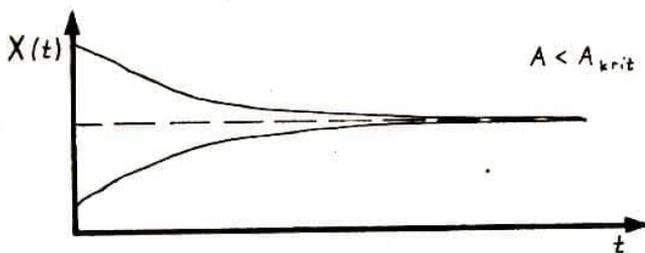


Abb. 12 Monostabiles Verhalten bei unterkritischem Rohstoffangebot

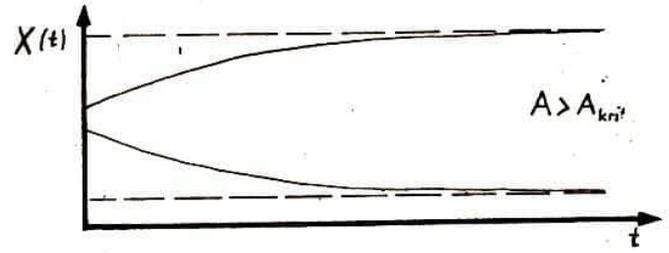


Abb. 13 Bistabilität bei überkritischem Rohstoffangebot

Für $A > A_{\text{krit}}$ existieren *zwei* stationäre und stabile Endzustände, denen das System je nach gegebener Anfangskonzentration $X(0)$ zustrebt (vgl. Abb. 13). Das System ist jetzt *bistabil*. Nur durch eine relativ große Auslenkung kann ein Übergang von dem einen in den anderen stabilen Zustand erzwungen werden.

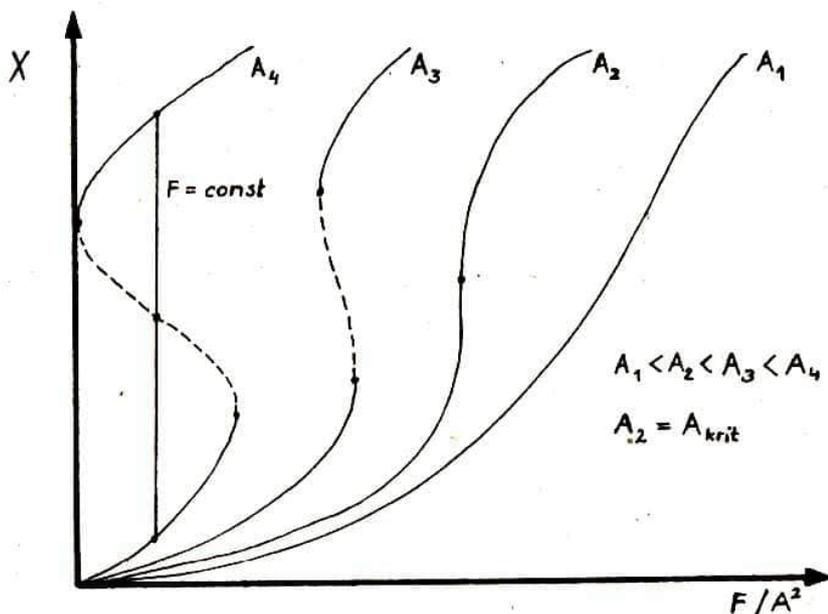


Abb. 14 Übergang vom monostabilen zum bistabilen Regime

Den Übergang vom mono- in den bistabilen Zustand mit wachsendem A verdeutlicht Abb. 14. Bei kleinen A-Werten besitzt das System nur einen stabilen Zustand für ein bestimmtes F. Übersteigt A einen kritischen Wert, so besitzt das System für ein konstantes F zwei stabile stationäre Zustände. Die Bereiche mit negativem Anstieg (---) entsprechen instabilen Zuständen, die das System wieder verläßt.

Chemische Systeme mit zwei stabilen Zuständen sind von großem Interesse für die Modellierung biologischer Mechanismen – z.B. des Gedächtnisses, der Membranprozesse und der Differenzierung bei der Zellteilung.

c. Selbsterregte chemische Schwingungen

Als letzten Spezialfall untersuchen wir den Fall $F = \text{konst.}$, $B = \text{konst.}$ und $k_1 = k_{-2} = k_{-3} = 0$ [vgl. (3.13)]. Dies ist realisiert, wenn in (3.12) alle Rückreaktionen unterdrückt werden. Die Bildungsrate von A (4. Reaktion) wird konstant gehalten, die Konzentrationen A und X bleiben jedoch variabel.

Aus (3.13.) entsteht ein gekoppeltes System von zwei Differentialgleichungen für $A(t)$ und $X(t)$. Das Resultat ist in Abb. 15 dargestellt.

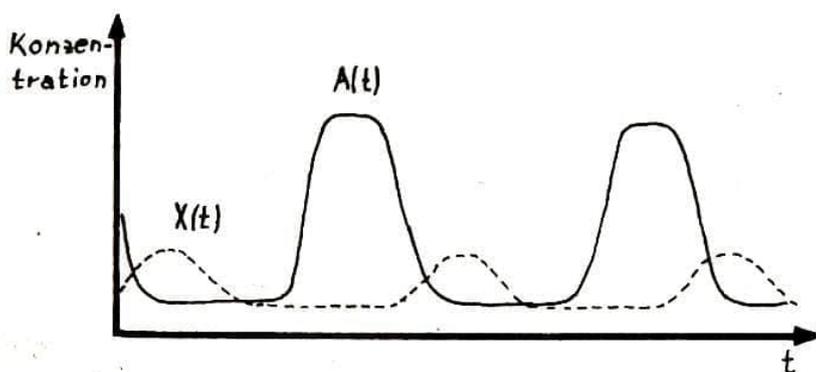


Abb. 15 Ausbildung chemischer Oszillationen

Beim Überschreiten kritischer Werte des Rohstoffstromes können sich selbsterregte chemische Schwingungen ausbilden. Die Rohstoff- und Zwischenproduktkonzentrationen pendeln im Gegenteil zwischen maximalen und minimalen Werten hin und her.

Die Möglichkeit, daß in chemischen Systemen spontan *ungedämpfte* Schwingungen entstehen können, ist außerordentlich wichtig für die Biologie. Mit ihrer Hilfe können rhythmische biologische Prozesse erklärt werden.

Zum Schluß dieses Abschnittes soll noch ein illustratives Beispiel für chemische Schwingungen genannt werden. Die Rede ist von der sogenannten BELOUSOV-ZHABOTINSKY-Reaktion. Dies ist eine komplizierte organische Reaktion, bei der u.a. die Umsetzung von Cr^{3+} - in Cr^{4+} -Ionen und umgekehrt stattfindet. Mit Hilfe eines Indikators läßt sich der Reaktionsverlauf durch Beobachtung der Farbe verfolgen (Cr^{3+} -Überschuß: rot, Cr^{4+} -Überschuß: blau). Bei bestimmten Konzentrationen der Reaktionspartner entsteht auch bei dieser Reaktion *zeitliche* und *räumliche* Oszillationen (vgl. Abb. 16).

Die BZ-Reaktion spielt bei der Untersuchung chemischer dissipativer Strukturen eine Sonderrolle, da sie leicht zu realisieren ist und die interessierenden Phänomene in besonders eindringlicher Form zeigt. Sie dient heute als Modellfall für das Studium der spontanen Wellenprozesse in aktiven Medien.

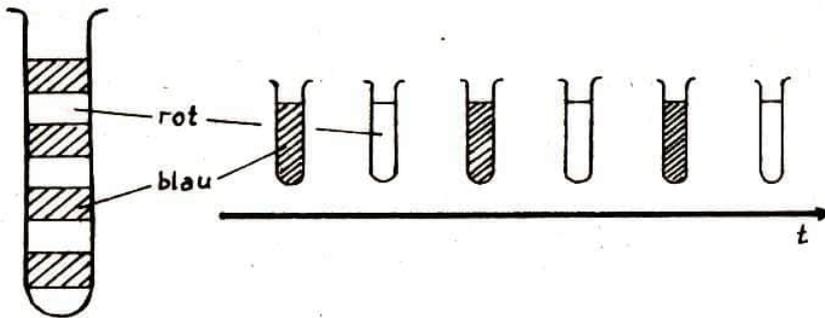


Abb. 16 Räumliche und zeitliche Periodizität bei der BELOU SOV-ZHABOTINSKY-Reaktion

In einem aktiven Medium ist jeder Raumpunkt:

- Quelle freier Energie
- Ort nichtlinearer Prozesse, die weitab vom Gleichgewicht verlaufen
- durch Transportprozesse eng mit den Nachbarpunkten gekoppelt.

Damit wollen wir diesen Abschnitt mit Beispielen für physikalische und chemische dissipative Strukturen beenden. In den nächsten Kapiteln werden wir die Strukturierung und Entwicklung von komplexen Systemen wie dem Kosmos, unserer Erde, Lebewesen und ökologischen Systemen überblicksweise, insbesondere von thermodynamischer Seite, betrachten. Wir werden auch hier viele, uns jetzt bereits bekannte, Gesetze der Strukturbildung herausstellen und ihr Wirken verdeutlichen.

LIEBE IMPULS-LESER!

Mit Beginn des 23. Jahrganges erscheint unser Heft wieder einmal in einem neuen Gewand. Zwar hat sich die Seitenzahl von 48 auf 32 verringert, aber der Inhalt bleibt mengenmäßig mindestens der gleiche. Das verbesserte Äußere unserer Zeitschrift (Schriftbild, Formeln, besser lesbare Sonderzeichen wie griechische Buchstaben u. ä.) wird uns durch die Einführung eines neuen Satzverfahrens bei der Volkswacht-Druckerei Gera ermöglicht. Über dieses Satzverfahren – den sogenannten Lichtsatz – werdet Ihr in einem unserer nächsten Hefte etwas lesen können. Das neue Satzverfahren bringt aber auch wesentliche Konsequenzen bezüglich unserer Arbeit in der Redaktion mit sich. So werden wir in Zukunft unsere Manuskripte (Druckvorlagen) nicht mehr auf Papier, sondern auf Diskette an die Druckerei schicken. Die Arbeit mit modernen Textverarbeitungssystemen ist somit für uns zur unmittelbaren Voraussetzung aber auch Erleichterung unserer Tätigkeit geworden.

Wir, die Mitarbeiter der „impuls 68“-Redaktion, waren aber auch der Meinung, daß wir mit der neuen Form des Heftes auch den Inhalt unserer Zeitschrift wieder einmal gründlicher überdenken sollten. So haben wir uns auch diesbezüglich einiges für die Zukunft vorgenommen. Demnächst sollen wieder mehr kürzere, informative und vor allem verständliche Artikel in „impuls 68“ erscheinen. Fortsetzungsserien zu relativ speziellen Fragestellungen werden nur noch die Ausnahme bilden, die zuletzt begonnenen Serien schließen wir natürlich ab. Weiterhin wollen wir demnächst auch wieder mehr über das Umfeld des Studiums berichten, so z. B. einige Jenaer Studentenclubs und andere Aktivitäten der Studenten in ihrer Freizeit vorstellen.

Vielleicht schreibt Ihr uns einmal, was Ihr an „impuls 68“ gut und was Ihr weniger gut findet. Wieviele der Artikel lest Ihr wirklich bis zum Ende und habt sie vor allem auch verstanden? Was erwartet Ihr von „impuls 68“? Welche Themen interessieren Euch besonders? Wir freuen uns über jede kritische Zuschrift und hoffen auf Eure Ideen für die weitere Gestaltung von „impuls 68“!

Die Redaktion

Thomas Richter
Ernst-Moritz-Arndt-Universität
Greifswald
Sektion Physik/Elektronik

Neue Wege und Möglichkeiten beim Trockenätzen

1. Einführung

Unter dem Begriff des Ätzens versteht man die Abtragung der Oberfläche eines Festkörpers auf chemischem Wege oder durch hochenergetische Teilchen atomarer Größenordnung. Bei der Herstellung mikroelektronischer und mikromechanischer Bauelemente findet das Ätzen in verschiedenen Technologieschritten Anwendung, insbesondere jedoch bei der Erzeugung definierter Oberflächenstrukturen. Die Lokalisierung der zu ätzenden Bereiche erfolgt mit Hilfe ätzbeständiger Masken. Bei der Anwendung klassischer naßchemischer Ätzverfahren auf

der Basis von Säuren oder Laugen kommt es wegen der isotropen Auflösungswirkung dieser Flüssigkeiten zur Unterätzung der Masken. Dies setzt gewisse Grenzen für das zu erreichende Verhältnis von Strukturhöhe und -breite, die sich insbesondere bei Strukturbreiten unter μm hinderlich auswirken und den Einsatz naßchemischer Ätzverfahren für Strukturbreiten im Submikrometerbereich ausschließen. Überwunden werden diese Beschränkungen durch anisotrope Trockenätzverfahren, bei denen als Ätzmedien Gase zum Einsatz kommen, in denen häufig mit Hilfe elektrischer Entladungen reaktive Spezies erzeugt werden. Diese Spezies reagieren mit den Atomen des zu ätzenden Substrates, wobei flüchtige Verbindungen entstehen, die in die Gasphase abdampfen und mit dem strömenden Gas fortgeführt werden.

In einem früheren Artikel (Impuls 68, 1985, Heft 2, S. 34–40) wurde schon einmal über eine spezielle Trockenätzvariante berichtet, und zwar über das sogenannte Plasmaätzen. Inzwischen sind die Forschungen zu Trockenätzverfahren vorangeschritten. Obgleich nach wie vor eine geschlossene Theorie des Trockenätzens aussteht, sind doch neue Wege und Möglichkeiten auf den Gebieten der Anwendung sowie der Untersuchungsmethodik dieser Prozesse erschlossen worden. Der vorliegende Beitrag gibt eine Übersicht über drei wichtig erscheinende Entwicklungsrichtungen. Es sind dies das elektronen- und photoneninduzierte Ätzen, der Einsatz von Wasserstoff als alternatives Ätzmedium und das Ätzen bei tiefen Substrattemperaturen.

2. Elektronen- und photoneninduziertes Ätzen

Sowohl die industrielle Anwendung als auch die Erforschung von Varianten des Trockenätzens konzentriert sich derzeit auf solche Prozesse, die unter wesentlicher Beteiligung von Ionen ablaufen. Ihr Grundprinzip besteht darin, daß ein gerichtetes Bombardement von Ionen auf die Substratoberfläche erzeugt wird. Dieses Bombardement bewirkt eine energetische Anregung der Atome der Festkörperoberfläche. Auf diese Weise werden die Oberflächenreaktionen der aus der Gasphase stammenden reaktiven Spezies beschleunigt bzw. überhaupt erst ermöglicht. Ferner beschleunigt auch das Herausschlagen von Atomen aus der Festkörperoberfläche durch auftreffende Ionen den Abtragungsvorgang. Dieser rein physikalische Prozeß ist unter der Bezeichnung „physikalisches Sputtern“ bekannt und wird auch separat genutzt, so beim Ionenätzen in Edelgasplasmen.

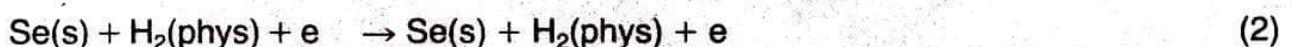
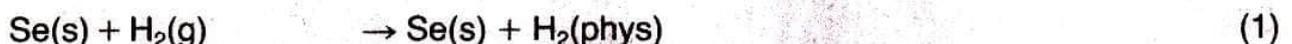
Informationskasten

Aus der einseitig zum Festkörper hin gerichteten Beanspruchung der Gitterbausteine an der Oberfläche fester Körper ergibt sich die Möglichkeit, an dieser Fläche noch andere, aus der Gasphase kommende Teilchen zu binden. Diese Erscheinung nennt man **Adsorption**. Die Größe der Adsorptionsenergie ist von der Art der adsorptiven Bindung abhängig. Man unterscheidet zwei qualitativ verschiedene Arten der Adsorption. Werden bei der Adsorption nur van-der-WAALS-Kräfte wirksam, so spricht man von physikalischer Adsorption (kurz: **Physisorption**). Die Adsorptionsenergie ist hierbei $< 0,5$ eV. Werden bei der Adsorption hingegen chemische Bindungen aufgebaut – Adsorptionsenergie $> 0,5$ eV – so spricht man von chemischer Adsorption (kurz: **Chemisorption**).

Den zur Adsorption entgegengesetzten Vorgang – also die Abtrennung eines adsorbierten Teilchens von der Oberfläche – bezeichnet man als **Desorption**. Von **thermischer Desorption** spricht man, wenn die zur Desorption nötige Energie durch Wärmezufuhr aufgebracht wird.

Im Vergleich zu den ionengestützten Trockenätzvarianten sind über das elektronen- und das photoinduzierten Ätzen bisher relativ wenige Veröffentlichungen erschienen. Es ist jedoch ein Ansteigen des Interesses an diesen Verfahren zu bemerken. Das Wesen des elektronen- bzw. photoneninduzierten Ätzens kann man folgendermaßen verdeutlichen: Auf einer Festkörperoberfläche physisorbierte Moleküle oder Atome des Ätzgases werden durch Elektronenstoß dissoziiert bzw. in einen angeregten Zustand versetzt (zum Begriff „Physisorption“ siehe Informationskasten).

Die so entstandenen Spezies besitzen im Vergleich zu den Ausgangsmolekülen oder -atomen eine gesteigerte Reaktivität, wodurch chemische Reaktionen der Adsorbat – mit den Substratteilchen beschleunigt bzw. überhaupt erst ermöglicht werden. Die Bereitstellung der Elektronen erfolgt mit Hilfe gewöhnlicher Elektronenquellen, wie etwa Glühkathoden. Zur Bestrahlung der Substrate mit Photonen werden Laser genutzt. Als Beispiel für den soeben verbal dargelegten Mechanismus ist im folgenden der Ablauf des elektroneninduzierten Ätzens von Selen in Wasserstoff dargestellt:



(s – Festkörper, g – Gas, phys – physisorbiert)

Die einzelnen Reaktionsschritte können wie folgt charakterisiert werden:

- (1) Physisorption von H_2 an einer Selen-Oberfläche
- (2) Dissoziation des physisorbierten H_2 durch Elektronenstoß
- (3) chemische Oberflächenreaktionen
- (4) Desorption des H_2Se

Im Unterschied zum ionengestützten Ätzen, bei dem die Beschleunigung der chemischen Oberflächenreaktionen durch die Aktivierung der Substratoberfläche erfolgt, ist also für das elektronen- und photoneninduzierte Ätzen die Aktivierung bzw. Dissoziation von adsorbierten Teilchen kennzeichnend, wodurch Strukturschäden des zu bearbeitenden Festkörpers vermieden werden. Dies ist ein wesentlicher Vorteil gegenüber den ionengestützten Ätzvarianten, denn durch den Beschuß der Festkörperoberfläche mit energiereichen schweren Ionen werden stets auch Defekte in tiefergelegenen Festkörperbereichen verursacht.

Da sich Elektronenstrahlen mittels elektromagnetischer Linsensysteme gut fokussieren und definiert ablenken lassen, bietet das elektroneninduzierte Ätzen auch gute Voraussetzungen für die Entwicklung maskenloser Ätztechnologien. Dabei wird ein Elektronenstrahl entsprechend der Form der zu ätzenden Struktur computergesteuert über das Substrat gelenkt, wobei er die chemischen Oberflächenreaktionen zwischen den physisorbierten Ätzgasmolekülen und den Festkörperatomen lokal eng begrenzt anregt. Die Zahl der notwendigen Prozeßschritte bei der Herstellung eines Mikrochips verringert sich bei Anwendung einer solchen Technologie, denn das Aufbringen der verschiedenen Masken und auch ihre sonst nach dem Ätzen notwendige Entfernung vom Substrat (Maskenlackveraschung) entfallen.

3. Wasserstoff als Ätzmedium

Die Auswahl des Ätzgases stellt eine durchaus praktische Frage für das Trockenätzen dar. Industrielle Anwendung finden derzeit als Ätzgase vorrangig Kohlenstoffverbindungen des Chlors bzw. Fluors (CCl_4 , CF_4). Neben ihrem toxischen Charakter haben diese Stoffe den Nachteil, daß sie zur Polymerschichtbildung auf den Reaktorwänden neigen, wodurch sich die Arbeitsbedingungen eines solchen Ätzreaktor drastisch verändern können. Ferner wirken die erwähnten Gase schädigend auf das Pumpsystem der Vakuumanlagen. Alle genannten Nachteile können durch den Einsatz von Wasserstoff als alternatives Ätzmedium überwunden werden. Im Vergleich zu den Kenntnissen über die klassischen Ätzgase ist die Anwendung von Wasserstoff als Ätzmedium für spezielle Anwendungsfälle bisher jedoch nur wenig untersucht worden, obwohl gerade Grundlagenuntersuchungen über die Wechselwirkung von Wasserstoffplasmen mit Festkörperoberflächen auch für die Problematik der Kernfusionsreaktoren von Interesse sind.

B	C	N	O	F
	Si	P	S	Cl
Ga	Ge	As	Se	Br
	Sn	Sb	Te	I
	Pb	Bi		

Abb.1 Elemente, die bei 25 °C gasförmige oder flüssige Hydride bilden

Der in Abb. 1 dargestellte Ausschnitt aus dem Periodensystem zeigt die Elemente, von denen sicher bekannt ist, daß sie bei 25 °C gasförmige bzw. flüssige, relativ gut flüchtige Hydride bilden. Wie man sieht, gehören hierzu auch die für mikroelektronische Zwecke besonders interessanten Elemente Si, As und Ga.

Die historisch ersten Untersuchungen zu elektrochemischen Kathodenzerstäubung von As, Sb, Bi, C, Se und Te in einer Wasserstoff-Glimmentladung führte A. Güntherschulze Mitte der zwanziger Jahre in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt zu Berlin durch. Industrielle Anwendung findet Wasserstoff derzeit zum Trockenätzen organischer Verbindungen, wie z. B. den Polyimiden, sowie als Beimischung zu halogenhaltigen Ätzgasen, wodurch unter gewissen Bedingungen die Selektivität des Ätzvorganges verbessert wird. Unter dem Begriff der Selektivität versteht man dabei das Verhältnis der Ätzgeschwindigkeiten von Substraten und Maske.

Im Zusammenhang mit der Verwendung des Graphits als Werkstoff zur Herstellung einiger Baugruppen von Kernfusionsreaktoren sowie im Hinblick auf die Produktion von Kohlenwasserstoffen sind eine Reihe detaillierter Laboruntersuchungen über die Wechselwirkung von Graphit und Wasserstoff unter verschiedenen Bedingungen durchgeführt worden.

Nur relativ wenig Veröffentlichungen gibt es bisher zu Laboruntersuchungen des Wasserstoffätzens anderer technologisch bedeutsamer Substanzen. Bekannt sind Arbeiten zum Ätzen von Si, GaAs, GaSb, InP sowie deren Oxiden, Ge, P, In, Pb, Sb, Bi, Zn, Si_xN_y , CdTe, TiC, TiB_2 und Kohlesitall. Zur Anwendung kamen neben Hochfrequenz- und Gleichstromentladungen sowie elektronenstrahlinduzierte und rein thermisch aktivierte Prozesse. Eigene experimentelle Untersuchungen wurden zum elektroneninduzierten Wasserstoffätzen von Graphit, Se, Sn, Ti, Pb, Cu, GaAs, LaB_6 , In_xSn_y sowie $\text{Sn}_{0,85}\text{Pb}_{0,1}\text{Si}_{0,05}$ -Legierung durchgeführt. Alle bisher erzielten Ätzraten (= Ätzgeschwindigkeiten) für Halbleiter und Metalle liegen allerdings mindestens eine Größenordnung, d. h. ungefähr um einen Faktor 10 unter denen, die bei optimalen Betriebsbedingungen mit klassischen Ätzgasen realisiert werden. Dies ist der Hauptgrund, weshalb Wasserstoff zum Ätzen von Halbleitermaterialien oder Metallen industriell noch nicht angewendet wird. Bei InP kommt erschwerend hinzu, daß sich auf Grund der extrem unterschiedlichen Dampfdrücke der Indium- und Phosphorhydride im Verlaufe des Ätzvorganges eine indiumangereicherte Oberflächenschicht herausbildet. Diese Erscheinung findet man mehr oder weniger ausgeprägt auch bei allen anderen bislang untersuchten Elementverbindungen oder Legierungen. Für das Ätzen unerwünscht, kann sie jedoch zur Erzeugung dünner Schichten mit besonderen Stöchiometrieeigenschaften ausgenutzt werden, was in der Zukunft für die Technologie der Herstellung von Hochtemperatur-Supraleitern Bedeutung gewinnen könnte.

4. Ätzen bei tiefen Substrattemperaturen

Gegenwärtig ist es noch nicht möglich, die beim Trockenätzen ablaufenden komplexen Oberflächenprozesse experimentell räumlich und zeitlich aufzulösen. Fortschritte auf diesem Gebiet werden jedoch im Zusammenhang mit der weiteren Entwicklung der Ultrakurzzeitspektroskopie (siehe Impuls 68, 1980/81, Heft 4–6) erwartet. Vorerst beschränken sich die experimentellen Forschungen auf die Oberflächenanalytik nach Beendigung des Ätzvorganges und die Untersuchung der Abhängigkeit der Ätzrate von charakteristischen makroskopischen Größen, wie z. B. der Substrattemperatur, dem Ätzgasdruck und der Stromdichte auf dem Substrat. Insbesondere die Abhängigkeit der Ätzrate R von der Substrattemperatur T_S erwies sich als ein wichtiger Schlüssel für das Verständnis der Mikroprozesse an der Grenz-

fläche zwischen Festkörper und Ätzgas. Bei elektronen- und photoneninduzierten Prozessen ist der $R-T_S$ -Verlauf amonoton und weist mindestens einen Extremwert, nämlich ein Maximum, auf. Je nach den gewählten experimentellen Bedingungen können weitere Minima und Maxima vorhanden sein (Abb. 2). Beim reaktiven Ionenätzen ist der $R-T_S$ -Verlauf prinzipiell ähnlich. Allerdings unterschreitet hierbei R einen gewissen Minimalwert R_{Ps} nicht. R_{Ps} ist der von der Substrattemperatur unabhängige Beitrag der physikalischen Sputterprozesse.

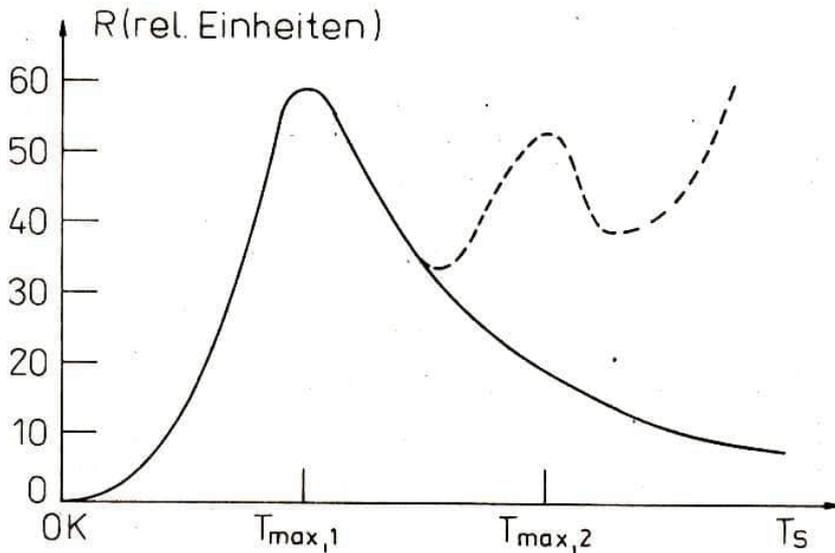
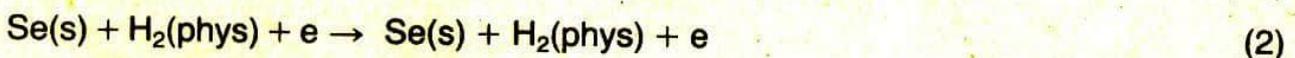
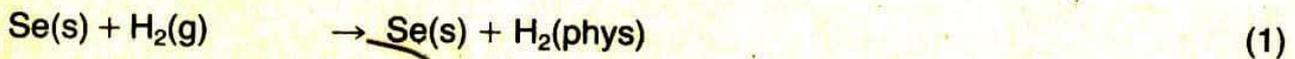


Abb.2 Prinzipieller Verlauf der Abhängigkeit der Ätzrate von der Substrattemperatur bei elektronen- und photoneninduzierten Ätzprozessen

Der beobachtete amonotone Temperaturverlauf der Ätzrate kann nur verstanden werden, wenn man berücksichtigt, daß die adsorbierten Ätzgäsatome bzw. -moleküle auch wieder von der Substratoberfläche desorbieren können, ohne an einer chemischen Oberflächenreaktion teilgenommen zu haben.

Für das in Abschnitt 2 schon angeführte Beispiel des elektroneninduzierten Ätzens bedeutet dies, daß man das dort angegebene Prozeßablaufschemata um zwei weitere Prozesse (1a, 2a) zu ergänzen hat:



Die mittlere Verweildauer τ der auf der Substratoberfläche adsorbierten Teilchen ist von der Substrattemperatur abhängig. Es gilt die sogenannte FRENKEL-Gleichung:

$$\tau = \tau_0 \exp(E_D/kT_S)$$

E_D – Desorptionsenergie

k – BOLTZMANN-Konstante

τ_0 – systemspezifischer Zeitfaktor (häufig ca. 10^{-13} s)

Die mittlere Verweilzeit der auf der Substratoberfläche adsorbierten Teilchen nimmt also mit wachsender Substrattemperatur exponentiell ab.

Exponentiell zunehmend mit wachsender Substrattemperatur dagegen ist die Reaktionswahrscheinlichkeit der Oberflächenreaktionen. Dieses Verhalten wird durch die ARRHENIUS-Gleichung beschrieben:

$$A = A_0 \exp(-E_A / kT_S) \quad (6)$$

A – Reaktionswahrscheinlichkeit

A_0 – systemspezifischer Zahlenfaktor

E_A – Aktivierungsenergie der chemischen Reaktion

Ausgehend von dem konkurrierenden Verhalten der durch die Gleichungen (5) und (6) beschriebenen Prozesse läßt sich jetzt das Auftreten des Maximums bei $T_{\max,1}$ im R- T_S -Verlauf erklären: Der Anstieg der Ätzrate mit wachsender Temperatur bis zum Maximum ergibt sich aus der Erhöhung der Reaktionswahrscheinlichkeiten der Oberflächenreaktionen mit wachsender Temperatur. Der Abfall der Ätzrate bei weiterer Temperatursteigerung kommt dadurch zustande, daß mit wachsender Temperatur die mittlere Verweilzeit der Adteilchen auf der Oberfläche sinkt und dieser Effekt schließlich das Ansteigen der Reaktionswahrscheinlichkeiten überkompensiert, so daß es absolut zu einer Abnahme der Ätzrate mit wachsender Temperatur kommt.

Ein eventuelles erneutes Ansteigen der Ätzrate bei höheren Substrattemperaturen kann verschiedene Ursachen haben. Es können dies sein:

1. *Übergang zu einem anderen Hauptreaktionsprodukt, bei dem weniger Ätzgasatome benötigt werden, um ein Festkörperatom von der Substratoberfläche fortzutransportieren (z. B. Übergang $CH_4 \rightarrow C_2H_2$ oder $MoCl_5 \rightarrow MoCl_4$).*
2. *Überwiegen eines schnellen chemischen Sputterprozesses ab einer gewissen Substrattemperatur. Der schnelle chemische Sputterprozeß ist dadurch charakterisiert, daß die reaktiven Spezies, die schon in der Gasphase, z. B. durch Elektronenstoß, erzeugt wurden, beim Auftreffen auf die Substratoberfläche an chemischen Oberflächenreaktionen teilnehmen, ohne sich vorher im Physisorptionszustand befunden zu haben. Das entstehende Ätzprodukt desorbiert sofort.*
3. *Rein thermisches Verdampfen des Substrates.*

Die Lage des ersten Maximums im R- T_S -Verlauf hängt sehr von dem speziellen Ätzsystem ab. Experimente bzw. theoretische Modellierungen ergeben z. B. für $T_{\max,1}$ beim elektroneninduzierten Ätzen von Mo in CCl_4 225 °C, von Sn in H 40 °C bzw. von GaAs in H_2 –40 °C. Wie man am letzten Beispiel sieht, gibt es also Ätzsysteme, die ihre optimalen Ätzraten bei Substrattemperaturen unterhalb von 0 °C erreichen. Ein Ätzen bei solch tiefen Temperaturen hat den für die Halbleitertechnik durchaus wichtigen Effekt, daß die Beeinflussung der Gitterstrukturen des Festkörpers durch thermische Effekte entfällt. Dadurch wird die thermische Schädigung schon erzeugter Strukturen im technologischen Ablauf der Herstellung von Schaltkreisen bei Ätzvorgängen verhindert. Folglich entfällt auch das Ausheilen solcher Schäden durch spätere Nachbehandlung, und die Zuverlässigkeit der Herstellungstechnologie steigt. Auf Grund dieser Perspektiven ist ein wachsendes Interesse an Trockenätzprozessen bei tiefen Substrattemperaturen zu verzeichnen. Die erste industrielle Anwendung vermeldete die japanische Firma Hitachi im Januar 1988. Es handelt sich um reaktives Ionenätzen von Si in SF_6 . Gearbeitet wird bei einer Substrattemperatur von –100 °C, und die Ätzgeschwindigkeit übertrifft die derzeit in der Massenproduktion übliche um das Zehnfache. Während gewöhnlich die Erhöhung der Ätzrate mit der Verschlechterung von Selektivität und Anisotropie („Gerichtetheit“) des Ätzprozesses einhergeht, betonen die japanischen For-

scher, daß beim Tieftemperaturätzen sehr hohe Ätzzraten sowie außerordentlich gute Selektivität und Anisotropie gleichzeitig erreicht werden. Damit ist ein weiterer Vorteil des Ätzens bei tiefen Substrattemperaturen erkannt worden.

5. Schlußbemerkung

Im vorliegenden Beitrag wurden neue Wege und Möglichkeiten für die Entwicklung der Trockenätztechnologien dargelegt. Elektronen- und Photoneninduziertes Ätzen, der Einsatz von Wasserstoff als alternatives Ätzmedium für spezielle Anwendungsfälle sowie das Ätzen bei Substrattemperaturen unterhalb von 0 °C stellen wichtige aktuelle Entwicklungstrends dar. Das theoretische Verständnis der beim Trockenätzen an der Grenzfläche Festkörper-Gas (Plasma) ablaufenden komplexen Prozesse weist nach wie vor große Lücken auf, obwohl in den letzten Jahren auch auf diesem Gebiet weitere Fortschritte gemacht wurden. Eine qualitativ völlig neue Stufe der theoretischen Durchdringung dieser Prozesse ist jedoch erst dann zu erwarten, wenn es gelingt, das hohe räumliche Auflösungsvermögen oberflächendiagnostischer Methoden mit dem hohen zeitlichen Auflösungsvermögen der Ultrakurzzeitspektroskopie zu koppeln, um die an der Substratoberfläche ablaufenden Vorgänge während des Ätzens sowohl räumlich als auch zeitlich experimentell auflösen zu können. Die intensiven Forschungen zu all den angedeuteten Problemen lassen für die nächsten Jahre weitere interessante Erkenntnisse über Trockenätzmechanismen und deren industrielle Anwendungsmöglichkeiten erwarten.

Das Gesetz von der
RELATIVITÄT der Zeit:

*Wie schnell eine Minute vergeht,
hängt davon ab,
auf welcher Seite der Toilettentür
du dich befindest!*



Reiner Strobel
Friedrich-Schiller-Universität Jena
Sektion Physik

Kürzeste elektrische Impulse durch optoelektronische Schalter

Ein regelrechter Wettlauf hat in den letzten Jahren um die Erzeugung der kürzesten elektrischen Impulse eingesetzt, nachdem es zuvor schon um die kürzesten Lichtblitze ging. Letztere konnten durch die Entwicklung von bestimmten Farbstofflasern in ihrer Dauer auf wenige Femtosekunden (10^{-15} s) gebracht werden. Mit Hilfe dieser extrem kurzen optischen Impulse versucht man nun elektrische zu erzeugen, die in der gleichen Größenordnung liegen oder nur um wenig länger sind.

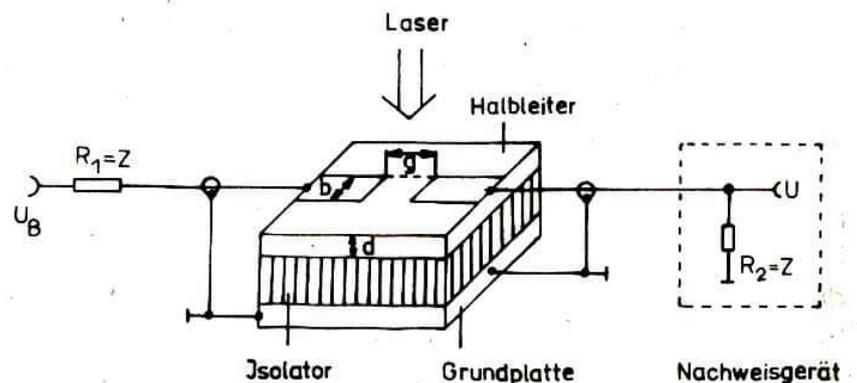
Hintergrund der stürmischen Entwicklung auf diesem Gebiet ist die Mikroelektronik, die neben dem Erfordernis der weiteren Minia-

turisierung der Bauelemente auch immer schnellere Schaltzeiten verlangt, d. h. die Geschwindigkeit der Verarbeitung der Daten soll weiter erhöht werden. Um aber beispielsweise einen Transistor zu testen, der Signale mit einer Folgefrequenz von 10 GHz (10^{10} Hz) möglichst verzerrungsfrei verarbeiten soll, braucht man elektrische Impulse von einigen zehn Pikosekunden.

Aufbau und Funktion optoelektronischer Schalter

Eine Möglichkeit, kurze Impulse zu erzeugen, ist die Verwendung optoelektronischer Schalter. Der prinzipielle Aufbau einer solchen Anordnung ist in der folgenden Abb. zu sehen.

Meßanordnung für Schaltexperimente



Auf ein Halbleitersubstrat wird ein Aluminiumstreifen von etwa 1 mm Breite und 100 nm Dicke aufgedampft. Dieser Streifen ist durch einen Spalt von 0,1 bis 1 mm unterbrochen. Die Unterseite des Halbleiterplättchens ist in ihrer vollen Ausdehnung elektrisch kontaktiert. Entsprechend der Abb. wird an die linke Seite der Anordnung eine Spannung angelegt, die jedoch zunächst keinen Stromfluß durch den Abschlußwiderstand Z bewirkt, da das Halbleitermaterial im Spalt zwischen den beiden Elektroden auf der Oberseite des Plättchens einen sehr großen Widerstand hat. Schießt man aber in diesen Spalt einen Laserstrahl, wird das Material leitend und es kann ein Strom fließen, der einen bestimmten Spannungsabfall am Abschlußwiderstand Z bewirkt.

Wie kommt es zu dieser Leitfähigkeitserhöhung im Halbleiter?

Die Energie der einfallenden Photonen des Laserstrahls wird vom Halbleitermaterial absorbiert und zur Erzeugung von freien Ladungsträgern verwendet. D.h., ein vorher an ein festes Atom gebundenes Elektron wird mit Hilfe der Photonenenergie abgelöst und steht nun für den Stromfluß zur Verfügung. Das dadurch gleichzeitig entstehende „Loch“, d. h. das zurückbleibende positive Teilchen, trägt ebenfalls zum Stromfluß bei.

Eine bessere Beschreibung dieses Sachverhalts ist durch das Bändermodell der Halbleiter möglich. Dieses Modell ist etwas weniger anschaulich, kommt der Realität aber wenigstens ein bißchen näher. Es ist bekannt, daß in einem Festkörper die Elektronen nicht beliebige Energien annehmen können, sondern bestimmte Bereiche erlaubter Energien (Bänder) von verbotenen Zonen der Energie abgelöst werden. Da die Elektronen stets bestrebt sind, möglichst geringe Energien anzunehmen, besetzen sie natürlich immer zuerst die Bänder mit den niedrigsten Energien. Jedes Band kann aber nur eine bestimmte Anzahl Elektronen aufnehmen, so daß nicht nur das Band mit der niedrigsten Energie, sondern mehrere Bänder gefüllt werden. Entscheidend für den Stromfluß im Festkörper sind aber nur *nicht* voll besetzte Bänder. Ein voll aufgefülltes Band trägt nicht zum Stromfluß bei! Beim Halbleiter liegt aber nun gerade der Fall vor, daß bei $T = 0 \text{ K}$ (dem absoluten Temperaturnullpunkt $-273,15 \text{ °C}$) das letzte Band (das sogenannte Valenzband) voll besetzt ist. D. h., der Halbleiter verhält sich bei tiefen Temperaturen wie ein Isolator. Erhöht man nun die Temperatur des Halbleiters, bewirkt die zugeführte Wärmeenergie, daß ein Teil der Elektronen soviel Energie erhält, daß diese die Energielücke zum nächsten Band überwinden können. Dort tragen sie zur Leitfähigkeit bei, da jetzt dieses Band (das sogenannte Leitungsband) nur teilweise besetzt ist. Man bezeichnet sie dann als freie Elektronen. Doch nicht nur das Leitungsband ist nun nur teilweise besetzt, sondern auch das Valenzband, das deshalb ebenfalls zum Stromfluß beiträgt. Der Beitrag des Valenzbandes erscheint so, als wenn eine der Zahl der freien Elektronen gleiche Anzahl positiver Ladungsträger (Löcher) durch den Halbleiter fließt. Beide Anteile, Elektronen und Löcher, tragen zur Leitfähigkeit im Halbleiter bei.

Wir haben also gesehen: Bei einer bestimmten Temperatur befindet sich eine bestimmte Anzahl freier Ladungsträger im Halbleiter. Diese Zahl wird sich natürlich erhöhen, wenn die Temperatur steigt; wir haben also eine Erklärung für die Widerstands-Temperatur-Charakteristik der Halbleiter gewonnen, die z. B. der der Metalle entgegengesetzt ist. (Metalle erhöhen ihren Widerstand bei wachsender Temperatur.) Die thermische Anregung von Elektronen ins Leitungsband ist kein statischer Prozeß. Nach einer bestimmten mittleren Verweilzeit geben die Elektronen ihre Energie wieder ab und kehren ins Valenzband zurück. Die abgegebene Energie wird aber von anderen Elektronen erneut aufgenommen usw. Im Mittel befindet sich also stets etwa die gleiche Anzahl von Elektronen im Leitungsband, d. h. die Anregungsprozesse (Generation) halten sich mit den Prozessen der Rückkehr ins Valenzband (Rekombination) die Waage. Dies ist die charakteristische Situation für einen Gleichgewichtsprozeß; man sagt, der Halbleiter befindet sich im thermischen Gleichgewicht. Grundlage ist aber, daß keine Energie nach außen abgegeben wird, wie es z. B. der Fall wäre, wenn sich die Umgebungstemperatur verringert.

Nun zurück zu den optoelektronischen Schaltern. Bestrahlt man das Halbleitermaterial zwischen den Elektroden mit Photonen, deren Energie hf (h – Plancksches Wirkungsquantum, f – Frequenz des Laserlichts) größer oder gleich der Energielücke E_g zwischen Valenz- und Leitungsband ist, so kann der Halbleiter das Photon absorbieren, d. h. die Photonenenergie wird zur Anregung eines Elektrons aus dem Valenz- ins Leitungsband benutzt. Dadurch wäre

zunächst einmal die Leitfähigkeitszunahme bei Laserbeschuß und damit der Einschaltvorgang des optoelektronischen Schalters erklärt.

Da wir uns jedoch die Erzeugung kurzer elektrischer Impulse zum Ziel gesetzt hatten, bedarf es noch eines geeigneten Mechanismus, den Schalter möglichst schnell wieder auszuschalten. Bei geeigneter Wahl des Halbleiters tut dies das Material selbst. Denn die erzeugten Ladungsträger sind Nichtgleichgewichtsladungsträger, die zusätzlich über die Zahl der freien Elektronen im Leitungsband im thermischen Gleichgewicht hinaus produziert wurden. Wenn sie ihre Energie abgeben, wird diese nicht wieder zur Anregung des nächsten freien Ladungsträgers benutzt, sondern für andere Prozesse verwendet. Solche Prozesse sind beispielsweise die Emission eines Photons mit der Energie E_g oder einfach die Abgabe der Energie an die Gitterbausteine des Halbleiters (Umwandlung in Wärme, Aufheizen des Materials). Die mittlere Lebensdauer eines Nichtgleichgewichtsladungsträgers, d. h. seine mittlere Aufenthaltsdauer im Leitungsband, wird als Rekombinationszeit bezeichnet und ist eine außerordentlich wichtige Größe zur Charakterisierung der elektronischen Eigenschaften eines Halbleitermaterials. Sie ist u. a. von der Reinheit des Materials, von Kristallfehlern und der Dotierung abhängig. Für die optoelektronischen Schalter bedeutet die Rekombinationszeit die Zeit, nach deren Verlauf der Schalter wieder hochohmig wird, und bestimmt damit die Länge des entstehenden elektrischen Impulses. Voraussetzung dafür ist allerdings, daß die Laserimpulsdauer kleiner als die Rekombinationszeit ist, da natürlich bei andauernder Bestrahlung die Leitfähigkeit auf einem geringen Wert bleiben würde. Typische Rekombinationszeiten von Halbleitermaterialien, die für optoelektronische Schalter genutzt werden, liegen zwischen 1 ps und 1 ns (10^{-12} bzw. 10^{-9} s).

Anwendungsgebiete

Neben dem eingangs erwähnten Beispiel der Testung schneller Transistoren mit den durch optoelektronische Schalter erzeugten kurzen elektrischen Impulsen gibt es eine ganze Reihe weiterer Anwendungsbeispiele.

Eines davon liegt auf der Hand, wenn man als Schaltermaterial einen unbekanntes (neu entwickelten) Halbleiter einsetzt. Aus der Länge und Form des elektrischen Ausgangsimpulses lassen sich die Rekombinationszeit und Rekombinationsmechanismen ablesen und damit Aussagen über Reinheit des Materials, Kristallfehler u. a. treffen. Diese Fakten können wiederum zur Entscheidung über den Einsatz des Materials für bestimmte Bauelemente u. ä. genutzt werden.

In der Elektronik wird oft eine Folge von Impulsen benötigt, die nahezu „jitterfrei“ ist, d. h. die zeitlichen Abstände zwischen den Impulsen sollen möglichst nicht variieren. Diese Forderung wird von optoelektronischen Schaltern sehr gut erfüllt, da die elektrischen Impulse den optischen praktisch völlig simultan folgen und die Lichtimpulse mit einer hohen Zeitkonstanz erzeugbar sind.

Buchbesprechung

Eberhard Schröder, „Kartenentwürfe der Erde“ – Kartographische Abbildungsverfahren aus mathematischer und historischer Sicht; Mathematische Schülerbücherei, Nr. 128, 168 Seiten mit 64 Abb.: BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft Leipzig; 1988, 9,- M; Bestellangaben: 666 460 3 / Schröder, Kartenentw.

Wir haben uns ziemlich daran gewöhnt, beim Blick auf die Weltkarte unsere Republik etwa in der Mitte der Karte, auf halber Strecke zwischen Äquator und Nordpol zu finden. Die gleiche Karte vermittelt uns die Gestalt der Ozeane und Kontinente. Doch schon die Gesamtdarstellung des Pazifischen Ozeans lehrt uns, daß die amerikanische Westküste und der ostasiatische Teil bis hin nach Australien auch einen anderen, ungewohnten, irgendwie verzerrten Anblick haben kann. Auch die Antarktis ist kein längliches Gebilde, ruhend am „unteren Ende“ der Erdkarte, sondern gleicht (grob vereinfacht) eher einer Kreisscheibe mit recht großen Buckeln und Beulen. Woran liegt es eigentlich, daß wir die einen Kontinente scheinbar richtig, andere dagegen verzerrt sehen?

Eine Antwort auf diese Frage gibt uns das Buch „Kartenentwürfe der Erde“ von Dr. Eberhard Schröder, das 1988 in der Reihe „Mathematische Schülerbücherei“ der BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft erschienen ist.

Das Buch läßt sich in drei Teile gliedern. Im ersten Teil wird der Leser mit Karten aus der Antike vertraut gemacht, erfährt etwas über Koordinaten auf der Kugeloberfläche und die Abbildung dieser auf eine Kreisfläche. Diese Art der Abbildung nennt man stereographische Projektion. Nach diesem Exkurs in die leicht verständliche Mathematik wird noch die gnomonische Projektion beschrieben. Schließlich erläutert der Autor die geographische Längen- und Breitenbestimmung aus historischer Sicht.

Der zweite Teil des Buches ist ein Ausflug in die zweifellos notwendige Differentialgeometrie, die die Grundlage der im dritten Teil verwendeten Mathematik enthält. Es dürfte jedoch für Schüler der Polytechnischen Oberschulen schwierig sein, diesen Abschnitt zu meistern, da mit Differentialen und Integralen gearbeitet wird, die erst Gegenstand der erweiterten Oberschule sind. Der Leser sollte aber trotz eventueller Schwierigkeiten diesen Teil nicht überblättern und wenigstens zur Kenntnis nehmen, daß eine kartographische Abbildung entweder nur flächen- oder nur winkeltreu sein kann, womit die eingangs gestellte Frage zum Teil schon beantwortet ist. Schließlich sind noch die Sätze von Tissot wichtig, die etwas über Größe und Richtung der Verzerrung bei der Abbildung der Kugel auf die Ebene aussagen. Der Autor bleibt dem Leser allerdings schuldig, was nun eigentlich die Sätze von Tissot sind. Der dritte Teil des Buches beginnt mit einer Klassifizierung von „Kartenentwürfen“ – so nennt man die kartographische Abbildung der Erdoberfläche auf eine ebene Karte. Es gibt zwei Klassen, die sogenannten echten und die unechten Entwürfe. Erste zeichnen sich dadurch aus, daß die abgebildeten Breiten- und Längengrade der Kugel auch in der Karte senkrecht aufeinander stehen, während das bei der zweiten Klasse nicht der Fall ist, ja sogar beliebige Kurven als Koordinatenlinien zugelassen sind.

Der Hauptinhalt des dritten Teils ist die ausführliche Erläuterung der drei Typen von echten Entwürfen, nämlich der Kugel-, Zylinder- und Azimutalentwürfe. Schließlich werden verschiedene unechte Entwürfe beschrieben und man erfährt, daß unsere gewohnte Weltkarte ein recht komplizierter Kartenentwurf von Winkel aus dem Jahre 1913 ist.

Das Buch wird vor allem dadurch bereichert, daß die Entwürfe nicht nur einfach erläutert werden, sondern die Entwicklung der Kartographie von der Antike bis heute Eingang findet.

Es wird deutlich, daß mit der Entwicklung von Wissenschaft und Technik, insbesondere durch die Einführung immer modernerer Meßmethoden und -instrumente sowie durch die Anwendung der Mathematik die Kartographie einer ständigen Weiterentwicklung unterlegen ist und selbst heute – so der Autor in der Schlußbetrachtung – immer wieder neu Kartenentwürfe benötigt und ausgearbeitet werden.

Peter Kroll

WISSENSWERTES

Unter der Überschrift „Die Schule muß eine ganz andere werden“ plädiert der sowjetische Wissenschaftler Dr. Michail Postnikow in der Zeitschrift „sputnik“ Heft 1/1988 für eine umfassende Reform des Bildungswesens. Nach seiner Meinung soll die Zielstellung der Schule „in der Vorbereitung auf das Leben“ bestehen. Die dabei zu erlernenden Fähigkeiten und Kenntnisse teilt Postnikow in vier gleichberechtigte Zyklen ein:

1. Schulwissen

Dazu gehört das Erlernen der Mutter- und Fremdsprachen, Kenntnisse in der Arithmetik und der Informatik sowie eine allgemeine Vorstellung von den Wissenschaften.

2. Ethik

Sie soll die Herausbildung der Weltanschauung, die Kenntnis der Gesetze und sozialer Normen sowie die Vorbereitung auf Ehe und Familie beinhalten.

3. Ästhetik

Sie schließt die Beschäftigung mit Literatur, Musik, Zeichnen und Graphik ein.

4. Körperkultur

Dazu gehören Kenntnisse und Beherrschung des eigenen Körpers und Ausbildung in der ersten Hilfe.

Die Schulbildung solle zudem nicht länger als 8 bis 9 Jahre dauern, wobei sich das letzte Jahr vor allem Fragen der Berufsausbildung widmet.

Der Autor vertritt z. B. die Ansicht, daß die Mathematik viel zu umfassend unterrichtet wird. „Welcher erwachsene Mensch, der nicht Mathematiker ist, hat in seinem Leben die quadratischen Gleichungen oder wenigstens das Theorem über die Innenwinkel im Dreieck nötig?“ Und weiter: „In der Pädagogik ist seit langem der Stereotyp verwurzelt, daß die Mathematik das deduktive Denken entwickle. Aber das stimmt doch gar nicht. Das deduktive Denken nimmt unter den anderen Denkformen nur einen geringen Raum ein, und erforderlich ist es nur für Theoretiker.“

Eine Stunde Mathematik pro Woche hält der Naturwissenschaftler für ausreichend. Eher sollten die Schüler befähigt werden, eine elektrische Sicherung oder eine Dichtung zu wechseln, Mittag zuzubereiten oder sich einen Knopf anzunähen.

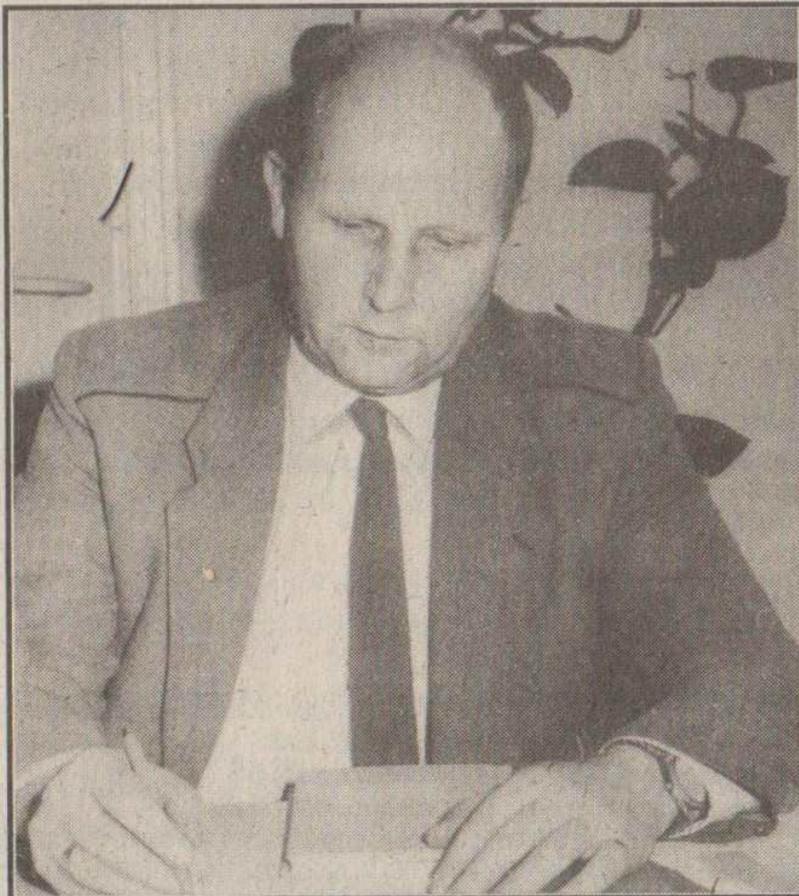
Sicher keine ganz unproblematischen Standpunkte, welche hier dargelegt werden. Wie soll z. B. von den Schülern die Hochschulreife erlangt werden? Wie vereinbaren sich die vorgeschlagenen Maßnahmen mit dem zunehmenden Eindringen der Wissenschaft in alle Bereiche unseres Lebens? Auf jeden Fall regt der Artikel im „sputnik“ zum Nachdenken darüber an, wie effektiv die Schüler heute auf das vorbereitet werden, was sie später im Leben erwartet.

impuls

68

Schülerzeitschrift
für Physik, Chemie
und Biologie

INDEX 322004 · ISSN 0232-9220 · 23. JAHRGANG · PREIS: 0,60 M



Wissenschaftler
im Kreuzverhör

2/89

impuls 68



Wissenschaftler im Kreuzverhör Heute: <i>Prof. Dr. sc. nat. K. Hehl</i>	3
An unsere Leser / Studentenklubs vorgestellt	8
<i>Klaus-Dieter Herbst</i>	
Wie funktioniert ein Sextant?	9
Wissenswertes	12
<i>Dr. Lutz Wendler, Dr. Elke Wendler</i>	
Quantum-Wells und Supergitter – neue Halbleiterstrukturen für Mikro- und Optoelektronik (Teil 4)	13
Inhaltsverzeichnis „impuls 68“ 22. Jahrgang (1988)	21
<i>Andreas Polley</i>	
Gentechnische und biochemische Optimierung von Mikroorganismen	23
<i>Peter Kroll, Peter Kühmstedt</i>	
Die III. Internationale Konferenz für Physikstudenten 1988 in Prag	27
<i>Martin Schnittler</i>	
Warum essen wir (nicht) Knoblauch?	30
Das Münchhausen-Syndrom	32

impuls 68 – Schülerzeitschrift für Physik, Chemie und Biologie

Herausgeber: FDJ-Aktiv der Friedrich-Schiller-Universität Jena

Die Zeitschrift erscheint im Eigenverlag der Redaktion **impuls 68**

Anschrift der Redaktion: Max-Wien-Platz 1, Jena, 6900, Telefon 2 71 22/2 17

Veröffentlicht unter der Lizenznummer 1570 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der DDR.

Erscheinungsweise: zweimonatlich

Heftpreis: 0,60 M

Bezugsmöglichkeiten: durch den Postzeitungsvertrieb

Texterfassung: **impuls 68**

Textverarbeitung und Rollenoffsetdruck: Druckerei Volkswacht Gera, AN (EDV) 13228

Chefredakteur: Andreas Erdmann; stellv. Chefredakteur: Karsten König

Redaktionsmitglieder: Dr. Bringfried Stecklum, Petra Richter, Peter Kroll, Alexander Niehardt, Rainer Strobel, Wolfram Meinhardt, Jens Thole, Andreas Chwala, Klaus-Dieter Herbst, Gustavo Rodriguez Zurita

Gestaltung: **impuls 68**; Steffen Wolf

Redaktionsschluß: 15. 1. 1989

Titelfoto: Wissenschaftler im Kreuzverhör – Heute: Prof. Hehl, Physiker; lest dazu die Seiten 3 und folgende

Wissenschaftler im Kreuzverhör

Heute:

Prof. Dr. sc. nat. K. Hehl

impuls 68: Werter Professor Hehl, was ist Ihnen von Ihrem Physikunterricht in der Schule besonders in Erinnerung geblieben, wodurch wurde Ihr Interesse für die Physik erweckt?

Prof. Hehl: Eigentlich sind es drei Physik-Lehrer, die durch ihren Unterricht und ihre Persönlichkeit einen solch bleibenden Eindruck hinterlassen haben, daß meine Entscheidung für die Physik mir heute noch fast unabdingbar erscheint. Zuerst war es in der kleinen Dorfschule in der Rhön Herr Schneider, der trotz der relativ eingeschränkten Möglichkeiten sehr anschaulich und ein-

drucksvoll physikalische Experimente vorführte, die mein Interesse für die inneren Zusammenhänge der Natur weckten. In der neunten und zehnten Klasse der Oberschule konnte durch einen sehr anspruchsvollen Physikunterricht mit sehr vielen einprägsamen Versuchen und mathematischen Ableitungen Herr Vanderheyden diese Neugierde in sehr konkrete Vorstellungen umsetzen, die mein Grundverständnis von Physik und Mathematik noch heute nachhaltig mit prägen. Nach einem völlig verpatzten Unterricht in der 11. Klasse, der Name dieses Lehrers konnte mir zum Glück entfallen, war es Herr Schaub, der bei einigen Schülern die Liebe zur Physik wieder neu weckte. Diese scheinbar zufällige Rolle der Physiklehrer für die Entwicklung eines dauerhaften Verhältnisses der Schüler zur Naturwissenschaft und Technik betone ich aus meiner heutigen Sicht bewußt.

Aus dem Studium der Bewerbungsunterlagen der letzten zehn Jahre ist mir deutlich vor Augen geführt worden, daß aus bestimmten Schulen immer wieder eine größere Zahl von Schülern zu uns gefunden haben, die entsprechend motiviert und vorbereitet sind. In einigen Fällen kenne ich deren Lehrer inzwischen persönlich.

impuls 68: Worauf sollten physikinteressierte Schüler besonderen Wert legen, wenn sie sich langfristig auf ein mögliches Physikstudium vorbereiten wollen?

Prof. Hehl: Zunächst sollte jeder Schüler, der Physik studieren möchte, sich die beiden folgenden Fragen selbst beantworten:

- Interessiere ich mich für das volle Spektrum der Physik, bin ich bereit, mit größtem Engagement auch Disziplinen, die nicht zu meiner Schokoladenseite gehören, bis zur Erlangung des notwendigen Beherrschungsgrades zu verfolgen?
- Will ich einen großen Anteil an Zeit und Kraft dafür einsetzen, damit ich die Mathematik als kreatives Mittel zur Beschreibung und Lösung physikalischer Sachverhalte schöpferisch anwenden kann?

Falls man hinter diesen beiden Forderungen nicht vorbehaltlos steht, sollte man seinen Studienwunsch noch einmal überdenken.

Für den Lehrerberuf kann man beide Fragen in gleicher Schärfe übernehmen und durch eine dritte ergänzen:

- Begeistert mich der Gedanke, mein Wissen und Können auch auf andere zu übertragen, fühle ich mich berufen, das Feuer für die Mathematik, Naturwissenschaft und ihre tech-

nischen Anwendungen auch auf Jüngere zu übertragen?

Als konkrete Studienvorbereitung würde ich zuerst alle Anstrengungen zur sicheren Beherrschung des Mathematik-Schulstoffes als die wesentlichste Voraussetzung ansehen. Es ist selbstverständlich gut, wenn man sich in Arbeitsgemeinschaften, im wahlobligatorischen Unterricht auch für Dinge interessiert, die zur eigenen schöpferischen Betätigung anregen, der Beruf sollte natürlich auch etwas Hobby sein. Man sollte aber von dem Gedanken abgehen, während der Schulzeit im Vorgriff auf das spätere Studium wesentlich über das Schulniveau hinauszugehen, das führt zu leicht zur Selbstüberschätzung.

impuls 68: Es ist bekannt, daß zu Beginn des Studiums oft eine Verschlechterung der Noten um zwei bis drei Stufen gegenüber der Schule auftritt. Worin sehen Sie die Ursache?

Prof. Hehl: Man kann eine ganze Reihe einschneidender Veränderungen beim Übergang zum Studium nennen. Das sind allein keine Gründe, vielmehr liegen die Ursachen in der unterschiedlichen subjektiven Bewältigung der Trennung vom Elternhaus, dem Partner, gelegentlich auch der gerade gegründeten eigenen Familie. Im neuen Kollektiv hat man seinen Platz noch nicht gefunden. Das Wohnheim bietet sicher nicht immer ideale Bedingungen. Die Anforderungen des Studiums sind noch unklar. Neue Begriffe wie Semester, Vorlesung, Seminar, Praktikum, vorlesungsfreie Zeit müssen erst erfaßt werden. Wenn dann die Berufsmotivation nicht klar ist, erweist sich die erste Prüfung in der Mathematik nach dem ersten Semester als Gradmesser für die Bewältigung des Anlaufprozesses, obwohl hier scheinbar nur der Stand in einem Fach gemessen wird. Wenn der Student dann noch den Fehler macht, die Differenz zu vorhergehenden Noten zum Ausgangspunkt seiner Überlegungen zu machen, kommt es gelegentlich zu schweren persönlichen Krisen.

Man sollte aber eigentlich wissen, daß Zulassungen zur Physik nur mit Noten in Mathematik und Physik zwei und besser ausgesprochen werden. Da für eine Leistungsbewertung von uns bewußt das volle Notenspektrum, die Note 4 ist eine positive Bewertung, in Anwendung gebracht werden muß, gibt es mit Notwendigkeit solche Notendifferenzen. Selbst die Note 5 heißt nach unserer Prüfungsordnung nicht Exmatrikulation, sondern nach der ersten Wiederholungsprüfung kann man noch alle Noten erhalten, eine zweite Wiederholung kann noch genehmigt werden. Je schneller der Student lernt, seine Leistung richtig zu bewerten und aus der Note die richtigen Schlußfolgerungen für das Studium zu ziehen, um so rascher wird er bei uns Fuß fassen und eine durch eigene Leistung erworbene Beziehung zur Physik finden. Den Hochschullehrern sind diese inneren Konflikte bekannt, es wird helfend eingegriffen und der Tadel bzw. die disziplinarische Maßnahme steht erst am Ende einer längeren Kette, wenn der Student keine Einsicht zeigt. In der Regel kommt es innerhalb des ersten Studienjahres zu einer kollegial mit dem Studenten abgesprochenen Einschätzung, ob und wie das Studium fortgesetzt wird. Hochschul- und Fachrichtungswechsel bzw. Exmatrikulation sind ab zweitem Studienjahr deshalb relativ selten.

impuls 68: Wie hat sich die Abschaffung der Vorbereitungsklassen an der EOS auf das Niveau der Ausgangskenntnisse und auf die Fähigkeiten selbstständigen Arbeitens künftiger Studenten ausgewirkt?

Prof. Hehl: Wir können einigermaßen statistisch gesicherte erste Aussagen zur gestellten Frage machen. An der Notenverteilung zur erwähnten ersten Mathematikprüfung ist ohne

Zweifel ein signifikanter Unterschied gegen früher zu bemerken. Es fehlt fast vollständig die Note 3, alle anderen Noten sind etwa gleichverteilt. Das heißt das Studienjahr zerfällt zumindestens zu Beginn in zwei Gruppen, das Mittelfeld fehlt nahezu. Betrachtet man die Korrelation zur Vorgeschichte, wir haben etwa 50 % Speziialschüler, dann gibt es eine eindeutige Aussage auf Ihre Frage, um die wir uns nicht drücken können, ob die Antwort uns gefällt oder nicht.*

Zieht man die Selbständigkeit, den Arbeitsstil und die Leistungen in der Experimentalphysik hinzu, dann kommen weitere Differenzierungsmerkmale der beiden Gruppen zu Tage, selbst die Sprachausbildung bleibt davon nicht verschont. Das verpflichtet uns zu einer sehr differenzierten und pädagogisch nicht immer einfach zu realisierenden Individualisierung des Studiums. Wir haben die Stärken der Seminargruppen auf maximal 15 begrenzt und bieten jede Form der differenzierten Behandlung an. Schon im ersten Studienjahr gibt es neben individuellen Studienplänen für einige gute Studenten auch sehr individuelle Förderungsmaßnahmen zur Beseitigung der ungleichen Voraussetzungen. Unser Ziel, am Ende Absolventen zu liefern, die in jedem Falle die bekannten Anforderungen der Praxis erfüllen – wir sind ja gewissermaßen Finalproduzenten –, ist nur mit großem Aufwand zu erreichen.

Es ist für uns natürlich trotzdem bitter, wenn Studenten, die diese unverschuldete Differenzierung besonders hart empfinden und deshalb exmatrikulieren, nur weil sie diese Differenz zu ihren Vorleistungen psychisch nicht verkraften. Die Chance eines positiven Abschlusses ist ihnen zu wenig Sicherheit, obwohl wir anhand ihrer Vorgänger nachweisen können, daß sich diese Differenzen gegen Ende des Studiums verwaschen und sich nur durch unterschiedliches Leistungsvermögen und -bereitschaft begründen, aber nicht durch die Vorgeschichte.

impuls 68: Auf welchen Gebieten der Physik waren bzw. sind Sie tätig, wie sieht ein Arbeitstag des Prof. Hehl aus?

Prof. Hehl: Ich bin froh, daß ich die als Student erlebte Breite in meinem Berufsleben auch wiederfinden konnte. Nach meinem Studium an der TU Dresden habe ich beginnend mit der Diplomarbeit etwa sechs Jahre in der theoretischen Kernphysik am Zentralinstitut für Kernforschung in Rossendorf gearbeitet. Diese Tätigkeit in einem nahezu gleichaltrigen und neugegründeten Kollektiv unter Leitung von Prof. Klaus Fuchs und Prof. Karlheinz Müller hat mir neben der Freude am international beachteten Ergebnis eine feste Vorstellung über das Was, Warum und Wie der wissenschaftlichen Arbeit verschafft.

Die Möglichkeit, wieder näher zu meiner thüringischen Heimat zu kommen, kam mir nicht ungelegen als mit der Hochschulreform in Jena 1968 eine wissenschaftliche Aufgabe an mich herangetragen wurde, die es mir erlaubte, meine Kenntnisse aus der Kernphysik auf die Untersuchung und gezielte Veränderung von Festkörpern durch Teilchenbeschuß zu übertragen. Heute spricht man von Implantationstechnologie und Rutherford-Rückstreuunganalyse und meint damit qualitative und quantitative Verfahren, die z. B. für die Entwicklung der modernen Mikroelektronik tragende Säulen geworden sind. Daß wir im Wissenschaftsbereich Ionometrie in Jena eine ganze Reihe von eigenen Beiträgen liefern und dieses Gebiet für unsere Volkswirtschaft mit erschließen konnten, ist zum Glück heute auch für Theoretiker nicht mehr ganz untypisch. Die Erfordernisse der Entwicklung anderer Analyseverfahren und die Notwendigkeit der Entwicklung von schnellen Ausheilprozessen, die nach der Ionenimplantation, z. B. über Laserbeschuß, zu einer Rekristallisation des Gitters benötigt wurden, haben mich inzwischen stärker in Richtung der Festkörperoptik gebracht, was für Jena auch nicht gerade zufällig sein sollte.

Meine ursprüngliche Abneigung gegen eine Hochschullehrertätigkeit hatte sich schon mit der Betreuung von Diplomanden in Rossendorf zerstreut. Inzwischen ist die Lehre zu einem unverzichtbaren Bestandteil meiner Arbeit geworden. Über die letzten zehn Jahre habe ich mit kurzzeitigen Unterbrechungen als stellvertretender Direktor der Sektion Physik oder als Studienjahresleiter an maßgeblicher Stelle des Erziehungs- und Ausbildungsprozeß gestanden. Natürlich ist damit ein erhebliches Pensum an Arbeit verbunden, die Administration hat ja nicht die Tendenz sich zu vereinfachen.

Wenn Sie mich nach einem Arbeitstag fragen, dann will ich mich nicht über die sicher ausreichende Länge beklagen, vielmehr ist es die Zerissenheit des Arbeitstages, die am stärksten belastend wirkt. Damit meine ich zuerst die notwendigen und gelegentlich auch unnötigen Leitungsaktivitäten, wie Sitzungen, Berichte oder ähnliches. Natürlich belastet es auch, wenn man als unmittelbarer Verantwortlicher der Sektion mit sehr viel Einzelproblemen der Studenten konfrontiert werden muß. Es bleibt aber nach wie vor bei der Regelung, daß mich jeder Student zu jeder Zeit aufsuchen kann um sofort sein Problem vorzubringen. Zum Glück werde ich dabei sehr tatkräftig durch Frau Illes und Dr. Wächter unterstützt, die im Bereich Erziehung und Ausbildung mit mir gemeinsam alle Probleme der Physikausbildung regeln. Wir bilden Physiker, Physik/Astronomie-Lehrer, Labortechniker für Physik in eigener Verantwortung und eine ganze Reihe anderer Fachrichtungen mit in Physik aus.

impuls 68: Welches Niveau haben die DDR-Physiker im Vergleich zu Spitzenphysikern der Welt, zählen sie zur Weltspitze?

Prof. Hehl: Man sollte sich nicht um ein Pauschalurteil für die Physik in der DDR bemühen. Außerdem nützt uns ein Vergleich auf einer einwertigen Skala bestimmt nicht viel, da sonst der Eindruck entstehen könnte, wir sind besser oder schlechter als irgend ein anderes Land. Letzten Endes haben wir für unser Land spezifische Aufgaben und mit anderen Ländern nicht vergleichbare Ausgangspositionen. Wir können z. B. nie auf voller Breite in der Grundlagenforschung arbeiten, das wäre geistige Verzettelung und ökonomisch gesehen eine Verschwendung. Ob wir die damit für die DDR-Physik notwendigen Grundsatzentscheidungen immer richtig, d. h. auch zum entsprechenden Zeitpunkt getroffen haben, da sehe ich zumindestens noch Reserven.

In der Konsequenz der Bearbeitung anwendungsträchtiger Themen sehe ich allerdings ein großes Plus. Wenn ich zu Hochschulen des westlichen Auslandes schaue, dann ist der Anteil unmittelbar an die Industrie gebundener Forschungsleistungen bei uns sicher relativ hoch. Das heißt natürlich nicht immer auch eine Realisierung in der Produktion. Das ist ein wechselseitiger Prozeß mit unseren Industriepartnern, auch hier sehe ich noch Reserven.

Natürlich haben wir Spitzenlabors, auch Jena und die Universität braucht sich z. B. auf dem Gebiet der modernen Optik nicht zu verstecken. Es gibt aber auch weiße Flecken an Stellen, die einerseits aus der fehlenden Breite der Grundlagenforschung begründbar sind aber andererseits uns aus modernsten Anwendungen ausschließt. Als Beispiel nenne ich hier nur die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten der Synchrotronstrahlung zur Materialanalyse, die als „Abfallprodukt“ der Hochenergiephysik in unserem Land nicht entwickelt ist, aber dringend gebraucht würde.

Man sollte die Möglichkeiten und Notwendigkeiten der DDR-Physik realistisch sehen, eine Ausnahmestellung analog zum DDR-Sport halte ich nicht für denkbar und anstrebenswert. Wenn es uns gelingt, auf einigen ausgewählten Gebieten der Grundlagenforschung die Spitze mitzubestimmen und dies zur Stimulierung unserer eigenen Entwicklung in Wissen-

schaft, Technik und Volkswirtschaft nutzen können, dann sollten wir erst einmal zufrieden sein.

impuls 68: Wer wird der nächste Nobelpreisträger für Physik?

Prof. Hehl: Schade, daß Sie die Frage nicht nach der Entdeckung der Hochtemperatur-Supraleitung gestellt haben. Da hatte ich einen 100%igen Tip. Heute sehe ich eine solch spektakuläre Sache nicht, man sollte sich dadurch aber auch nicht unnötig beeindrucken lassen. Vielleicht gibt es auch eine unerwartete Entscheidung des Nobel-Komitees. Zum Beispiel könnte man die Auszeichnung der Entwicklung des Elektronenmikroskops gleichzeitig mit dem Rastertunnelmikroskop als verspätet oder als Nachholen einer längst fälligen Auszeichnung betrachten. Ich sehe das nicht so, vielmehr ist der schnellere Umschlag von Quantität in Qualität beim Rastertunnelmikroskop nur möglich gewesen, weil die Mikroskopietechnik dort in einem langjährigen Prozeß ausgereift vorlag und einfach übernommen wurde, daran konnte man nicht gut vorbeigehen. So gesehen, wäre selbst eine rückwirkende Auszeichnung von Ernst Abbe mit dem Nobelpreis kein absurder Gedanke, da die optische Mikroskopie die Grundtechniken für beide Entwicklungen lieferte.

Es gibt eben nicht nur die Ergebnisse, wie z. B. der Quanten-Hall-Effekt, die Hochtemperatursupraleitung und das Rastertunnelmikroskop, wo der Fortschritt der Physik sofort ablesbar ist. Wir sollten auch die solide, kontinuierliche Entwicklung der allgemeinen Physik und besonders ihrer technischen Basis mit sehen, ohne die in den genannten Fällen dieser scheinbar spektakuläre Durchbruch nicht denkbar wäre. Man sollte sich über einen Nobelpreis freuen, aber nicht zielstrebig auf ihn hinarbeiten.

impuls 68: Was wünscht sich der stellvertretende Direktor der Sektion Physik von zukünftigen Physikstudenten außer guten Fachkenntnissen in Physik und Mathematik?

Prof. Hehl: Natürlich zuerst die bleibende Freude am Entdecken neuer Zusammenhänge in Natur und Gesellschaft. Dazu gehört aber auch die Erkenntnis, daß man diese Freude nicht als ein unbegrenzt abhebbares Guthaben ansehen darf, vielmehr muß man durch Arbeit und Erfolg die Habenseite dieses Kontos ständig erneuern.

Die Zusammenarbeit mit anderen Menschen sollte Bedürfnis sein, da nur sie die Basis auch für eine gute Einzelleistung ist. Dazu gehört das Vermögen, sich in einer Auseinandersetzung fair und sachlich behaupten zu können. Jeder zukünftige Student sollte wissen, Transpiration und Inspiration gehören zu gleichen Teilen zusammen, sonst artet es entweder in Geschäftigkeit oder Spinnerei aus. Das erzielte Ergebnis muß natürlich als persönlicher Erfolg verstanden werden, er darf sich aber darauf nicht beschränken. Als Beitrag für den Erkenntnisfortschritt, die Entwicklung einer Teildisziplin, eines Verfahren oder eines Bauelementes muß es auch gesamtgesellschaftlich von anderen als Erfolg angenommen werden können, d. h. nicht nur Selbstbefriedigung sein. Nur so realisiert sich der Wissenschaftler als gesellschaftliches Wesen und die Wissenschaft als Produktivkraft.

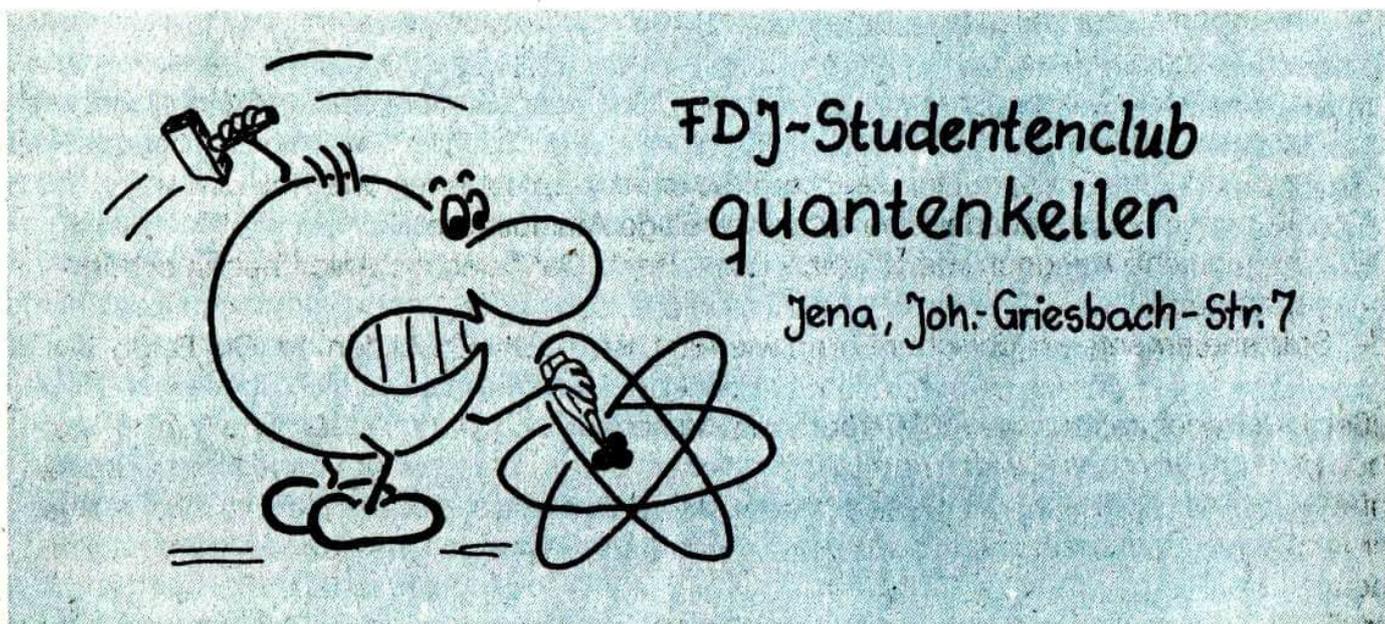
impuls 68: Professor Hehl, wir bedanken uns bei Ihnen für dieses Interview und wünschen Ihnen alles Gute für die Zukunft!

An unsere Leser

Mit diesem Interview wollen wir wieder an die alte „impuls 68“-Tradition der Vorstellung von Hochschullehrern in unserer Zeitschrift anknüpfen. Wir hoffen, daß wir auch in Zukunft so bereitwillige Gesprächspartner finden – vor allem solche, die ihre Meinung offen sagen und auch unbefriedigendes bzw. kritikwürdige Zustände ansprechen. Nur so können wir eigene Reserven aufdecken und gemeinsam Lösungen für die Zukunft finden.

Das Interview mit Professor Hehl möchten wir insbesondere dazu nutzen, zu einer Leserdiskussion zu Problemen beim Übergang Schule – Studium aufzurufen. Wir denken, daß hier Professor Hehl viele interessante Anregungen gegeben hat und sind auf die Meinung von Schülern und Studenten sowie von Lehrern und Hochschullehrern gespannt.

Eure Redaktion „impuls 68“

**Studentenklubs vorgestellt:****Der „Quantenkeller“**

Was sich heute „Quantenkeller“ nennt, waren vor zehn Jahren einige Kellerräume voller Gerümpel – und eine verlockende Idee. Ein Häuflein Physikstudenten war es leid, jede Flasche Bier oder Wein den Berg zum Anna-Seghers-Wohnheim hinaufzutragen, um dort im kleinsten Kreis – im Wohnzimmer – Geselligkeit zu pflegen. Sie entschieden sich für den unbequemsten Weg und bauten sich und anderen einen eigenen Club.

Inzwischen arbeitet im Quantenkeller schon die dritte Studenten-„generation“, größtenteils Studenten der Sektionen Physik und Chemie, um für ihre Kommilitonen einen kulturellen Ausgleich zum Studium zu schaffen. Denn ein bloßer Kneipenersatz will der Club nicht sein. Neben den unvermeidlichen Discos umfaßt das Programm auch Konzerte, Kabarett- und Pantomimevorstellungen und Vorträge zu allen denkbaren Themen, Reiseberichte ebenso wie aktuell-politische Diskussionen.

Der Bestseller im Clubprogramm sind die jährlich stattfindenden „Quantenkeller“-Kultur-tage: drei oder vier Tage, an denen sich jeder unter sachkundiger Anleitung selbst als Maler, Musiker, Kabarettist usw. betätigen kann, daneben auch Vorträge zu kulturellen Themen.

Fortsetzung auf S. 12

Klaus-Dieter Herbst
Friedrich-Schiller-Universität Jena

**Wie funktioniert
 ein Sextant? –
 Ein Astronomielehrer
 mußte „passen“!**

Im Oktober des vergangenen Jahres fuhr ich gemeinsam mit einer Freundin nach Gotha, um mir die Ausstellung „200 Jahre Astronomie in Gotha“ im Schloß Friedenstein anzusehen. Der Besuch hat sich gelohnt, doch gab es auch eine Situation, die mich nachdenklich stimmte. Meine Begleiterin wußte, daß ich Lehrer für Astronomie bin und mich auch über den Schulstoff hinaus für diese Wissenschaft und ihre Geschichte interessiere. Als wir nun im Museumsraum vor einem alten Sextanten (18. Jahrhundert) standen und diesen staunend betrachteten fragte sie mich, wie denn solch ein „Ding“ überhaupt funktioniert. Nach einigen nichts-

sagenden Ausweichsätzen mußte ich ihr bekennen, daß ich es gar nicht so genau wußte. Ich fühlte mich bei diesem Beispiel darin ertappt, einen Begriff öfters im Munde geführt zu haben, wobei ich immer so tat, als ob ich darüber Bescheid wußte, ohne daß das nötige Wissen wirklich vorhanden war. Ich glaube, bei ehrlichem Beobachten der eigenen Person wird es wohl vielen Menschen unter uns so gehen. Man redet über Dinge, ohne dabei das nötige Grundwissen oder wichtige Hintergrundinformationen zu besitzen. Aber ohne solche fundierten Kenntnisse wirkt man früher oder später nicht überzeugend auf seine Gesprächspartner. Das ist bei natur- und gesellschaftswissenschaftlichen Diskussionen nicht anders als bei einem Meinungsstreit im ganz privaten Lebensbereich mit Freunden und Bekannten.

Nun, meine Unwissenheit über den Sextanten hätte mich vielleicht weniger geärgert, wenn ich nicht gerade *Lehrer für Astronomie* wäre, denn der Sextant spielt für die Astronomie im Zusammenhang mit der Seefahrt keine unwesentliche Rolle. Angeregt durch meine Unzufriedenheit begann ich also in Büchern darüber nachzulesen.

Als erstes stieß ich darauf, daß der Sextant (ein Sechstel des Vollkreises wird zur Messung von Winkeln bis zu 120 Grad genutzt) einen Vorläufer, den Oktanten (ein Achtel des Vollkreises wird zur Messung von Winkeln bis zu 90 Grad genutzt), hatte. Dieser wurde in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts erfunden, wobei sich mehrere Instrumentenbauer fast gleichzeitig damit beschäftigten. Als Erfinder wird heute der Engländer John Hadley (1682–1744) angegeben, der 1731 der Royal Society (die englische Akademie der Wissenschaften, 1662 in London gegründet) eine Beschreibung seines Spiegel-Oktanten vorlegte.

Bezüglich des prinzipiellen Aufbaus und der Wirkung eines Oktanten sei nun aus dem Buch „Vom Schattenstab zum Riesenteleskop“ (D.B.Herrman) zitiert:

„Der Teilkreis (Limbus) ist statt in 45° in 90 halbe Grade geteilt, die aber als ganze gezählt werden. Die Grade sind nochmals in Sechstel unterteilt, das heißt in Distanzen von 10 zu 10'. Um den Zapfen bewegt sich die Alhidade. An ihrem Ende ist ein Nonius angebracht, auf dem jeder Teilstrich schließlich die Ablesung von 10" gestattet. Auf einer runden Scheibe am Ende der Alhidade befindet sich ein senkrechter Planspiegel, dem am Körper des Oktanten ein kleinerer senkrechter Spiegel gegenübersteht. Der kleinere Spiegel unterscheidet sich von dem größeren vor allem dadurch, daß seine obere Hälfte durchsichtig und nur die untere verspiegelt ist. Mittels eines Fernrohrs, das sich auf den halbierten Spiegel so einstellen läßt, daß man gleichzeitig sowohl die durchsichtige als auch die spiegelnde Fläche im Gesichtsfeld hat, wird der kleinere Spiegel betrachtet.“

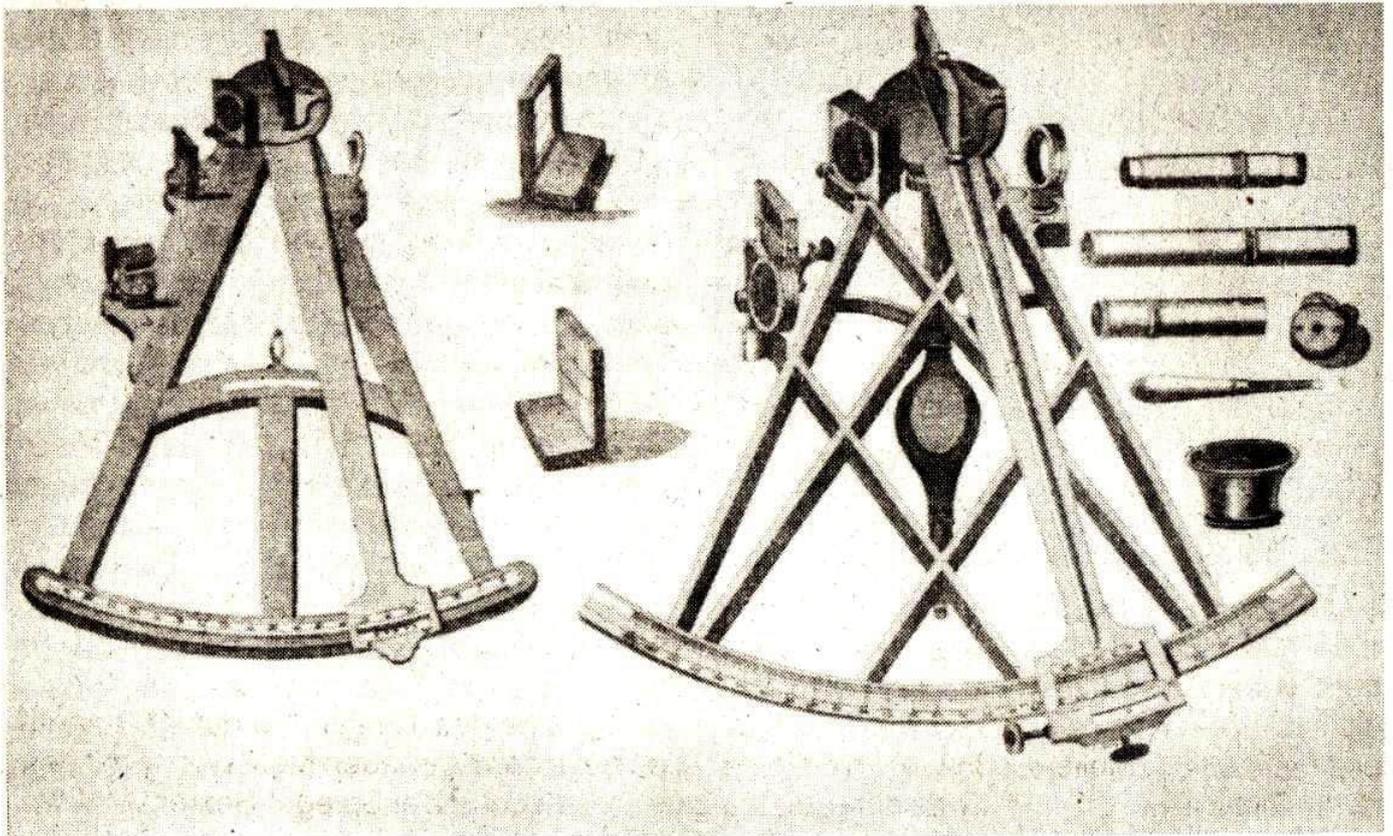


Bild 1: Der Oktant von Hadley (1731)

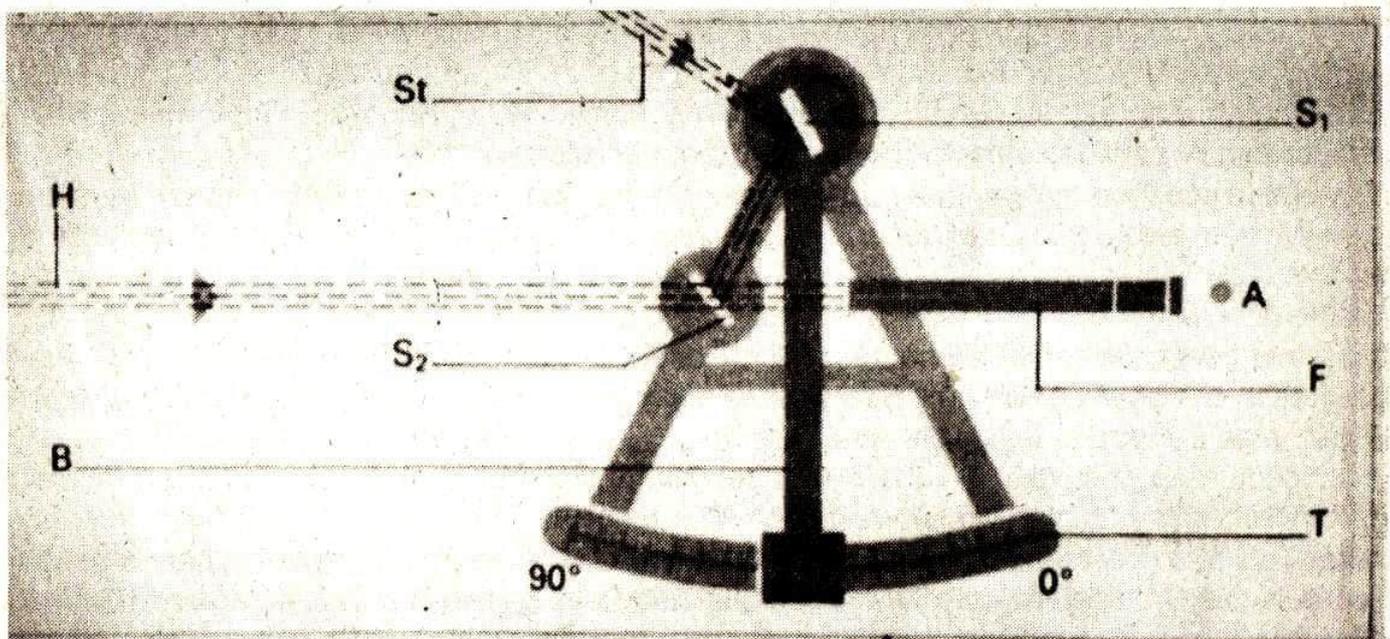


Bild 2: Prinzip des Oktanten

Der Beobachter blickt mit seinem Auge A durch ein Fernrohr F auf eine halbverspiegelte Glasplatte S_2 . Der nichtverspiegelte Teil der Platte gestattet die Beobachtung des Horizonts H. Gleichzeitig wird über den Spiegel S_1 durch Drehung eines beweglichen Arms B ein Stern St eingestellt, dessen Licht über den verspiegelten Teil von S_2 ebenfalls in das Fernrohr gelangt. Die Winkелеinteilung T ist so angelegt, daß die Höhe des Sterns St über dem Horizont in Grad abgelesen werden kann.

Um nun den Winkelabstand zweier Objekte zu bestimmen, verfährt der Beobachter folgendermaßen: Zunächst bringt er das Gerät in die Ebene, in der die beiden Objekte liegen. Dann richtet er den kleinen Spiegel auf das eine der beiden Objekte und stellt den großen so ein, daß das andere Objekt ebenfalls im Beobachtungsfernrohr erscheint. Hat er beide Objekte im Gesichtsfeld des Fernrohrs zur Deckung gebracht, kann er den Winkelabstand auf der Teilung ablesen. Der Winkel zwischen den beiden Objekten beträgt dann gerade doppelt soviel wie der abgelesene Winkel, weshalb der 45° umfassende Teilkreis in 90° eingeteilt ist, so daß sich zahlenmäßig der richtige Betrag ersehen läßt.“

Die Anwendung des Oktanten erlangte besonders für die Seefahrt große Bedeutung, die Anfang des 18. Jahrhunderts verstärkt betrieben wurde (vgl. mit Impuls, 3/88 S. 35), da mit Hilfe dieses neuen Instrumententypes der Winkel zwischen zwei Himmelsobjekten oder zwischen z. B. einem Stern und dem Horizont bis auf fast 1 Bogenminute genau gemessen werden konnte. Damit war es möglich, die geographische Breite des Schiffsortes mit größerer Genauigkeit anzugeben.

Die geographische Länge wurde mit Hilfe von Uhren (Schiffschronometer) ermittelt, indem man den Zeitunterschied zwischen dem Ausgangshafen (für diesen gibt die Uhr die Zeit an) und dem Schiffsort auf See (diese Zeit wird durch die Sonne angegeben, die ihren höchsten Stand am Himmel um 12.00 Uhr Ortszeit erreicht) feststellt.

Die Genauigkeit der Ortsbestimmung auf See betrug Mitte des 18. Jahrhunderts 60 nautische Meilen (1 n. Meile = 1852 m), in einigen Fällen bei extrem genauen Messungen mit den besten Instrumenten auch etwas darunter (bis ca. 10 n. Meilen). Der Spiegel-Sextant funktio-



Bild 3: Chronometer (1840) und Sextant (1900)

niert nun genauso wie der Spiegel-Oktant, nur mit dem Unterschied, daß der Limbus nicht 45° (90 halbe Grade), sondern 60° (120 halbe Grade) umfaßt. Der noch heute gebräuchliche Sextant besitzt noch die Besonderheit, daß er einen Vollkreis (statt eines Sechstelkreises) besitzt, auf dem die Winkel in zwei gegenüberliegenden Stellungen abgelesen werden. Dadurch kann die Meßgenauigkeit noch weiter erhöht werden. Die Schiffsnavigation erreicht heute eine Genauigkeit von ca. 200 m bei der Positionsangabe.

Durch die Entwicklung der Raumfahrt stehen inzwischen neue technische Möglichkeiten zur Verfügung, die durch spezielle Navigationssatelliten auch für die Orientierung auf den Ozeanen genutzt werden.

Von der Wirkungsweise eines Sextanten (Oktanten) ausgehend bin ich nun bei der Raumfahrt „gelandet“, wobei ich fast 300 Jahre technische und wissenschaftliche Entwicklung überbrückt habe. Wie es sich mit dem Navigationssatelliten im Einzelnen verhält, wäre jetzt schon wieder eine neue Frage . . .

Fortsetzung von S. 8

Zwar kann innerhalb so kurzer Zeit keiner zum Künstler ausgebildet werden, aber dafür entdecken die meisten den Spaß am Selbermachen – und kommen im nächsten Jahr wieder. Weniger bekannt ist daß sich Clubarbeit nicht auf die Öffnungszeiten beschränkt. So wird in den Semesterferien regelmäßig renoviert, was außer Arbeit auch Kopfzerbrechen macht, da die feuchten Kellerräume nicht gerade Idealbedingungen für einen Club darstellen.

Auch gibt es neben dem normalen Clubbetrieb außergewöhnliche Projekte: derzeit ist z. B. die vierte erweiterte Auflage des „Quantenkeller“-Liederbuches, einer Sammlung von Studenten- und Volksliedern, in Vorbereitung. Zu politischen Themen wie Friedenskampf, Umweltschutz, SDI und Problemen der Situation in Chile gab es Info-Hefte und Flugblätter, die immer schnell vergriffen waren. Die Clubmitglieder sind der Meinung, daß Fakten noch immer die besten Argumente sind und haben damit offenbar recht.

Wenn jemand neugierig geworden ist, sollte er einfach mal vorbeischaun. Dienstags, donnerstags und sonntags ist der Club für alle Studenten geöffnet. Die angestrebte „7-Tage-Woche“ für Jugendclubs ist freilich auch nicht unbekannt, da die anderen Tage ebenfalls von Studenten genutzt werden können: vom FDJ-Studienjahr bis zum Polterabend ist alles möglich. Das kann zuweilen recht anstrengend sein, denn am nächsten Morgen müssen in Vorlesung oder Seminar alle wieder topfit sein.

Eure „Quanties“

Dr. Lutz Wendler
 Dr. Elke Wendler
 Friedrich-Schiller-Universität Jena
 Sektion Physik

Quantum-Wells und Supergitter – neue Halbleiterstrukturen für Mikro- und Optoelektronik (Teil 4)

5. Quantum-Wells und Supergitter

5.1. Doppelheterostruktur

Im Abschnitt 2 (Impuls 4/88, S. 39) wurde gezeigt, wie die Bandstruktur an einer Heterogrenzfläche verläuft. Fügt man nun auf beiden Seiten einer GaAs-Schicht einen $Ga_{1-x}Al_xAs$ -Halbleiter an, dann entsteht eine Doppelheterostruktur (DHS) (Abbildung 8). Bei einer geringen Konzentration von Dotanden und quasi-freien Elektronen kann man die Bandverbiegung vernachlässigen und es entstehen für die Elektronen im Leitungsband und die Löcher im Valenzband rechteckige Potentialtöpfe (Abbildung 8a). Erst

bei höheren Konzentrationen verbiegen sich die Bänder, wie es in Abbildung 8b gezeigt ist. Alle solche Strukturen, die einen Potentialtopf besitzen, bezeichnet man unabhängig von dessen räumlicher Struktur als SQW (single quantum well).

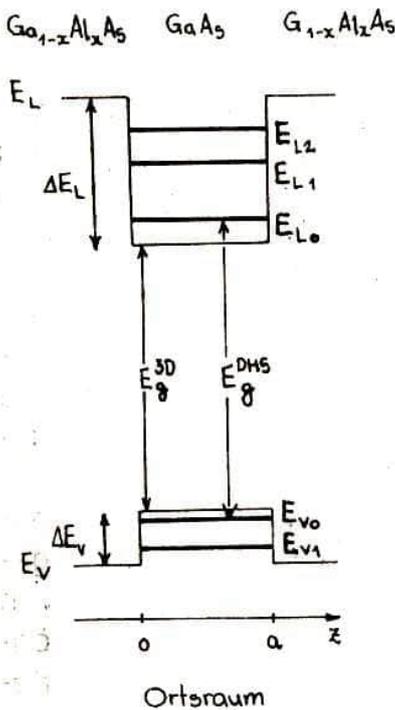


Abb. 8a undotierte Struktur

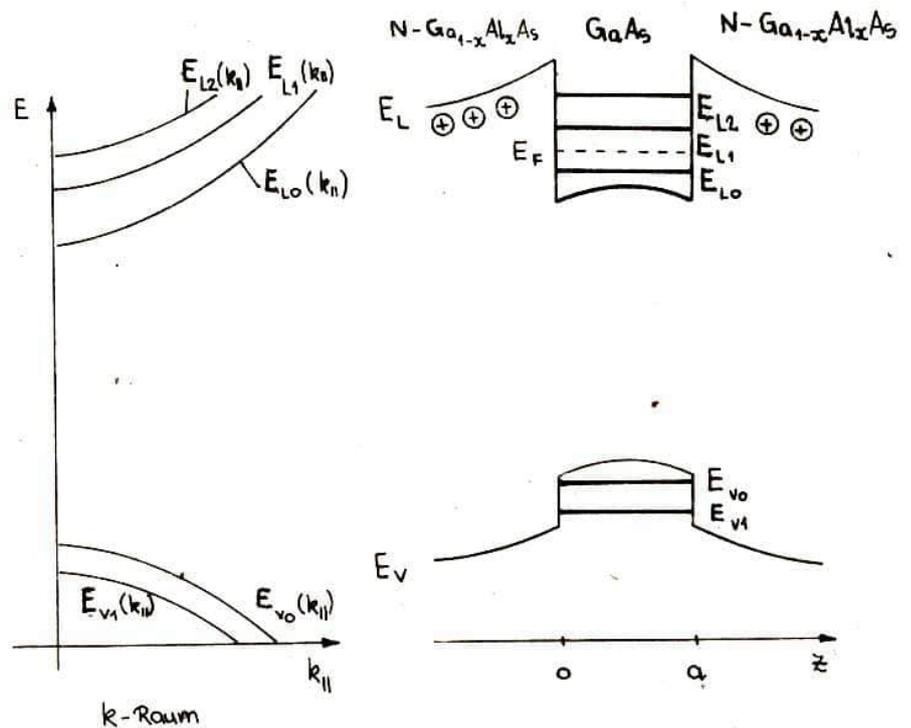


Abb. 8b modulationsdotierte Struktur

Abb. 8 Schematische Darstellung des räumlichen Verlaufs der Leitungs- und Valenzbandkante ($k = 0$: Γ -Punkt) einer Doppelheterostruktur sowie Bandstruktur in Effektivmassennäherung (siehe Informationskasten 1) im k -Raum für Bewegung parallel (durch \parallel gekennzeichnet) zu den Heterogrenzflächen.

Die Bandlücke eines Halbleiters ist durch den energetischen Abstand zwischen Leitungs- und Valenzband gegeben (Impuls 4/88, S. 44) und beträgt für einen dreidimensionalen (3D) GaAs-Kristall $E_G^{3D} = 1,425$ eV. In der dünnen GaAs-Schicht der DHS (Abbildung 8) liegt je-

doch eine andere Situation vor. Analog wie im Fall einer einzelnen Heterogrenzfläche (Impuls 4/88, S. 42) entstehen auf Grund der geringen Schichtdicke des SQW elektronische Subbänder. Diesen Effekt bezeichnet man als Größenquantisierung. Das bedeutet nun, wie es schon im Abschnitt 2 erläutert wurde, daß die Elektronen bzw. Löcher nicht mehr alle beliebigen, sondern nur noch bestimmte diskrete Energiewerte E_{LK} bzw. E_{VK} ($K = 0, 1, 2, \dots$), die Subbandenergien von Elektronen und Löchern, annehmen können (Abbildung 8). Damit ist die Bandlücke jetzt durch den energetischen Abstand des untersten Leitungssubbandes E_{L0} vom obersten Valenzsubband E_{V0} gegeben (Abbildung 8). Folglich ist die Bandlücke in der DHS größer als im Volumenmaterial. Die Subbandenergien werden jeweils von den „Böden“ der Potentialtöpfe aus gezählt und man erhält

$$E_G^{DHS} = E_G^{3D} + E_{L0} + E_{V0} \quad (1)$$

Um nun die Bandlücke E_G^{DHS} , die in der dünnen GaAs-Schicht der DHS auftritt, zu berechnen, muß man wissen, welche Energiewerte ein Elektron, das in dieser GaAs-Schicht „eingesperrt“ ist (man bezeichnet dieses Eingesperrtsein auch als „Confinement“), annehmen kann. Aufgrund der Tatsache, daß die Dicke der GaAs-Schicht im atomaren Bereich liegt, versagt die klassische Beschreibungsweise und zur Lösung des Problems muß die Quantenmechanik herangezogen werden. Ein solches Problem kann man dann mit Hilfe der Schrödinger-Gleichung lösen, die die wichtigste Grundgleichung der Quantenmechanik darstellt. Unter der vereinfachenden Annahme, daß die Potentialbarrieren rechts und links der GaAs-Schicht unendlich hoch sind, erhält man für ein Elektron die folgenden möglichen Energiewerte als Lösung der Schrödinger-Gleichung*

$$E_{\mu K} = \frac{h^2}{8m_\mu a^2} (K + 1)^2 \quad (2)$$

Dabei bezeichnet der Index μ das Valenzband (V) bzw. das Leitungsband (L) und der Index $K = 0, 1, 2, \dots$ numeriert die durch die Größenquantisierung entstandenen Subbänder (Abbildung 8). Setzt man nun den ermittelten Ausdruck für die Subbandenergien (2) in (1) ein, so folgt für die Bandlücke in der DHS im Rahmen des einfachen Modells

$$E_G^{DHS} = E_G^{3D} + \frac{h^2}{8a^2} \left(\frac{1}{m_e} + \frac{1}{m_h} \right) \quad (3)$$

dabei ist m_e die effektive Masse eines Elektrons im Leitungsband und m_h die eines Loches im Valenzband (Impuls 4/88, S. 45).

Die Gleichung (3) zeigt, daß die Bandlücke eine Funktion der Schichtdicke a des Quantum Wells ist:

$$E_G^{DHS} = E_G^{3D} \left(\frac{1}{a^2} \right) \quad (4)$$

In Abbildung 9 ist diese Abhängigkeit graphisch dargestellt. Dabei wurde für die Berechnung der in Abbildung 9 dargestellten Daten die endliche Höhe ΔE_L und ΔE_V der Potentialtöpfe im Leitungs- und Valenzband berücksichtigt. Es ist sehr deutlich zu sehen, daß man die Bandlücke, einen sonst feststehenden Materialparameter, über die Variation der Schichtdicke der DHS vorherbestimmbar einstellen kann. Einen solchen Parameter bezeichnet man in diesem als Design-Parameter. Da die Größe der Bandlücke entscheidend für die Anwendbarkeit eines Materials in elektronischen und optoelektronischen Bauelementen ist, kommt der Möglichkeit, die Bandlücke zu variieren, eine hohe technologische Bedeutung zu.

* Für interessierte Leser kann eine ausführliche Rechnung dazu bei Impuls 68 angefordert werden.

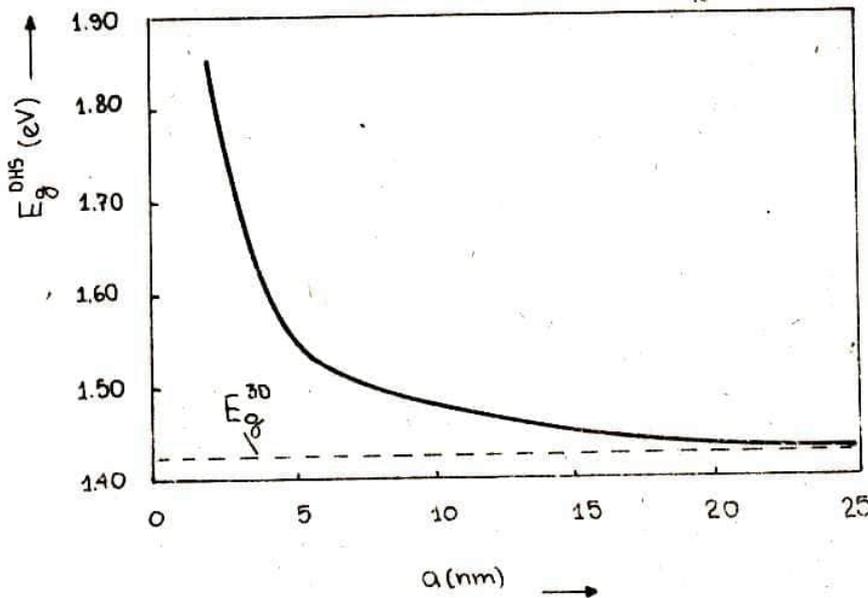


Abb. 9 Abhängigkeit der effektiven Bandlücke E_G^{DHS} einer GaAs-Ga_{0.65}Al_{0.35}As DHS von der Dicke des Potentialtopfes im Modell unendlich hoher Potentialbarrieren ($\Delta E_L = 371 \text{ meV}$ und $\Delta E_V = 65 \text{ meV}$)

5.2. Multiquantum-Wells

Halbleiterstrukturen, die aus vielen Quantum-Wells bestehen, heißen Multiquantum-Wells (MQW) (Abbildung 10a). Dabei bezeichnet man als MQW im engeren Sinne eine solche Struktur, bei der die Barrierschichtdicke a_2 so groß ist, daß die Elektronen diese Schichten nicht durchdringen können. Damit bleibt die Subbandstruktur in jedem Einzeltopf (Abschnitt 5.1.) erhalten. Im wesentlichen wirken also MQW's wie parallelgeschaltete DHS. Beide Mikrostrukturen spielen vor allem in der Optoelektronik eine große Rolle. Anwendungsbeispiele sind die DHS- und MQW-Laser, deren Wirkungsweise im Abschnitt 6.1. ausführlich diskutiert wird.

(a) Multiquantum - Well

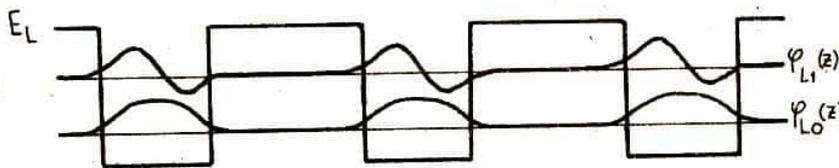
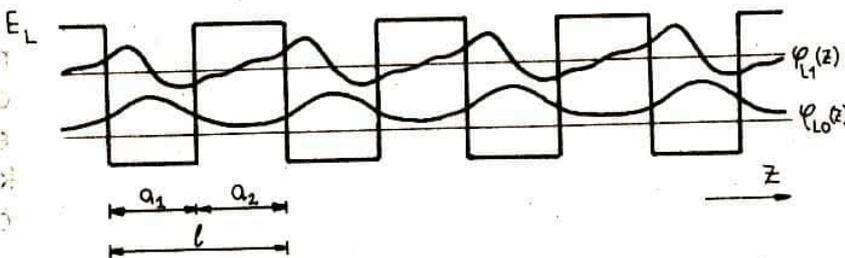


Abb. 10 Schematische Darstellung des räumlichen Verlaufs der Leitungsbandkante ($k = 0$: Γ -Punkt) und der Envelope-Wellenfunktion (für $k = 0$ und 1) eines (a) Multiquantum-Wells und eines (b) Supergitters

(b) Supergitter



5.3. Supergitter

Ein Supergitter besteht aus periodisch angeordneten Potentialtöpfen (Abbildung 10b). Als Supergitterperiode bezeichnet man die Länge $l = a_1 + a_2$, deren periodische Wiederholung die Struktur vollständig ergibt. Im Unterschied zum MQW mit periodisch angeordneten Potentialtöpfen ist die Dicke der Barrierschicht so gering, daß die Elektronen durch die Barrierschichten hindurchtunneln, d. h. daß sie diese durchdringen können. Erst wenn diese Bedingung erfüllt ist, spricht man von einem Supergitter.

Das bedeutet, daß sich die Elektronen auch senkrecht zu den Heterogrenzflächen ausbreiten können. Bei dieser Bewegung spüren die Elektronen neben dem Kristallgitter der Gitteratome (Atomabstand einige 10^{-10} m) noch zusätzlich das Supergitter durch die Variation der Bandlücke in dieser Struktur. Daraus resultiert auch die Bezeichnung „Übergitter“, die dieser dem Kristallgitter überlagerten periodischen Variation der Bandlücke Rechnung trägt.

Um die elektronische Struktur eines Supergitters im einfachsten Fall zu ermitteln, geht man zunächst von der Effektivmassennäherung für die Elektronen im Kristallgitter aus. Damit ist der Einfluß des Kristallpotentials auf die Elektronen schon in der effektiven Elektronenmasse enthalten (Impuls 4/88, S. 45). Der Übergang vom einzelnen Quantum-Well zum Supergitter wird dann in der gleichen Weise vollzogen wie der Übergang vom einzelnen Atom zum Kristallgitter. Dabei ist der Abstand zwischen den Atomen im Kristallgitter (Gitterkonstante) der Supergitterperiode äquivalent.

Eine Methode zur Berechnung der elektronischen Eigenschaften einer periodischen Anordnung aus den Eigenschaften der einzelnen Elemente (Atome, SQW's) ist die Methode der starken Bindung (tight binding) zwischen den einzelnen Elementen. Mit Hilfe dieses Verfahrens kann man aus den Energieniveaus der einzelnen Atome (bzw. der SQW's) die elektronische Bandstruktur des Kristalls (bzw. des Supergitters) berechnen. Ausgangspunkt sind beispielsweise N SQW's, die genügend weit voneinander entfernt sind, so daß in jedem SQW die möglichen Energien durch Gl. (2) gegeben sind. Bringt man nun die Quantum-Wells näher zusammen, dann spüren die Elektronen in den einzelnen SQW's einander. Die Folge davon ist, daß anstelle der N -mal gleichen Energiewerte der einzelnen SQW's N verschiedene Energiewerte auftreten, die nahe bei dem Ausgangsenergiewert liegen. Man spricht dann von der Aufspaltung eines einzelnen Energieniveaus zu einem Band. In unserem Fall spaltet jede Subbandenergie eines einzelnen SQW zu einem Mini-Band des Supergitters auf. Diese Methode der starken Bindung ist eine Näherung, die dann gute Ergebnisse liefert, wenn die Barrieren dünn sind. Als Ergebnis erhält man für das Supergitter die folgenden Energieeigenwerte

$$E_{\mu K}(\vec{k}_1, k_z) = E_{\mu K}^{\text{SQW}} + \frac{\hbar^2 k_{11}^2}{8\pi^2 m_\mu} + B_{\mu K} - A_{\mu K} \cos k_z l \quad (5)$$

Der erste Term in Gleichung (5) beinhaltet die Energieeigenwerte eines einzelnen Potentialtopfes, die man als Lösung der Schrödinger-Gleichung erhält. Im Unterschied zu dem in Gleichung (3) angegebenen Ergebnis für unendlich hohe Barrieren muß man hier jedoch mit endlich hohen Potentialbarrieren rechnen. Der zweite Term beinhaltet die freie Bewegung der Elektronen in der x - y -Ebene, also parallel zu den Schichten des Supergitters. Die letzten beiden Beiträge in Gleichung (5) werden durch die periodische Anordnung der Supergitterschichten hervorgerufen. Dabei ist k_z der Wellenzahlvektor* der Elektronen in z -Richtung, der im Bereich $-\pi/l < k_z \leq \pi/l$ (dieses Intervall bezeichnet man als 1. Mini-Brillouinzone) variiert.)

* Der Impuls p eines Elektrons ist über $p = \hbar k/2\pi$ mit dem Wellenzahlvektor k verbunden.

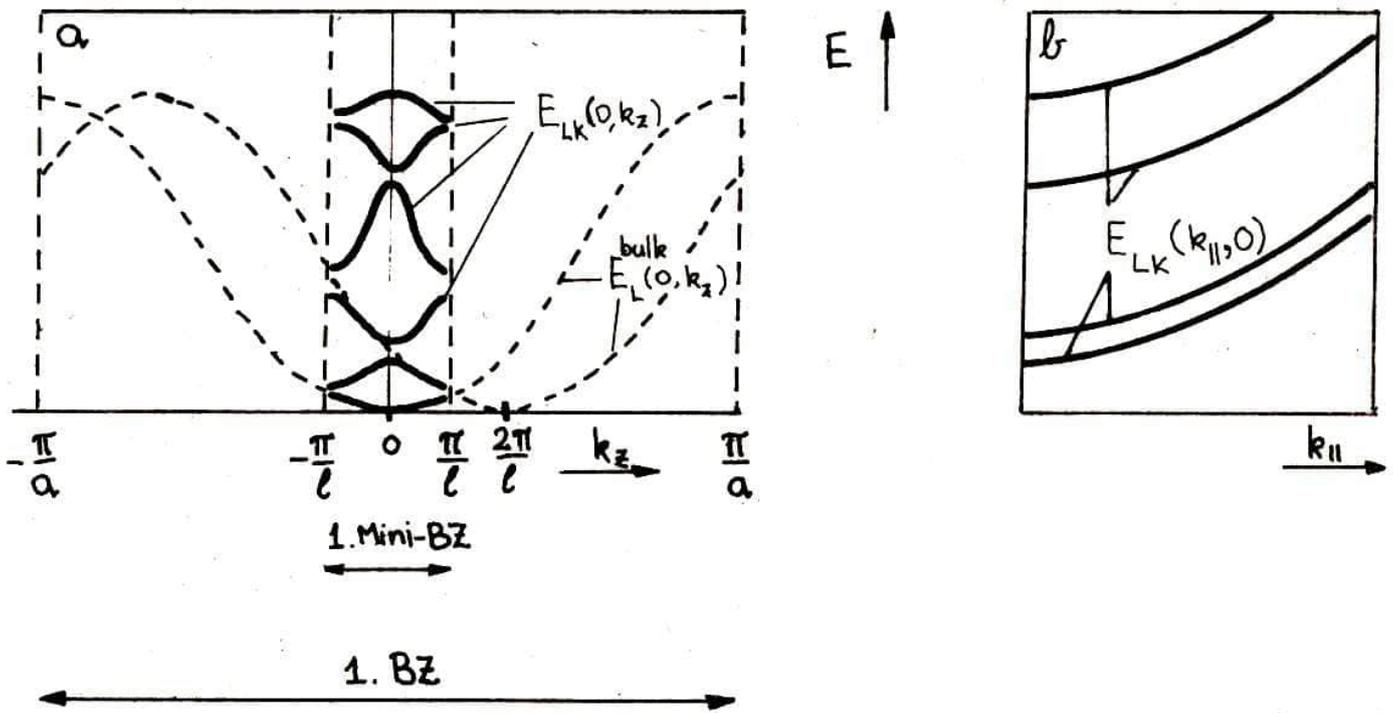


Abb. 11 Bandstruktur eines Supergitters in Effektivmassennäherung

(a) Mini-Bänder für die vertikale Elektronenbewegung

(b) Parabolische Dispersion für die parallele Elektronenbewegung

Eingezeichnet ist ebenfalls die Volumenbandstruktur in Effektivmassennäherung E_L^{bulk} , wobei durch die Translationssymmetrie $E_L^{bulk}(k_{||}, k_z) = E_L^{bulk}(k_{||}, k_z + 2\mu/ln)$ mit $n = 0, \pm 1, \dots$ gilt.

In Abbildung 11 sind die ersten Mini-Bänder eines Supergitters graphisch dargestellt. Betrachtet man die Mini-Bänder und den mit eingezeichneten Verlauf $E_L^{bulk}(0, k_z)$ des Leitungsbandes des Volumenmaterials (gestrichelt gekennzeichnete Kurven innerhalb $-\pi/l < k_z \leq \pi/l$), dann stellt man fest, daß die Mini-Bänder durch das Hineinfalten von $E_L^{bulk}(k_z)$ in die 1. Mini-Brillouinzone entstehen. In den Punkten, wo sich die gestrichelten Kurven schneiden (sie befinden sich auf dem Rand der 1. Mini-Brillouinzone und im Zentrum bei $k_z = 0$), spalten die Kurven auf, d. h. die Entartung wird aufgehoben.

Man bezeichnet diese Entstehung der Mini-Bänder aus der Volumenbandstruktur als „zone folding“. Dieses ist ein allgemeiner Effekt, der immer dann zu beobachten ist, wenn periodische Strukturen auftreten.

Supergitter stellen künstliche Halbleitermaterialien dar, die gegenüber den herkömmlichen Halbleitern völlig neuartige Eigenschaften besitzen. Um eine davon zu demonstrieren, verwenden wir die Zustandsdichte $\rho(E)$. Darunter versteht man die Dichte der Zustände der Energie eines Systems. Die Zustandsdichte ist eine sehr wichtige Größe, von der eine Vielzahl physikalischer Eigenschaften abhängen.

Wir wollen hier nicht näher darauf eingehen, sondern diese Größe benutzen, um eine interessante Eigenschaft von Supergittern zu erläutern. In einem dreidimensionalen (3D) Halbleiter ist die Zustandsdichte proportional zur Wurzel aus der Energie E (siehe die Kurve a in Abbildung 12). Im Fall einer sehr dünnen Halbleiterschicht, d. h. eines SQW, können die Elektronen nur noch bestimmte diskrete Energiewerte annehmen. Die Zustandsdichte wächst also immer nur dann, wenn die Energie gleich einer Subbandenergie ist. In dem dazwischenliegenden Energieintervall ändert sich die Zustandsdichte nicht und man erhält für ein solches zweidimensionales (2D) System einen stufenförmigen Verlauf der Zustandsdichte

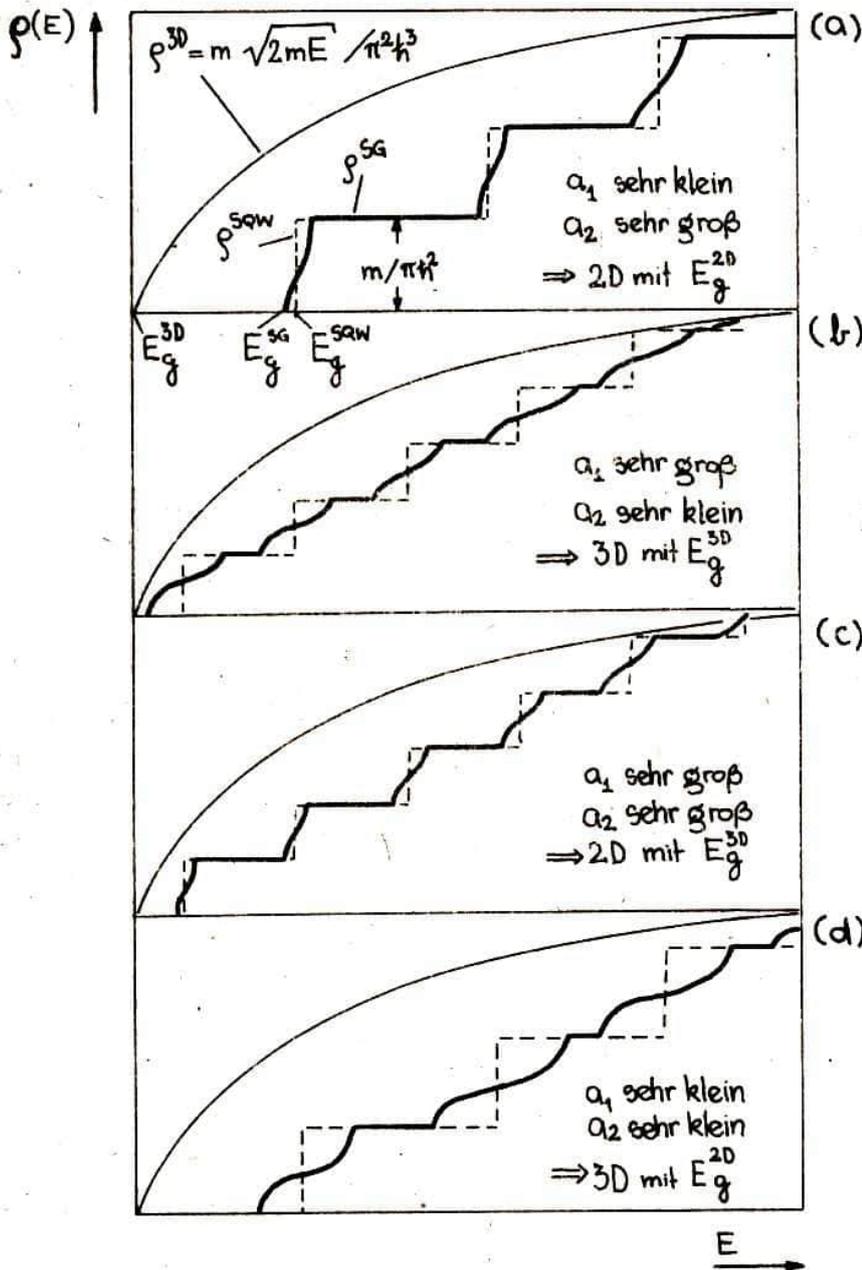


Abb. 12 Zustandsdichte für Leitungsbandelektronen in verschiedenen Supergittern (SG)

(siehe die gestrichelte Kurve ρ^{SQW} in Abbildung 12). In einem Supergitter kann man nun durch die Variation der Potentialtopfbreite a_1 und der Barrierschichtdicke a_2 das elektronische Verhalten zwischen beiden Grenzfällen variieren, d. h. das Verhalten eines Supergitters kann dem eines 3D- oder dem eines 2D-Systems entsprechen oder es kann auch beliebig dazwischen liegen. Sind die Potentialtöpfe sehr schmal (d. h. a_1 sehr klein) und weit voneinander separiert (d. h. a_2 sehr groß), dann erhält man das typische Verhalten einer zweidimensionalen Struktur (Abb. 12a). Ist a_1 sehr groß und a_2 sehr klein, dann spüren die Elektronen kaum die dünnen Barrierschichten und das elektronische Verhalten entspricht dem eines 3D-Volumenkristalls (Abb. 12b). Entsprechend ist die Diskussion für die Abbildungen 12c und d zu führen. Es zeigt sich also, daß die Potentialtopfbreite a_1 wesentlich die Lage der Bandlücke bestimmt und die Breite der Barrierschichten darauf Einfluß nimmt, ob das prinzipielle Verhalten mehr dem eines zweidimensionalen oder dem eines dreidimensionalen Systems entspricht.

Damit erhält man mit der Variation der beiden Schichtdicken a_1 und a_2 drei neue Design-Parameter: die Mini-Bandlücke, die Mini-Bandbreite und in gewissen Grenzen auch die

effektive Supergitter-Bandmasse der Elektronen für den vertikalen Transport senkrecht zu den Heterogrenzflächen. Wir wollen die zwei physikalischen Effekte, die letztlich Halbleiter-Supergitter als neuartige Halbleitermaterialien auszeichnen, kurz zusammenfassen.

a) Größenquantisierung

Durch das confinement der Ladungsträger in jedem Quantum-Well werden Subbänder erzeugt.

b) Translationssymmetrie

Durch das Überlappen der Wellenfunktionen der Ladungsträger benachbarter Quantum-Well durch die Barrierschicht hindurch spalten die Subbänder zu Mini-Bändern auf, die durch Mini-Bandlücken getrennt sind. Dadurch können sich die Elektronen auch vertikal (senkrecht zu den Grenzflächen) ausbreiten.

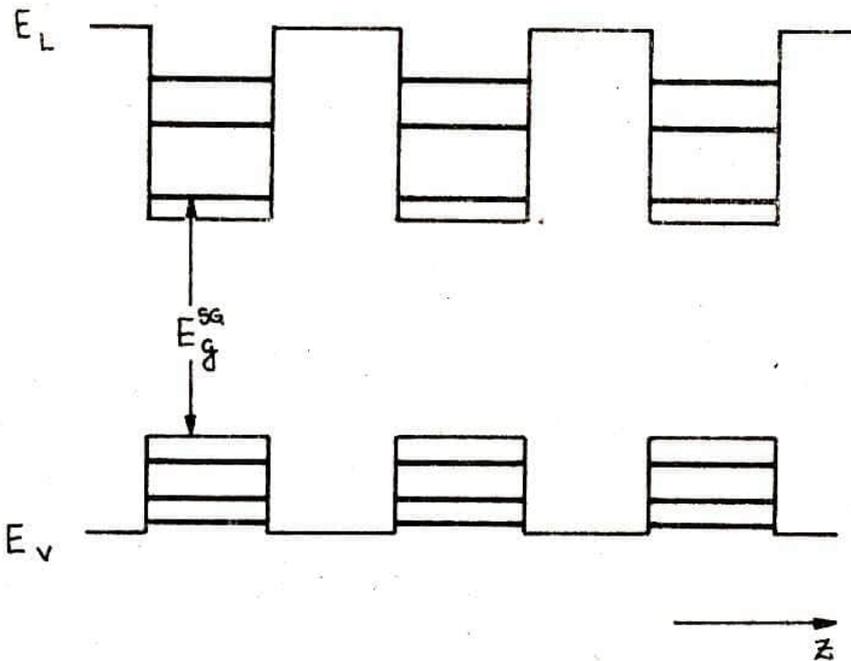


Abb. 13 Schematische Darstellung des räumlichen Verlaufs der Leitungs- und Valenzbandkante eines Typ I-Supergitters (SG). Ein Beispiel für solch eine Struktur ist das System GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs

Halbleiter-Supergitter lassen sich entsprechend der Materialien, aus denen die beiden Schichten bestehen, und den daraus resultierenden elektronischen Eigenschaften in bestimmte Klassen unterteilen. Zunächst unterscheidet man Kompositions-Supergitter, bei denen die Schichten aus verschiedenen Halbleiterverbindungen bestehen, und Dotierungs-Supergitter, die nur aus einem Material aber mit alternierender Dotierung hergestellt sind. Ein Beispiel der Dotierungs-Supergitter stellen die sogenannten nipi-Kristalle, beispielsweise der Sequenz n-GaAs/i-GaAs/p-GaAs/i-GaAs (i: isolierend) dar (Abb. 14).

Bei den Kompositions-Supergittern unterscheidet man im wesentlichen zwei Typen. Beim Typ I (siehe Abbildung 13) besitzen ΔE_L und ΔE_V ein unterschiedliches Vorzeichen, d. h. die Potentialtöpfe für die Elektronen im Leitungsband und die Löcher im Valenzband befinden sich beide in der Schicht mit der kleineren Energielücke. Damit sind diese Supergitter durch eine direkte Bandlücke im Ortsraum gekennzeichnet.

Im Fall der Typ II-Kompositions-Supergitter (siehe Abb. 14) besitzen ΔE_L und ΔE_V ein gleiches Vorzeichen, d. h. die Potentialtöpfe für die Elektronen im Leitungsband befinden sich in der einen Schicht und die Potentialtöpfe für die Löcher im Valenzband befinden sich in der

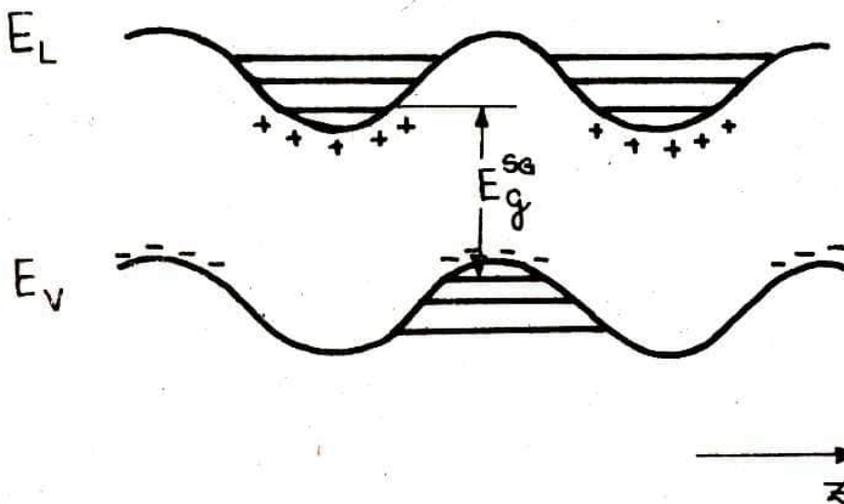


Abb. 14 Schematische Darstellung des räumlichen Verlaufs der Leitungs- und Valenzbandkante eines Dotierungs-Supergitters. Die Pluszeichen stellen ionisierte Donatorniveaus und die Minuszeichen ionisierte Akzeptorniveaus dar.

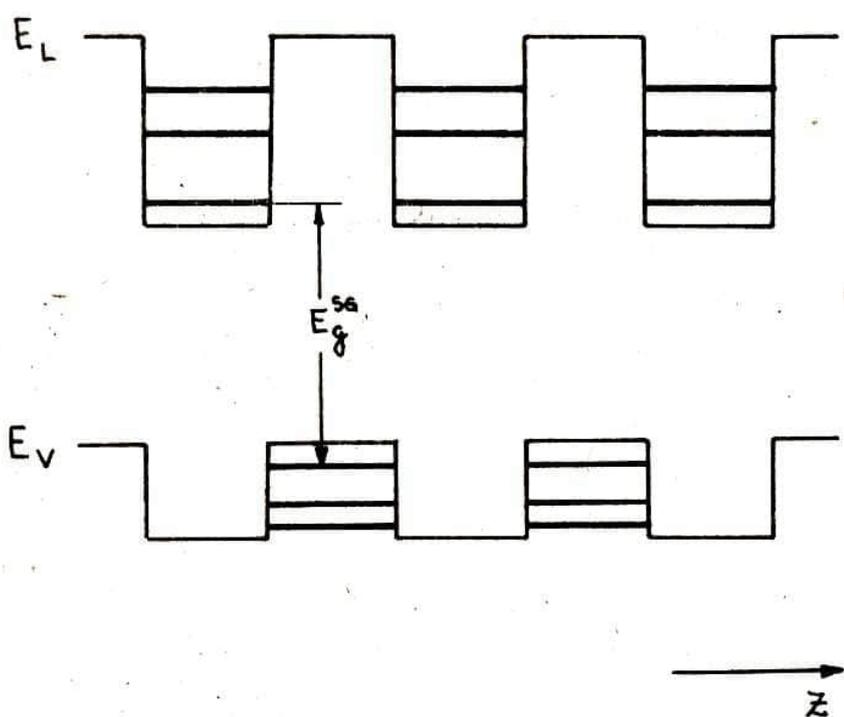


Abb. 15 Schematische Darstellung des räumlichen Verlaufs der Leitungs- und Valenzbandkante eines Typ II-Supergitters. Ein Beispiel für solch eine Struktur ist das System $In_{1-x}Ga_xAs/GaAs_ySb_{1-y}$

anderen Schicht. Folglich weisen die Typ II-Kompositions-Supergitter eine indirekte Bandlücke im Ortsraum auf. Außer dieser Unterteilung der Halbleiter-Supergitter, bei der die räumliche Struktur der Potentialtöpfe im Vordergrund steht, unterscheidet man noch sogenannte „verzernte Supergitter“ („strained-layer superlattices“), bei denen die Einzelschichten durch eine kleine Gitterfehlanspassung verzerrt aber defektfrei sind, von solchen mit sehr guter Gitteranpassung (siehe Abschnitt 4 im Teil III). Die Verzerrung der Schichten ist eine weitere Einflußgröße, die die elektronischen Eigenschaften des Supergitters (Mini-Bandstruktur, effektive Masse der Ladungsträger) beeinflusst.

Inhaltsverzeichnis „impuls 68“ 22. Jahrgang (1988)

Titel	Autor	Heft	Seite
PHYSIK			
Einführung in die Physik der Selbstorganisation und Evolution	Matthias Mann	1	21-30
		2	12-22
		4	13-27
Das SECAM-Verfahren	Dr. Tobias Damm	1	36-40
Exoelektronen	Karsten König	1	41-44
1987 – Das Jahr der Hoch-Temperatur-Supraleitung	Dr. Regine Hetterich	2	9-11
Fraktale	Wolfram Meinhardt	2	23-31
Messung biomagnetischer Felder in Jena	K.-D. Herbst/Dr. G. Kirsch	3	3-11
Solitonen	Wolfram Meinhardt	3	20-29
Nichtlineare Optische Phasenkonjugation	Andreas Erdmann	4	3-11
	Dr. Lutz Wenke	5	30-38
Die Parallelrechner kommen	Peter Kroll	4	28-34
		5	3-8
Quantum-Wells und Supergitter – neue Halbleiterstrukturen für Mikro- und Optoelektronik	Dr. Lutz Wendler	4	35-45
	Dr. Ute Wendler	5	9-21
		6	3-7
Fotolithographie und Halbleiterelemente	Dr. Armin Kießling	6	11-18
CHEMIE			
Molekülstruktur und Farbigkeit von chem. Verbindungen	Kay Sonntag	1	14-19
Kaffee und Coffein – Wirkung und Chemie	Dr. Dieter Martinez	3	12-18
Runges Musterbilder	Sibylle Rex	6	25-33
BIOLOGIE			
Biosensoren	Iris Hunger	1	31-35
Die Entdeckung des EEG durch Berger	Sabine Wiczorek	2	5-8
Selektive Photochemotherapie von Tumoren	Karsten König	5	22-29
Das Naturhistorische Museum Rudolstadt	E. Mey	6	20-24
Anwendbarkeit der Ergebnisse der Urgeschichtsforschung	Jörg Pittelkow	6	39-43
ASTRONOMIE			
Historischer Abriss über die Vorstellungen vom Mond bis zum 19. Jahrhundert	Klaus-Dieter Herbst	2	39-46
		3	33-45
WISSENSWERTES			
Angewandte Thermodynamik		2	47
Anwendung von Laserstrahlen in der Archäologie		3	47
Sprachverarbeitung mit dem Computer		4	46-47
Der höchste Berg unseres Sonnensystems		5	8
Ein neues Riesenteleskop in Aussicht		6	7-9
Der Adamsapfel		6	18-19
ALLGEMEINES			
Erwin Schrödinger	Dr. D. Hoffmann	1	3-13
Lösungen der IPHO	Aufgabe 1	1	45-47
	Aufgaben 2 und 3	2	34-38
Die Gründung der Wissenschaftl.-techn. Schülergesellschaft	Dr. B. Stecklum	2	3-4
II. Internationale Konferenz der Physik-Studenten	A. Erdmann, P. Kroll	3	30-32
Ausschreibung des Erich-Correns-Schülerpreises		5	39-46
Spende für das Albert-Schweitzer-Werk		6	9-10
Schülerpreis der Physikalischen Gesellschaft 1988		6	34-38

BÜCHERMARKT: Heft 1, S. 20; Heft 2, S. 32-33; Heft 3, S. 18, 32, 46; Heft 4, S. 11; Heft 5, S. 47-48; Heft 6, S. 44-47

MIKRO-

ORGANISMEN



Thomson '88

Andreas Polley
Forschungsstudent
Biotechnikum Halle

**Gentechnische
 und biochemische
 Optimierung
 von Mikroorganismen**

Seit es den Wissenschaftlern vor ca. sechzehn Jahren zum ersten mal gelang, zielgerichtet in das genetische Programm von lebenden Organismen einzugreifen, hat sich die Gentechnik in atemberaubenden Tempo immer neue Anwendungsgebiete erschlossen. Ziel der Anwendung dieser Technik ist z. B. die Produktion von Peptiden (wie Peptidhormonen, Antibiotika, Interferon, Neuropeptiden usw.), von Proteinen (zur Lebensmittelveredlung, für therapeutischen Einsatz in der Medizin, zur Erzlauung usw.) und anderen Stoffen mit Hilfe genetisch manipulierter Mikroorganismen. All diese Stoffe werden im folgenden Produkte genannt.

Aber auch für die genetische Grundlagenforschung leistet die Gentechnik bedeutendes. So ermöglichen ihre Methoden die Untersuchung des Zusammenspiels der Gene eines Organismus zum harmonischen Ganzen, die Aufstellung genetischer Stammbäume, die Erforschung der Regulation der komplexen Abläufe des Stoffwechsels und die Diagnostik von Erbkrankheiten bei Pflanzen, Tieren und Menschen.

Zunächst war es nur möglich, das genetische Material von einfachsten Organismen, also von Bakterien und Viren, zu verändern.

Ansatzpunkt dieser genetischen Manipulation sind sogenannte Plasmide (Abb. 1). Das sind kleine, ringförmige DNS-Moleküle. Natürliche Plasmide tragen vor allem Gene, die die Resistenz gegenüber Antibiotika, die Enzyme für den Abbau seltener Substrate (= Nahrungsquellen) oder ähnlichen Extraleistungen codieren. Andere Zellen gleicher Art, die keine Plasmide haben, zeigen diese Besonderheiten nicht. Wie die genetische Information im Kernäquivalent wird auch die der Plasmide an die Tochterzellen weitergegeben.

Die Gentechniker sind in der Lage, solche Plasmide nach eigenen Vorstellungen zusammenzubauen und den Bakterienzellen einzupflanzen. Das Produkt einer solchen genetischen Manipulation ist ein rekombinanter (Mikro-)Organismus.

Es gibt noch andere Gründe dafür, daß gerade Bakterien für die ersten Schritte der genetischen Arbeiten ausgewählt wurden. Sie haben einen im Vergleich zu höheren Organismen einfachen genetischen Apparat. (Darunter versteht man die Gesamtheit der Systeme zur Speicherung, Replikation und Realisierung der genetischen Information.) Die Struktur ihrer Gene und die Regulation der Aktivität dieser sind gut untersucht.

Nach ersten Erfolgen der Gentechnik entstand die Auffassung, es sei nun möglich, jedes gewünschte Produkt zu erzeugen. Man glaubte sogar, der manipulierte Organismus würde diese kleine Veränderung auch tolerieren und ein für ihn bedeutungsloses Produkt in großer Menge synthetisieren. Ein Mikroorganismus kann zwar nicht zwischen nützlich und nutzlos unterscheiden, aber er ist in der Lage, seine eigenen Proteine zu erhalten und fremde abzubauen.

Unsere Arbeitsgruppe beschäftigt sich unter anderem mit der Wechselwirkung zwischen Wirtszellen und ihrer veränderten genetischen Information bei Kultivierung über längere Zeiträume. Unter Wirtszellen versteht man Zellen, in die ein genetisch verändertes Plasmid eingebracht wurde. Aber betrachten wir dazu ein Phänomen:

Kultiviert man rekombinante Mikroorganismen in einem geeigneten Medium, so kann man

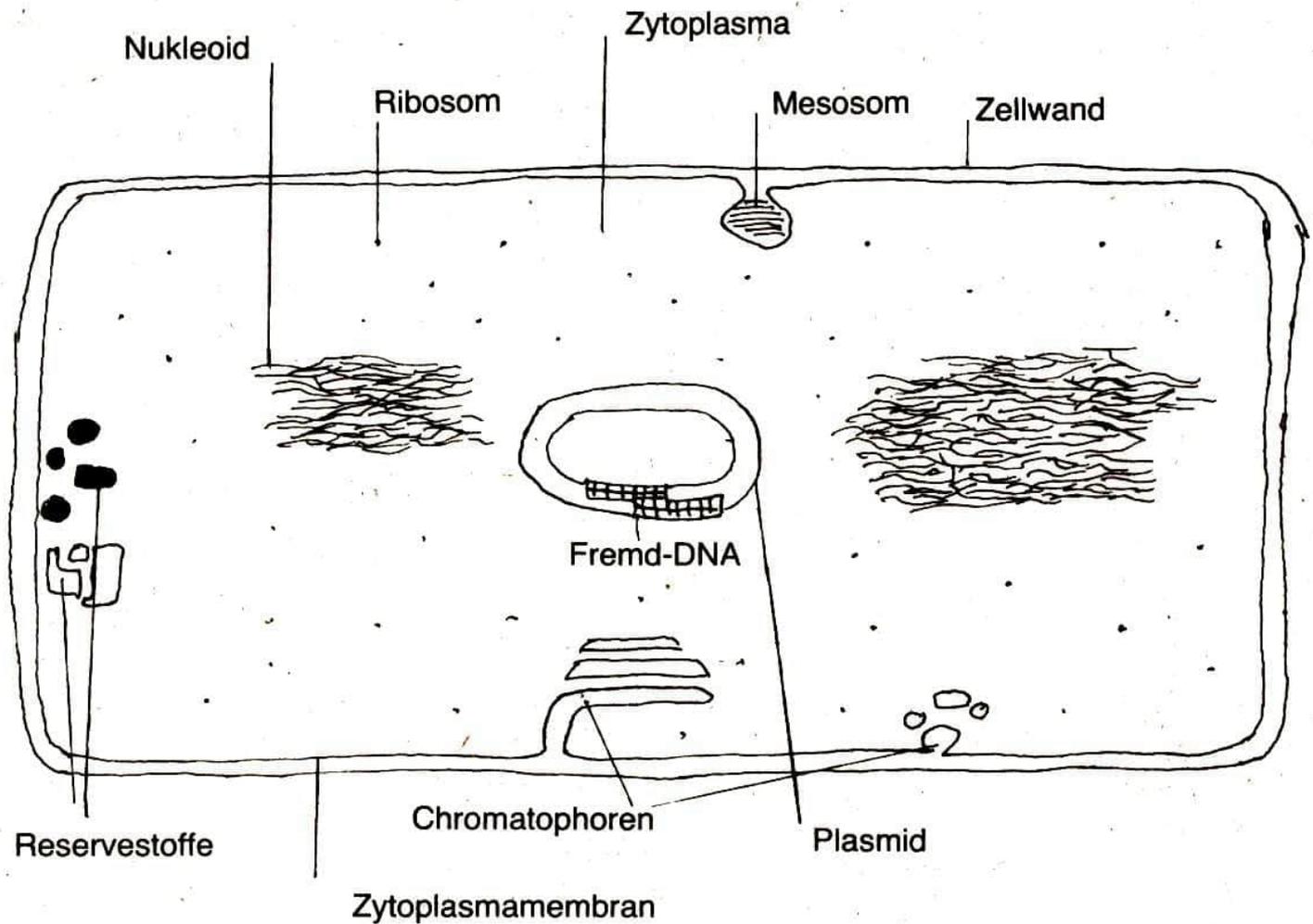


Abb. 1 Das genetische Material einer Bakterienzelle. Das Nukleoid (Kernäquivalent) ist in allen Zellen vorhanden und umfaßt über 99 % der gesamten genetischen Information. Plasmide müssen nicht unbedingt vorkommen. Sie tragen ca. 2 bis 1000 Gene.

bereits nach ein paar Generationen Zellen finden, die ihre Fremd-DNS verloren haben. Häufig nimmt deren Anzahl an der Gesamtzellzahl im Verlauf der Kultur immer weiter zu.

Wie ist das zu erklären? Alle Lebensvorgänge erfordern Energie, die die Bakterienzelle durch Umwandlung von Nährstoffen in energieärmere Stoffe gewinnt. In einer Bakterienkultur ist das Energieangebot von der Art und Konzentration der Nährstoffe abhängig und (im Idealfall) für alle Zellen gleich. Nehmen wir an, eine Zelle hat im Verlauf der Teilungen kein vom Menschen erzeugtes Plasmid mehr. Sie braucht dann ein Produkt nicht synthetisieren und demzufolge dafür keine Energie aufwenden. Dadurch verbleibt ihr bei gleichem Nährstoff-(= Energie-)Angebot in der Kultur mehr für Wachstum und Zellteilung. Sie wächst schneller und überwuchert die rekombinanten Zellen.

Da aber nur die rekombinanten Zellen das gewünschte Produkt bilden, besteht die Aufgabe, diesen Zellen einen Vorteil im Überlebenskampf zu geben. Dieser kann z. B. die Resistenz gegenüber einem Antibiotikum sein, die man mit der Fremd-DNS koppelt. Realisiert wird das durch gemeinsame Unterbringung auf einem Plasmid.

Wie wirkt nun dieser Vorteil? Nehmen wir an, die Plasmide verleihen Resistenz gegenüber Penicillin. Man gibt dem Medium, in dem man kultiviert, Penicillin zu. Entstehen nun plasmidfreie Zellen, so haben sie ihre Resistenz mit dem Plasmidverlust eingebüßt und können nicht mehr weiter wachsen. (Penicillin tötet wachsende Bakterienzellen ab.)

Die bisher dargestellten Schritte bezeichnet man als gentechnische Optimierung. Sie sind in Wirklichkeit aber weitaus umfangreicher und komplizierter. Daran schließt sich die biochemisch-physiologische Optimierung an, mit der sich unsere Arbeitsgruppe ebenfalls beschäftigt. Man würde einen Teil der möglichen Produktmenge verschenken, würde man auf diese zweite Möglichkeit der Optimierung verzichten.

Im Vergleich zum Wildtyp ist der rekombinante Mikroorganismus ein sensibles System, das eine wohldefinierte Umgebung für Wachstum und Produktbildung braucht. Schon eine Veränderung von Rührgeschwindigkeit, Temperatur oder Sauerstoffversorgung im Bioreaktor bewirken ein deutlich verändertes Verhalten des Mikroorganismus.

Von großer Bedeutung ist auch die Zusammensetzung des Mediums, in dem die Zellen wachsen. Ganz allgemein benötigen Mikroorganismen:

- eine organische Kohlenstoffquelle für die Aufrechterhaltung ihres Stoffwechsels und zur Energiegewinnung
- eine organische oder anorganische Stickstoffquelle zur Synthese von Aminosäuren und Nukleotiden
- anorganisches Phosphat für die energiereichen Verbindungen und Nucleinsäuren
- anorganisches Sulfat oder eine schwefelhaltige Aminosäure
- anorganische Kationen wie K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} und als Anion neben schon genannten Cl^-
- Spurenelemente (in ionischer Form) wie Al, J, Br, Ti, Sn, Zn, Li, Mn, Ni, Cu, B, Co

Außerdem tragen rekombinante Mikroorganismen meist eine Mutation, die ihnen das Überleben in der natürlichen Umwelt unmöglich machen soll. Eine solche Mutation kann z. B. die Unfähigkeit zur Synthese eines Vitamins oder einer Aminosäure sein. Die entsprechende Verbindung muß im Medium enthalten sein, denn ohne sie kann der Mikroorganismus nicht wachsen.

Für die technische Kultivierung von Rekombinanten ergeben sich noch andere Ansprüche. So sollte das Medium möglichst billig zur Verfügung stehen und vom Mikroorganismus optimal ausgenutzt werden. Dieser braucht für ein schnelles Wachstum möglichst viele verwertbare Stoffe wie Aminosäuren, Zucker usw.. Das oben beschriebene Medium würde nur die minimalsten Ansprüche befriedigen und heißt daher auch Minimalmedium. In diesem wachsen die Zellen vergleichsweise langsam, denn sie müssen viele Stoffe selbst synthetisieren. Die Forderungen von Ökonomie und Mikroorganismus schließen einander oft aus, so daß Kompromisse nötig sind. Für hochwertige Produkte, etwa zur Anwendung in der Humanmedizin, wird man sicherlich auch teure Medien nutzen, aber Massenprodukte wie Enzyme zur Erzäugung erfordern billige Medien für die Mikroorganismen, die sie produzieren.

Weiterhin muß beachtet werden, daß Rekombinanten oft induzierbar sind. Das heißt, die Synthese des Produktes kann auf ein äußeres Signal hin ein- und ausgeschaltet werden. Ein solches Signal kann Strahlung, ein Temperatursprung oder die Zugabe eines Stoffes sein. Diese Induzierbarkeit von Zellen ermöglicht die Trennung in eine Wachstums- und Produktbildungsphase. Dadurch umgeht man die oben genannten Folgen für die Energiebilanz des rekombinanten Mikroorganismus. Für jede Phase kann ein optimales Medium angeboten werden.

Gentechnisch wird das An- und Ausschalten folgendermaßen realisiert: Jedes Gen der Zelle wird von bestimmten Kontrollgenen beeinflusst, unter anderem von einem Promotor und einem Operator.

Nehmen wir als Beispiel die Biosynthese der Aminosäure Histidin. Ist sie im Medium vorhanden, braucht sie von der Zelle nicht synthetisiert werden, obwohl diese dazu in der Lage wäre. Ein Rezeptormolekül bestimmt die Histidinkonzentration im Zellplasma und schaltet die Gene nur bei Mangel ein. In diesem Fall würden die Enzyme zur Biosynthese dieser Aminosäuren gebildet.

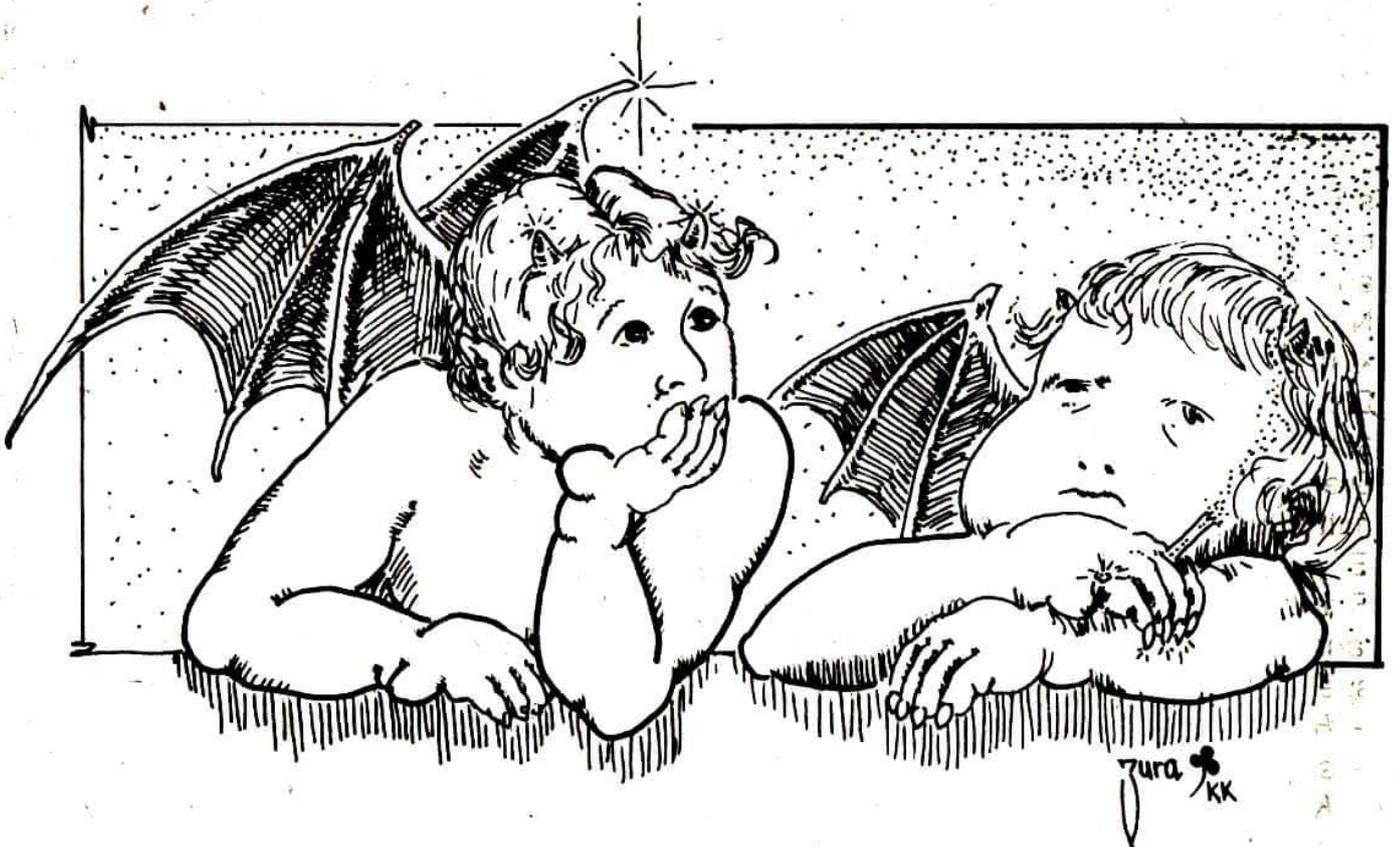
Bringt man nun auf einem Plasmid den Histidin-Promotor und Operator und dahinter die Fremd-DNS unter, so wird das gewünschte Produkt in Abhängigkeit von der Histidinkonzentration gebildet. Man kann zwei Fälle unterscheiden:

1. Histidin ist vorhanden – das Produkt entsteht nicht.
2. Histidin ist nicht vorhanden – das Produkt wird gebildet.

Man sagt, das Produkt ist Histidin kontrolliert. Durch die Verwendung des Histidin-Promotors und Operators kann der Rezeptor nämlich das künstliche Gen ebenfalls regulieren.

Es gibt noch eine Reihe weiter solcher Kultivierungsstrategien, die auf anderen Voraussetzungen aufbauen und hier nicht dargestellt werden können. Auch die biochemisch-physiologische Optimierung eines Mikroorganismus ist sehr umfangreich, wobei hier nur einiges angedeutet werden konnte.

Der gesamte Weg von der Idee bis zum produktionsreifen Verfahren kann durchaus Jahre in Anspruch nehmen. Obwohl theoretisch alle Schritte bekannt sind, entscheidet erst die praktische Durchführbarkeit über Erfolg oder Mißerfolg. Durch kleine Änderungen des Konzeptes kann das Resultat oft positiv beeinflusst werden. Ein biotechnologisches Verfahren bietet jedoch gegenüber der chemischen Synthese zahlreiche Vorteile, so daß der Aufwand für die Entwicklung sich meist lohnt.



Grundsätze: „Der Beschluß erfolgt immer in dem Augenblick, wo du keine Lust mehr zum Nachdenken hast.“

Peter Kroll
Peter Kühmstedt
Friedrich-Schiller-Universität Jena
Sektion Physik

Die III. Internationale Konferenz für Physikstudenten 1988 in Prag

Vom 7.–11. September 1988 fand an der Technischen Universität Prag die „International Conference for Physics Students '88“ (ICSP '88) statt. Wir waren Teilnehmer dieser Konferenz und möchten in diesem Beitrag einige unserer Eindrücke schildern.

Diese nun schon dritte Konferenz ihrer Art setzt das von ungarischen Studenten 1986 ins Leben gerufene Treffen von Physikstudenten aus aller Welt (vornehmlich Europa) fort. Die erste Konferenz tagte 1986 in Budapest, die zweite 1987 in Debrecen (siehe „impuls 68“, Heft 3/88), also wiederum in Ungarn, die dritte nun, dem internationalen Charakter entsprechend, in Prag.

Auch 1988 war die Konferenz Anziehungspunkt für Studenten aus vielen Ländern in Ost und West. Neben Frankreich, England, Italien, der BRD, Schweden und den Niederlanden konnten erstmalig Teilnehmer aus Finnland, der Schweiz, Österreich und aus Dänemark begrüßt werden. Von den sozialistischen Ländern wären die ČSSR natürlich, Polen, Ungarn und die DDR zu nennen und ebenfalls erstmalig die UdSSR und Bulgarien.

Der Tagesablauf der Konferenz sah etwa so aus: Nach einem ordentlichen Frühstück begann 8.30 Uhr die erste Vortragsreihe. Eingeleitet wurde sie von einem längeren Vortrag, einem sogenannten „invited talk“, den entweder ein Professor der Prager Universitäten oder ein Gastprofessor aus der UdSSR hielt. So sprach Akademik Prof. M. L. Abow über die starke und elektroschwache Wechselwirkung in der Welt der Elementarteilchen. Prof. I. Stoll von der TU Prag hielt einen recht allgemeinen Vortrag über die Entwicklungstendenzen der Physik in den letzten 20–30 Jahren und Prof. J. Tolar von der Karls-Universität Prag sprach über die Anwendung von gruppentheoretischen Methoden in der modernen Physik. Im Anschluß an diese Vorträge war Gelegenheit zur Diskussion.

Nach diesem Einleitungsvortrag kamen die Studenten zu Wort. Innerhalb von ca. 20 Minuten konnte jeder sein Thema mittels Polylux, Bildwerfer oder auch Kreide und Tafel vorstellen. Daran schloß sich wieder eine Diskussionszeit von etwa zehn Minuten an. Bis zum Mittagessen wurden vier bis fünf Vorträge gehalten.

Die Nachmittagsveranstaltung begann in der Regel 14 Uhr und lief dann ähnlich wie am Vormittag ab.

Es gab insgesamt 28 Vorträge durch Studenten (Österreich 1, ČSSR 6, Finnland 1, BRD 1, Frankreich 2, DDR 4 (zur Festkörperphysik und Allgemeinen Relativitätstheorie), Großbritannien 2, Ungarn 5, Italien 2, Niederlande 1, Polen 1, UdSSR 2). So breit wie das Länderspektrum war auch die Themenvielfalt. Hier seien nur einige genannt:

- *Holografie (Speicherung und Wiedergabe dreidimensionaler Bilder mittels Laserstrahlung)*
- *stick-slip-Schwingungen (Kleb-Rutsch-Schwingungen eines an einer Feder befestigten Körpers, der über eine reibende Unterlage gezogen wird)*
- *chaotisches Verhalten dynamischer Systeme*
- *Quanten-Hall-Effekt (Quantelung der Hall-Spannung bei tiefen Temperaturen)*
- *Spin-Gläser (magnetische Materialien, bei denen im Gegensatz zu den Ferro- und Antiferromagnetika die Spins der Atome regellos verteilt sind)*

- *String-Theorie (neue Theorie der Elementarteilchen, die die Teilchen als Schwingungszustände von „Fäden“ (Strings) auffaßt)*
- *Fibonacci-Supergitter (Mehrschicht-Halbleiter, in welchem die Schichtdicke entsprechend der Folge der Fibonacci-Zahlen 2, 3, 5, 8, 13, . . . geordnet ist).*

Das Niveau und die Verständlichkeit der Vorträge sowohl in fachlicher als auch in sprachlicher Hinsicht waren sehr unterschiedlich. Das ist normal und schließlich ist die Konferenz ja unter anderem auch dazu da, sich als Student unter Studenten zu testen. Es zeigt sich, daß es oft gar nicht so einfach ist, dem fachfremden Zuhörer (man kann das ruhig so nennen, obwohl wir alle Physik studieren oder studiert haben) Begriffe und Zusammenhänge möglichst verständlich zu erklären. Außerdem besteht dann die Gefahr, sich darin zu verlieren, und nach 20 Minuten Vortragszeit hat man das Wesentliche noch gar nicht erwähnt. Auf der anderen Seite sind die Zuhörer bestrebt, auch von fachfremden Themen so viel wie möglich zu verstehen. Das geht nicht problemlos. Zumeist behandelten viele Referenten recht spezifische Themen, die so richtig sicherlich nur die entsprechenden Fachleute verstehen konnten. So ist uns als krassestes Beispiel ein italienischer Student in Erinnerung geblieben, der für ein paar Monate in Genf im westeuropäischen Kernforschungszentrum CERN gearbeitet hatte und während seines Vortrages immerfort mit CERN-internen Abkürzungen der von ihm benutzten Geräte um sich warf. Die Sache wurde „perfekt“, als ihn schließlich ein anderer Italiener unterbrach und sich beide nun um die Abkürzungen stritten.

Die offizielle Konferenzsprache war Englisch, die von allen Teilnehmern auch mehr oder weniger gut beherrscht wurde.

Es verblüfft immer wieder, wie gut die westlichen Studenten die englische Sprache handhaben, was sich aber relativ leicht durch den häufigen Kontakt mit Leuten, deren Muttersprache Englisch ist, aber auch durch den Studienablauf erklären läßt. So gibt es in der Regel keinen festen fünfjährigen Studienplan wie beispielsweise in unserem Land, sondern der Student stellt sich sein Vorlesungsplan in eigener Verantwortung zusammen. Dabei sind Wechsel von Universität zu Universität auch über Ländergrenzen hinweg keine Seltenheit. So liegt auch die Studiendauer bis zum Diplomabschluß zwischen fünf und acht Jahren oder gar darüber. Das hört sich ganz phantastisch an, aber man darf dabei nicht außer acht lassen, daß der Studienplan nicht nur von den fachlichen Interessen der Studenten sondern vor allem auch durch den Geldbeutel diktiert wird. Wer diesen Geldbeutel immer wieder füllt, ist recht unterschiedlich. Der eine hat gut bemittelte Eltern, der andere bekommt eine staatliche Unterstützung oder findet eine Firma als Geldgeber und schließlich gibt es viele, die sich ihre Studiengebühren in der relativ langen Sommerpause (drei bis vier Monate) erarbeiten.

Natürlich kam auch die zweite Seite der Konferenz nicht zu kurz: die zahlreichen persönlichen Diskussionen und die kulturelle Unterhaltung. Zunächst muß hervorgehoben werden, daß alle Konferenzteilnehmer in einem erst vor ein paar Monaten fertiggestellten, also modernen, Studentenwohnheim untergebracht waren und sich neben dem Wohnheimgebäude gleich ein Mehrzweckbau mit Tagungsräumen, Kinosaal, Bar und Mensa anschloß. Es waren also ideale Bedingungen vorhanden und wer Lust zum Diskutieren hatte, fand problemlos einen bequemen und gemütlichen Platz.

Kulturell hatten sich die ČSSR-Studenten echt bemüht und überraschten alle Teilnehmer mit einem Abend im Prager Kulturpalast, in welchem das berühmte Theater „laterna magica“ die Vorführung „Odysseus“ darbot. An einem anderen Abend konnten wir in einer gemütlichen Prager Kneipe über unsere Zukunftspläne bezüglich der jährlichen Konferenzen und unserer internationalen Physikstudenten-Organisation streiten.

Den Abschluß der fünftägigen Konferenz stellte ein Ausflug nach dem Schloß Sychrov,

ca. 90 km nordöstlich von Prag gelegen, dar. Das Schloß war einst Wohn- und Arbeitsort des tschechischen Komponisten B. Smetana. Nach einer Führung durch eine Ausstellung über die Geschichte des Schlosses und einem Spaziergang in dem sich anschließenden riesigen, gepflegten Park wurde sozusagen an historischer Stelle in einem der Schloßsäle das erste „General Meeting“ der im vergangenen Jahr in Debrecen gegründeten Organisation „International Association of Physics Students“ (IAPS) abgehalten. Es ging vor allem um die Organisation von Studentenaustauschen und die nächsten Konferenzorte. So wird voraussichtlich die nächste Konferenz im September 1989 in Freiburg (BRD) und die darauffolgende 1990 in Amsterdam sein.

Die Prager Konferenz war unserer Ansicht nach eine gute Gelegenheit des gegenseitigen Kennenlernens von Physikstudenten aus Ländern unterschiedlicher Gesellschaftsordnungen, zum fachlichen aber auch politischen Streit. Wir haben viele Freunde von der Debrecener Konferenz wiedergetroffen und neue Freunde gewonnen. Es wird kaum einen Teilnehmer gegeben haben, dem die gesamte Veranstaltung nicht gefallen hat.

Es wäre schön, wenn auch künftig IAPS und die Internationalen Konferenzen für Physikstudenten breites Interesse und Unterstützung erfahren würden.

WISSENSWERTES

Röntgenbeugung an festem Wasserstoff

Die Aufnahme der Röntgenbeugungsbilder des unter hohem Druck verfestigten Wasserstoffs ist vor kurzem gelungen. Bis zu Drücken von 26 GPa hat der feste Wasserstoff als Kristallstruktur die hexagonal dichteste Kugelpackung. Gefunden wurde auch eine Ausrichtung der Rotationsachse des Moleküls. Als Quelle der erforderlichen intensiven Röntgenstrahlung dient ein Synchrotron. Die Kenntnis der Struktur von festem Wasserstoff ist wichtig für verfeinerte Rechnungen. Dabei geht es vor allem um das Auftreten des metallischen Zustandes, der für 150 GPa erwartet wird.

Supraleiter optisch schaltbar

Ein optisch schaltbares Supraleiter-Bauelement, das den Einsatz der Hochtemperatur-Supraleitung in optischen Kommunikations-Systemen ermöglichen könnte, haben japanische Wissenschaftler und Techniker entwickelt und getestet. Das Bauelement entstand durch Abscheiden einer 2 μm dicken $\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ -Schicht auf einem MgO-Substrat mit Hilfe eines Hochfrequenz-Sputterverfahrens. Durch Einbringen eines 1,5 μm tiefen und 5–10 μm breiten Grabens in die mit zwei Dünnschichtelektroden versehene Schicht wurde ein bei einer Temperatur von 85 K supraleitender Josephson-Übergang gebildet, der bei Einfall von Licht ($\lambda = 0,7 \dots 0,9 \mu\text{m}$) nichtleitend wirkt. Die Lichtempfindlichkeit ließ sich zusätzlich erhöhen, wenn man eine photoleitende CdS-Schicht aufbrachte.

Martin Schnittler
Friedrich-Schiller-Universität Jena
Sektion Biologie

Warum essen wir (nicht) Knoblauch?

**„Stinkende“ Pflanzeninhaltsstoffe
 und ihre gesundheitsfördernde
 Wirkung**

Schon immer spaltete sich die Menschheit bei der Frage nach dem Knoblauchessen in zwei Lager, die einen lobten die heilsamen Eigenschaften der Zehe, den anderen wurde schon beim Gedanken an den Geruch übel. Bereits im Altertum wurde man auf solche stark riechenden Pflanzen wie den Knoblauch aufmerksam, wie aus einem dreieinhalbtausend Jahre alten ägyptischen Papyrus hervorgeht. Im Iran und in Afghanistan kannte man schon in vorchristlicher Zeit einen als „Stinkasant“ oder „Teufelsdreck“ bezeichneten Doldenblüter namens Asant (*Ferula assa-foetida* L., Synonym *Scorodosma foetidum* Bunge), aus deren Wurzeln ein an der Luft schnell erhärtender

Milchsaft als Gewürz und Heilmittel gewonnen wurde. Der Geschmack des gewonnenen Harzes wird als bitter, widerlich und ätzend charakterisiert und soll stundenlang nicht zu beseitigen sein. Der Duft der Pflanze erinnert sehr an unseren heimischen Knoblauch (*Allium sativum* L.). Noch um 1850 wurde das Harz des Asants in Hessen, Württemberg und Schwaben als Gewürz für Fleischgerichte verwendet, und auch die Ärzte des Altertums verordneten es gegen die verschiedensten Beschwerden, als Räuchermittel für verpestete Häuser und sogar als Aphrodisiakum.

Beim Knoblauch, dem ebenfalls gesundheitsfördernde Eigenschaften zugeschrieben werden, wurde die „Biochemie des Stinkens“ genauer untersucht. Als Vorstufe des riechenden Prinzips fand man ein Derivat der Aminosäure Cystein (siehe Abb. 1), welches selbst geruchlos ist. Räumlich getrennt befindet sich in den Zellen der Pflanze ein Enzym (Allinase), welches den „Kopf“ der Aminosäure abzuspalten vermag. Eine frische Knoblauchzehe ist geruchlos, erst bei Verletzung der Pflanze vermag das Enzym zu wirken, es bildet sich ein instabiles Zwischenprodukt (Allylsulfonsäure). Durch spontane Kondensation dieser Säure entstehen die stark riechenden Stoffe Allicin und Ajoen, und genau diese verursachen leider auch die gesundheitsfördernde Wirkung. Allicin wirkt antibakteriell und antimykotisch, noch in einer Verdünnung von 1 : 125 000 hemmt frischer Knoblauchsaft das Bakterienwachstum. Die alte Regel, daß starker Knoblauchgenuß gegen Darminfektionen schützt, hat also einen realen Hintergrund. Darüber hinaus fand man, daß Zwiebel- und Knoblauchextrakte antithrombisch wirken, also die Bildung von Blutgerinnsel in den Adern verhindern können. Die Bildung dieser Blutgerinnsel in den verengten Koronararterien des Herzens ist aber der auslösende Faktor für einen Herzinfarkt. Sehr wahrscheinlich ist die blutgerinnungshemmende Wirkung auf das Ajoen zurückzuführen. Beide Wirkprinzipien des Knoblauchs sind jedoch relativ instabil und werden bei Erhitzung (Kochen), aber auch im Körper zum unwirksamen, aber noch stark riechenden Diallyldisulfid (Abb. 2a) umgewandelt. Das macht den eigentlichen Geruch des Knoblauchessers aus, dieser flüchtige Stoff wird nämlich nicht nur ausgeatmet, sondern auch über die Haut und die Haarwurzeln abgegeben. Ganz ähnliche Stoffe findet man auch bei den anderen *Allium*-Arten, wozu auch unsere Küchenzwiebel (*Allium cepa* L.) gehört. Das riechende, aber auch tränenreizende Prinzip ist hier ein Thiopropionaldehyd, der wasserlöslich ist, womit die alte Regel, man solle Zwiebeln möglichst unter Wasser schneiden, ihre Erklärung findet. Ebenfalls verschiedene Disulfide bedingen auch Geruch und Geschmack des eingangs erwähnten Asant und wahrscheinlich auch dessen inzwischen

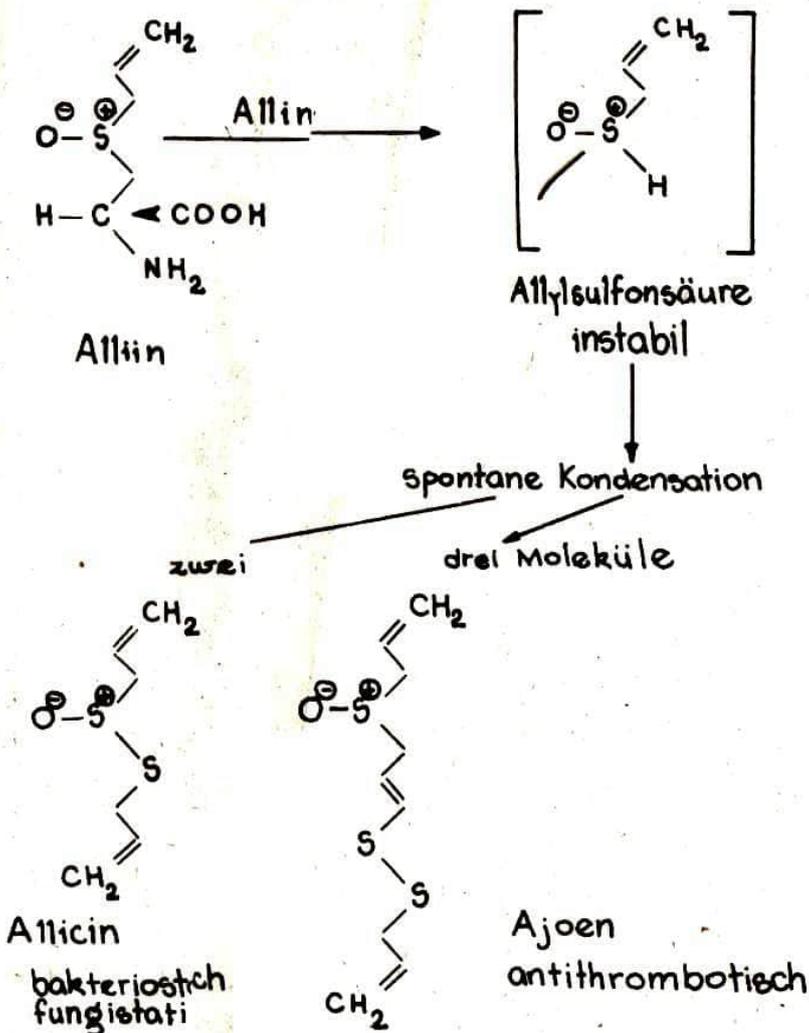


Abb. 1 Biosynthese der Wirkprinzipien des Knoblauchs

mit moderner Methoden nachgewiesene entzündungshemmende und krampflösende Wirkung.

Alle diese Prinzipien werden jedoch beim Extrahieren, Kochen oder Trocknen der Pflanzen zerstört. Frische Zwiebel bzw. Zehe kann also vorläufig nichts ersetzen, aber: sie stinkt.

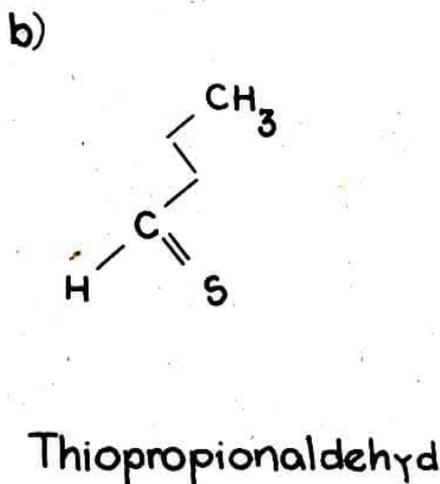
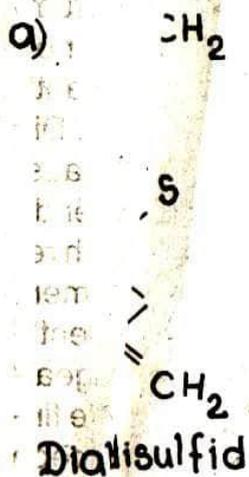


Abb. 2a Diallyldisulfid, das Endprodukt der „Knoblauchverdauung“

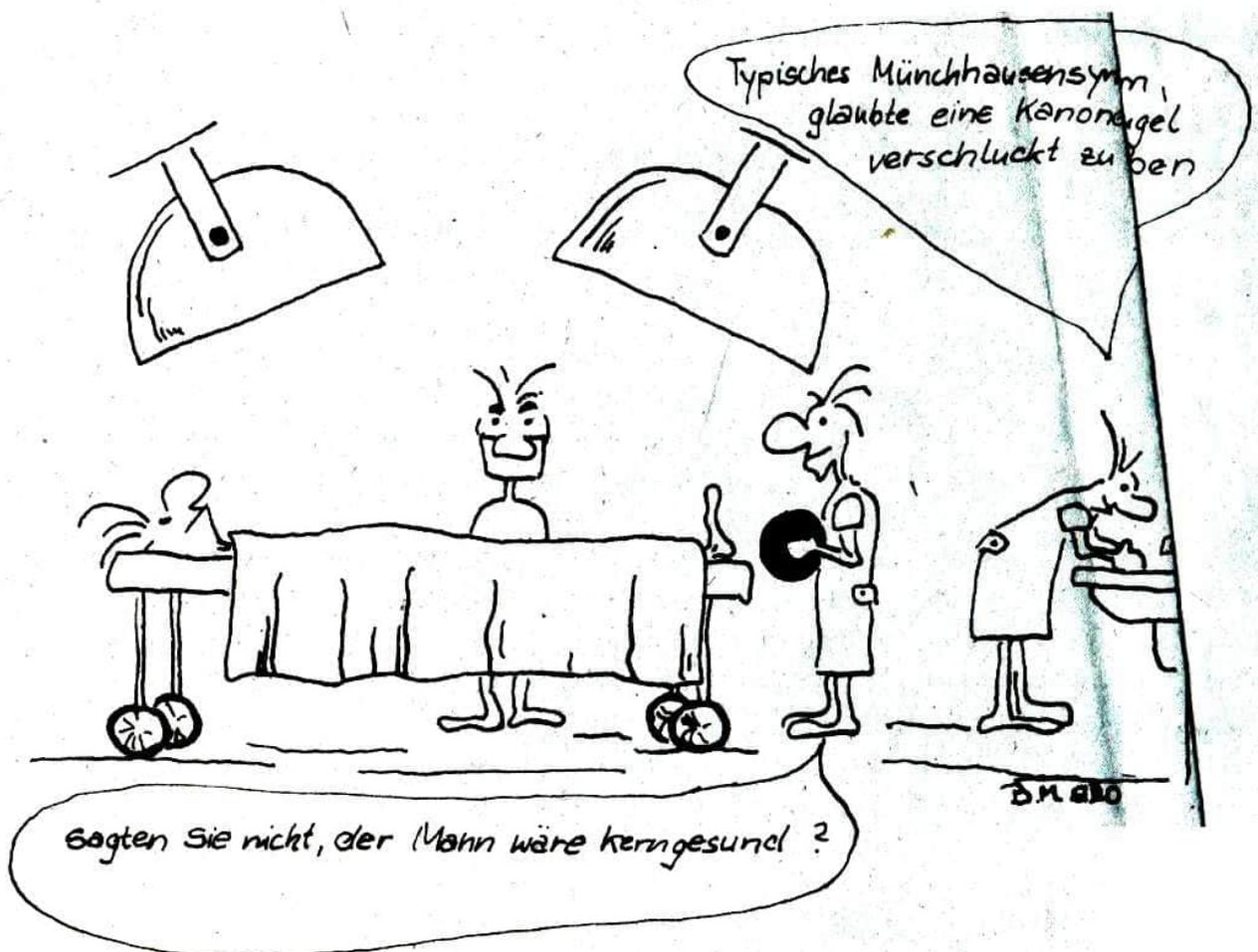
Abb. 2b Thiopropionaldehyd, der tränenreizende Stoff der Zwiebel

Die Gestalt des Freiherrn von Münchhausen ist sicherlich jedem bekannt, auch die Mediziner verewigten diese Figur in ihrem Wortschatz. So ist im Wörterbuch der Medizin (herausgegeben von Prof. Dr. Heinz David, Berlin 1984) im Teil 2 auf Seite 1195 unter dem Stichwort

Münchhausen-Syndrom

nachzulesen:

„Münchhausen-Syndrom: nach dem Lügenbaron Münchhausen benanntes psychoneurotisches Syndrom, bei dem die Patienten durch Angabe von starken Beschwerden die Krankenhauseinweisung erzwingen. Am häufigsten ist die Laparotomophilie (Beschwerden mit dem Ziel der Operation); Hinweise bieten zahlreiche Operationsarten...“

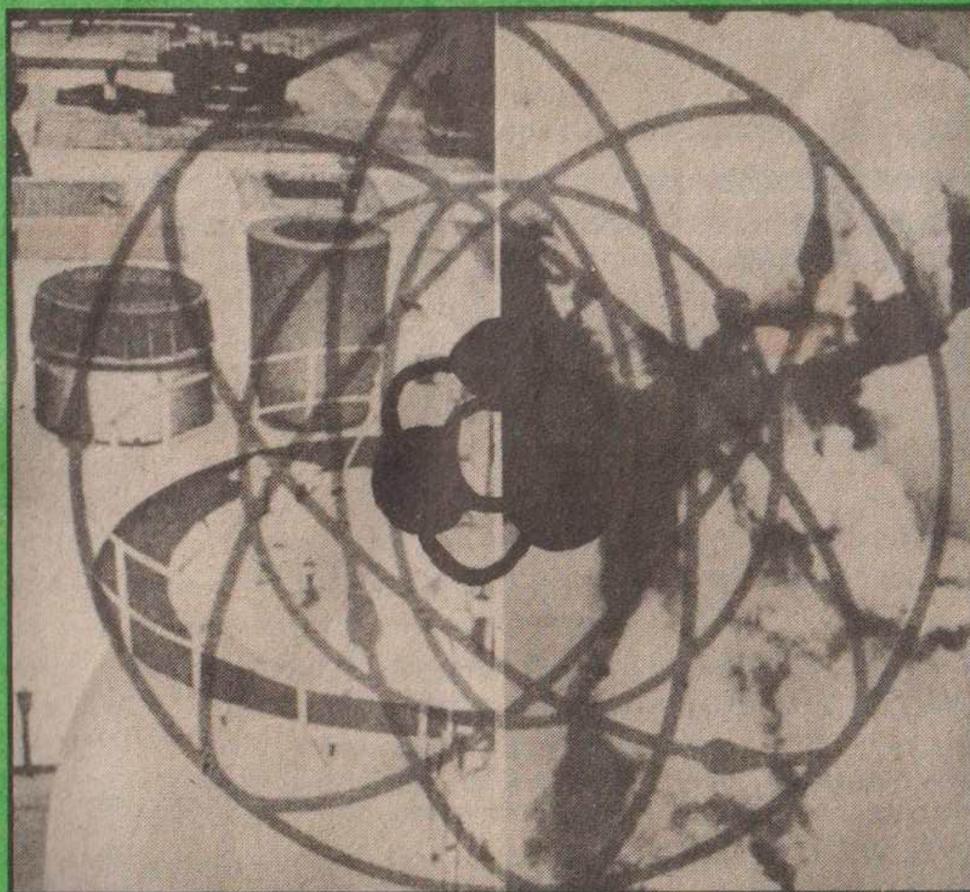


impuls

68

Schülerzeitschrift
für Physik, Chemie
und Biologie

INDEX 322004 · ISSN 0232-9220 · 23. JAHRGANG · PREIS: 0,60 M



Das Element Uran:
Geschichte und Gegenwart

3/89

impuls 68



Die Welt von morgen – Gedanken zu einem Buch von Igor Bestuschew-Lada	3
<i>Michael Beleites</i>	
Das Element Uran: Geschichte und Gegenwart	4
<i>Dr. Lutz Wendler, Dr. Elke Wendler</i>	
Quantum-Wells und Supergitter – neue Halbleiterstrukturen für Mikro- und Optoelektronik	12
<i>Kay Sonntag</i>	
Wissenswertes über Schwefelsäure	21
<i>Karsten König</i>	
Gustav Ginzler und sein Misthaus	27
<i>Klaus-Dieter Herbst</i>	
Physik – ein Begriff im Wandel der Zeiten! Ein Blick in die Geschichte der Physik des 18. Jahrhunderts	30

impuls 68 – Schülerzeitschrift für Physik, Chemie und Biologie

Herausgeber: FDJ-Aktiv der Friedrich-Schiller-Universität Jena

Die Zeitschrift erscheint im Eigenverlag der Redaktion **impuls 68**

Anschrift der Redaktion: Max-Wien-Platz 1, Jena, 6900, Telefon 82-25293

Veröffentlicht unter der Lizenznummer 1570 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der DDR,

Erscheinungsweise: zweimonatlich

Heftpreis: 0,60 M

Bezugsmöglichkeiten: durch den Postzeitungsvertrieb

Textfassung: **impuls 68**

Textverarbeitung und Rollenoffsetdruck: Druckerei Volkswacht Gera, AN (EDV) 13228

Chefredakteur: Andreas Erdmann; stellv. Chefredakteur: Karsten König

Redaktionsmitglieder: Dr. Bringfried Stecklum, Petra Richter, Peter Kroll, Alexander Niehardt, Rainer Strobel, Wolfram Meinhardt, Jens Thole, Andreas Chwala, Klaus-Dieter Herbst, Gustavo Rodriguez Zurita, Matthias Müller, Beate Sidlo, Steffen Steinberg, Kay Sonntag

Gestaltung: **impuls 68**; Steffen Wolf

Redaktionsschluß: 17. 3. 1989

Titelfoto: Uran als Energiequelle aber auch als militärische und ökologische Gefahrenkomponente

Die Welt von morgen – Gedanken zu einem Buch von Igor Bestuschew-Lada
(erschienen im Urania-Verlag Leipzig · Jena · Berlin, 1988)

Wie entwickeln sich Wissenschaft und Technik in der Zukunft? Welche Konsequenzen müssen wir daraus ziehen? Wie sehen Familie, Schule, Freizeit, Kultur oder auch die Stadt des 21. Jahrhunderts aus? Mit diesen und vielen anderen interessanten Fragestellungen beschäftigt sich der Moskauer Professor Igor Bestuschew-Lada, einer der führenden sowjetischen Futurologen, in seinem neusten Buch. Gleich auf den ersten Seiten des Buches wird deutlich gemacht, daß die Futurologie eine durchaus ernst zu nehmende Wissenschaft ist. So erfolgt eine deutliche Abgrenzung gegenüber der „science-fiction“-Literatur, welche sich ja mit ähnlichen Fragestellungen beschäftigt. Es wird deutlich gemacht, mit welchen Methoden man Aussagen über die Zukunft gewinnt.

Der Autor scheut sich jedoch auch nicht, in seinem Buch sehr konkrete Fragen anzusprechen. Daß er dabei nicht unumstritten bleibt, ist vollkommen natürlich. Bei der Mehrzahl der Aussagen kann es sich jedoch nur um die Voraussage bestimmter Trends handeln, aber auch daraus lassen sich schon beachtenswerte Schlußfolgerungen für unser Handeln in der Gegenwart ziehen.

Einen zentralen Punkt in den Betrachtungen Bestuschew-Ladas nehmen immer wieder die globalen Menschheitsprobleme ein. Dabei wird besonders deutlich, warum das Problem Krieg – Frieden heute als das globale Problem Nr. 1 angesehen wird. Dies ist nicht etwa der Fall, weil die Menschheit nur durch einen Krieg vernichtet werden könnte, ein verantwortungsloser Umgang mit unserer Umwelt, mit unseren natürlichen Ressourcen usw. können die Existenz der Menschheit als Ganzes ebenso gefährden. Jedoch nur die weltweite Abrüstung und damit einhergehend eine gewaltige Kürzung der Militärausgaben in allen Ländern der Welt kann so ungeheure Mittel (materiell und personell) für die Lösung aller anderen globalen Menschheitsprobleme frei machen. Nur auf dem hier angedeuteten Wege kann die weitere Entwicklung der Menschheit erfolgen. Für mich war es an diesem Punkt besonders interessant, die Aussagen des Autors bezüglich der Möglichkeiten zur Lösung der globalen Probleme mit der Rede Michael Gorbatschows vor der UNO zu vergleichen.

Aus oben gesagtem ergibt sich aber genauso, daß es keine weniger wichtigen globalen Probleme gibt. Es wäre zum Beispiel vollkommen falsch, mit der Begründung „erst müssen wir den Kapitalismus zum Abrüsten zwingen“ unsere Umweltprobleme auf die „lange Bank“ zu schieben. Die Sorge um Probleme der Ökologie zieht sich durch alle Kapitel in Bestuschew-Ladas Buch. Dabei kann es keineswegs darum gehen, eine Theorie der Enthaltensamkeit zu entwickeln, auf jegliche weitere Entwicklung der Menschheit zu verzichten, es muß vielmehr darum gehen, die weitere Entwicklung von menschlicher Gesellschaft und Natur im Einklang zu vollziehen.

Wie eine solche Entwicklung konkret zu erfolgen hat? Dieses Problem stellt zur Zeit große Anforderungen an Wissenschaftler aller Richtungen, besonders aber auch an Physiker, Biologen und Chemiker. Wir wollen in unseren nächsten Heften einige Artikel zu ökologischen Fragen vorstellen. Wir hoffen, daß sich dadurch jeder seiner persönlichen Verantwortung für unsere Umwelt etwas bewußter wird, daß aber auch die ganze Kompliziertheit des Gleichgewichts zwischen ökonomischer und ökologischer Entwicklung der Gesellschaft etwas deutlich wird. Ganz in diesem Sinne möchten wir auch den folgenden Beitrag verstanden wissen, der sich mit der Problematik des Urans sowohl als Energiequelle als auch als militärische und ökologische Gefahrenkomponente auseinandersetzt.

Andreas Erdmann, Chefredakteur

Michael Beleites
Präparator
Gera

Das Element Uran: Geschichte und Gegenwart

Das Weihnachtsfest des Jahres 1938 kam für den in Berlin lebenden Chemiker Otto Hahn (1879–1968) recht ungelegen. Im Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie in Berlin-Dahlem wurde wegen der bevorstehenden Weihnachtstage der Institutsbetrieb am Abend des 21. Dezembers beendet. Otto Hahn und sein Mitarbeiter Fritz Straßmann (1902–1980) mußten ihre aufregenden Versuche abbrechen. Die beiden Chemiker hatten entdeckt, daß bei der Bestrahlung des Urans mit Neutronen nicht Radium – ein natürliches Zerfallsprodukt des Urans – sondern Barium entstand. Otto Hahn waren diese Beobachtungen so wichtig, daß er

nicht die letzten bestätigenden Versuche abwartete, sondern sich zur sofortigen Veröffentlichung entschloß.

Am 22. Dezember 1938 war es soweit: Otto Hahn und Fritz Straßmann schickten ihre Arbeit „Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle“ an die Redaktion der Zeitschrift „Naturwissenschaften“. Ebenso vorsichtig wie der Titel der am 6. Januar 1939 erschienenen Publikation war auch die Aussage der historischen Entdeckung formuliert: „Als Chemiker müßten wir eigentlich sagen, bei den neuen Körpern handelt es sich nicht um Radium, sondern um Barium.“ (Zit. nach /1/, S.192) Erst in einer weiteren Arbeit vom 28. Januar 1939 bezeichneten die beiden Chemiker den beobachteten Effekt als „Uranspaltung“, da sie nun sicher waren, daß das Uranatom „zerplatzt“ und dabei Barium entstanden war.

Otto Hahns langjährige Mitarbeiterin Lise Meitner (1878–1968), die als Jüdin im Juli 1938 zur Flucht aus dem faschistischen Deutschland gezwungen war, konnte von Schweden aus die physikalische Erklärung dieser Beobachtungen liefern. Aus dem Masseverlust, der bei einer derartigen Atomkernspaltung eintritt, berechnete Lise Meitner zusammen mit dem dänischen Physiker Otto Frisch (1904–1979) den Energiebetrag, der nach Albert Einsteins Gleichung $E = mc^2$ zwangsläufig frei werden mußte (c ... Lichtgeschwindigkeit, m ... Masse, E ... Energie). Sie kamen zu dem Ergebnis, daß bei der Kernspaltung des Urans eine Energiemenge frei wird, die zweieinhalbmillionenmal größer ist, als die bei der Verbrennung von Steinkohle freiwerdende Energie.

Die Entdeckung der Kernspaltung des Urans leitete vor 50 Jahren eine Epoche ein, die wir heute „Atomzeitalter“ nennen. Diese historische Erkenntnis hatte sowohl eine interessante Vorgeschichte, als auch unermeßliche Folgen: Vor 200 Jahren, im Jahr 1789, fand der Berliner Chemiker und Apotheker Martin Heinrich Klaproth (1743–1807) an einem Mineral aus Johanngeorgenstadt ein neues Element. Er gab ihm den Namen Uran, nach dem acht Jahre zuvor von Herschel (1738–1822) entdeckten neuen Planeten Uranus. Der Planet wiederum ist nach dem griechischen Gott Uranos benannt (griech. uranos = Himmel), der in der griechischen Mythologie als der vergöttlichte Himmel, als Ahnherr des Göttergeschlechts gilt. Die erzgebirgischen Uranerze waren 1896 die Grundlage für die Entdeckung der natürlichen Strahlung durch Henry Becquerel (1852–1908) und 1898 für die Entdeckung der radioaktiven Elemente Polonium und Radium durch Marie und Pierre Curie (1867–1934 bzw. 1859–1906). In ihrer Doktorarbeit untersuchte Marie Curie die Radioaktivität verschiedener

**DIE
NATURWISSENSCHAFTEN**

UNTER MITWIRKUNG VON

A. BUTENANDT BERLIN-DANLBN	P. DEBYE BERLIN-DANLBN	F. K. DRESCHER-KADEN GÖTTINGEN	H. v. PICKER WIEN	R. GRAMMEL STUTTGART
O. HAHN BERLIN-DANLBN	M. HARTMANN BERLIN-DANLBN	F. KOGL UTRICHT	M. v. LAUE BERLIN	E. v. J. FAHLEN POTTSDAM
F. SAUERBRUCH BERLIN	H. SPERMANN BRUNNEN 1. DR.	H. STILLE BERLIN	F. v. WETTSTEIN BERLIN-DANLBN	

HERAUSGEGEBEN VON
FRITZ SÖFFERT

ORGAN DER GESELLSCHAFT DEUTSCHER NATURFORSCHER UND ARZTE
ORGAN DER KAISER WILHELM-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTEN
VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN W 9

HEFT 1 (SEITE 1-16) 6. JANUAR 1939 27. JAHRGANG

Abb. 1 Die Fachwelt erfährt von der sensationellen Entdeckung

Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle¹.

Von O. HAHN und F. STRASSMANN, Berlin-Dahlem.

In einer vor kurzem an dieser Stelle erschienenen vorläufigen Mitteilung² wurde angegeben, daß bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen außer den von HARTNER, HAHN und STRASSMANN im einzelnen beschriebenen Trans-Uranen — den Elementen 92 bis 96 — noch eine ganze Anzahl anderer Umwandlungsprodukte entstehen, die ihre Bildung offensichtlich einem sukzessiven zweimaligen α -Strahlenszerfall des vorübergehend entstandenen Urans 239 verdanken. Demselben solchen Zerfall muß aus dem Element mit der Kernladung 92 ein solches mit der Kernladung 88 entstehen, also im Natrium. In der genannten Mitteilung wurden in einem noch als vorläufig bezeichneten Zerfallsschema 3 stufartige member Radiumisotope mit ungefähr geschätzten Halbwertszeiten und ihren Umwandlungsprodukten, nämlich drei neutronen Actinonisotope, angegeben, die ihrerseits offensichtlich in Thorisotope übergehen.

Zugleich wurde auf die zunächst unerwartete Beobachtung hingewiesen, daß diese unter α -Strahlenspaltung einer ein Thorium sich bildenden Radiumisotope nicht nur mit schnellen, sondern auch mit verlangsamtten Neutronen entstehen.

Der Schluß, daß es sich bei den Anfangsgliedern dieser drei neuen neutronen Reihen von Radiumisotope handelt, wurde darauf begründet, daß diese Substanzen sich mit Bariumsalzen abschleiden lassen und alle Reaktionen zeigen, die dem Element Barium eigen sind. Alle anderen bekannten Elemente, angefangen von den Trans-Uranen über das Uran, Protactinium, Thorium bis zum Actinium haben andere chemische Eigenschaften als das Barium und lassen sich leicht von ihm trennen. Dasselbe trifft zu für die Elemente unterhalb Natrium, darunter Natrium, des Plutonium, Francium.

Es bleibt also, wenn man das Barium selbst außer Betracht läßt, nur das Radium übrig.

Im folgenden soll kurz die Abschlebung der Isotopengemische und die Gewinnung der einzelnen

Glieder beschrieben werden. Aus dem Aktivitätsverlauf der einzelnen Isotope ergibt sich ihre Halbwertszeit und lassen sich die daraus entstehenden Folgeprodukte ermitteln. Die letzteren werden in dieser Mitteilung aber im einzelnen noch nicht beschrieben weil wegen der sehr komplexen Vorgänge — es handelt sich um mindestens 3, wahrcheinlich 4 Reihen mit 3 Substanzen — die Halbwertszeiten aller Folgeprodukte bisher noch nicht erschöpfend festgestellt werden konnten.

Als Trägersubstanz für die „Radiumisotope“ dient naturgemäß immer das Barium. Am nächstliegenden war die Fällung des Bariums als Bariumsulphat, da neben dem Chromat schwerlösliche Bariumsalze. Nach früheren Erfahrungen und einigen Versuchen wurde aber von der Abscheidung der „Radiumisotope“ als Bariumsulphat abgesehen; denn diese Nachschlebung liefern neben geringen Mengen Uran nicht unbeträchtliche Mengen von Actinium- und Thoriumisotopen und also auch die unentwässerten Umwandlungsprodukte der Radiumisotope, und erlaubten daher keine Reinstellung der Ausgangsglieder. Statt der quantitativen, sehr oberflächentischen Sulfatfällung wurde daher das in starkem Salzsäure sehr schwer lösliche Bariumchlorid als Fällungsmittel gewählt, eine Methode, die sich bestens bewährt hat.

Bei der energetisch nicht leicht zu verstehenden Bildung von Radiumisotopen aus Uran beim Beschleßen mit langsamen Neutronen war eine besonders gründliche Bestimmung des chemischen Charakters der neu entstehenden künstlichen Radionucleide unerlässlich. Durch die Abtrennung einzelner analytischer Gruppen von Elementen aus der Lösung des bestrahlten Urans wurde außer der großen Gruppe der Transurane von Aktivität stets bei den Erdalkaliden (Trägersubstanz bei den seltenen Erden (Trägersubstanz La) und bei Elementen der vierten Gruppe des Periodischen Systems (Trägersubstanz Zr) getrennt. Einzelwörter untereucht wurden zunächst die Bariumfällungen, die offensichtlich die Anfangsglieder der beobachteten neutronen Reihen enthalten. Es soll gezeigt werden, daß Transurane, Uran, Protactinium, Thorium und Actinium

¹ Aus dem Kaiser Wilhelm Institut für Chemie in Berlin-Dahlem, Eingegangen 22. Dezember 1938.

² F. HAHN u. F. STRASSMANN, Naturwiss. 24, 297 (1938).

Gesteine und fand in der Pechblende, einem uranoxidhaltigen Mineral, regelmäßig die höchsten Werte. Am höchsten fand sie die Radioaktivität einer Pechblende aus Johannegeorgenstadt, gefolgt von einer Pechblendenprobe aus St. Joachimsthal (heute Jachymov) im böhmischen Erzgebirge.

Bereits wenige Jahre nach der Entdeckung der Radioaktivität wurde von den Atomforschern die Frage diskutiert, ob sich die im Atomkern vorhandenen Energien nicht technisch nutzbar machen lassen. Einige Wissenschaftler warnten eindringlich davor, hier weiter zu forschen. Ernest Rutherford (1871–1937) sagte bereits 1903: „Wenn ein geeigneter Zünder gefunden würde, ist es denkbar, daß sich durch die Materie eine Welle des atomaren Zerfalls explosiv fortpflanzt, die diese alte Erde in Asche verwandeln könnte... Irgendein Gimpel in seinem Laboratorium könnte unversehens die ganze Welt in die Luft sprengen“ (Zit. nach /1/, S. 49f). 1904 beschwor Frederick Soddy (1877–1956) seine Zuhörer in Manchester, mit ihm zu „hoffen, daß die Natur ihre Geheimnisse wahr“ (Zit. nach /1/, S. 50).

Die meisten Wissenschaftler ließen sich durch solche Warnungen nicht von ihren Forschungsarbeiten abbringen. In den 20er Jahren kam der Atomforscher Francis Aston

(1877–1945) zu dem Schluß, daß nach Einsteins Masse-Energie-Gleichung besonders dann hohe Energiebeträge frei werden müßten, wenn es gelänge, die Atomkerne der schwersten Elemente, wie z. B. Uran, in Kerne mittlerer Masse zu verwandeln. Als Aston dafür den mathematischen Beweis erbrachte, schrieb er angesichts der gigantischen Zahlenwerte: „Sollte jemals ein Weg hierzu gefunden werden, so kündigt sich dieses Ereignis wahrscheinlich durch die Entstehung eines neuen Sterns an . . .“ (Zit. nach /1/, S.130).

Die Entdeckung Otto Hahns von 1938 hat tatsächlich dazu geführt, daß wir heute in der Gefahr eines weltweiten atomaren Infernos leben.

Nachdem man wußte, daß bei den Prozessen der Uranspaltung ungeheuerere Energiemengen frei werden, stand das Uran plötzlich vor allem im militärischen Interesse. Im faschistischen Deutschland wurde seit Beginn des zweiten Weltkrieges am Bau einer Atombombe gearbeitet. In einem Uranerzaufbereitungsbetrieb in Oranienburg bei Berlin wurden Häftlinge des KZ Sachsenhausen und Kriegsgefangene gezwungen, das radioaktive Material zu verarbeiten. In Deutschland führten diese Arbeiten glücklicherweise nicht zu dem gewünschten Ergebnis (vgl. hierzu /1/, Kap. XII „Nazideutschland droht mit der Atombombe“).

Mit der Nachricht über den Abwurf der amerikanischen Atombomben auf die japanischen Städte Hiroshima und Nagasaki im August 1945 erfuhr die Weltöffentlichkeit, daß auch in den USA entsprechende Arbeiten durchgeführt worden waren. Hunderttausende Menschen starben in Hiroshima und Nagasaki qualvoll an den schrecklichen Auswirkungen der Atombombenexplosionen.

Der gefährliche atomare Rüstungswettlauf, der 1939 zwischen Deutschland und den USA begann und ab 1942, als auch die UdSSR ihre Anstrengungen auf den Bau einer Atombombe richtete, in erster Linie zwischen den USA und der UdSSR fortgesetzt wurde, rückte mit diesen Atombombenabwürfen in das Bewußtsein der Weltöffentlichkeit (vgl. /2/).

Bis zum Jahr 1954 – dem Jahr der Inbetriebnahme des ersten Atomkraftwerkes der Welt in Obninsk bei Moskau – diente das Uran ausschließlich der Atomwaffenherstellung.

Auf dem Gebiet der DDR wurde sehr bald nach dem zweiten Weltkrieg mit dem Uranerzabbau begonnen. Im Juni 1946 wurde zum Uranerzabbau auf dem Gebiet der DDR die Sowjetische Aktiengesellschaft (SAG) Wismut gegründet. Einerseits war nach dem Kontrollratsgesetz der Alliierten vom Mai 1946 den Deutschen die Erforschung und Nutzung der Kernkraft verboten, andererseits brauchte die Sowjetunion selbst dringend Uran, denn sie wollte dem Atombombenmonopol der USA durch die Herstellung eigener Atombomben entgegenwirken. Auch waren damals in der Sowjetunion noch wenige Uranerzvorkommen bekannt, während die reichen Uranerzvorkommen im Erzgebirge durch den vorangegangenen Silber- und Wismutbergbau bereits bergbaulich erschlossen waren. Wahrscheinlich sollte der Name „Wismut“ zu Anfang den Uranbergbau als Wismutbergbau tarnen, denn der Uranbergbau auf dem Gebiet der DDR begann nach dem zweiten Weltkrieg in der Umgebung von Schneeberg und Johanngeorgenstadt, genau dort, wo während des Krieges die Wismutvorkommen intensiv abgebaut wurden. Am 1. 1. 1954 wurde die SAG Wismut in Sowjetisch-Deutsche Aktiengesellschaft (SDAG) Wismut umbenannt und unter DDR-Beteiligung weitergeführt.

Der Uranbergbau auf dem Gebiet der DDR begann im westlichen Erzgebirge, um Johanngeorgenstadt, Schneeberg, Aue, Schwarzenberg und Marienberg. Heute arbeiten im Erzgebirge nur noch die Schächte bei Schlema und bei Pöhla. Ein kleineres Uranabbaugebiet entstand im Elbsandsteingebirge bei Königstein.

In Ostthüringen, um Ronneburg, wird seit 1953 Uranerz abgebaut. In den 50er und 60er Jahren, als sich hier das größte Uranabbaugebiet Europas befand, wurde in vier großen Tage-

bauen abgebaut. Heute befinden sich hier Tiefbau-Schächte der Bergbaubetriebe Schmirchau, Reust, Paitzdorf, Beerwalde und Drosen.

Es gibt einen Uranerzaufbereitungsbetrieb der SDAG Wismut in Crossen bei Zwickau und einen in Seelingstädt, südlich von Ronneburg.

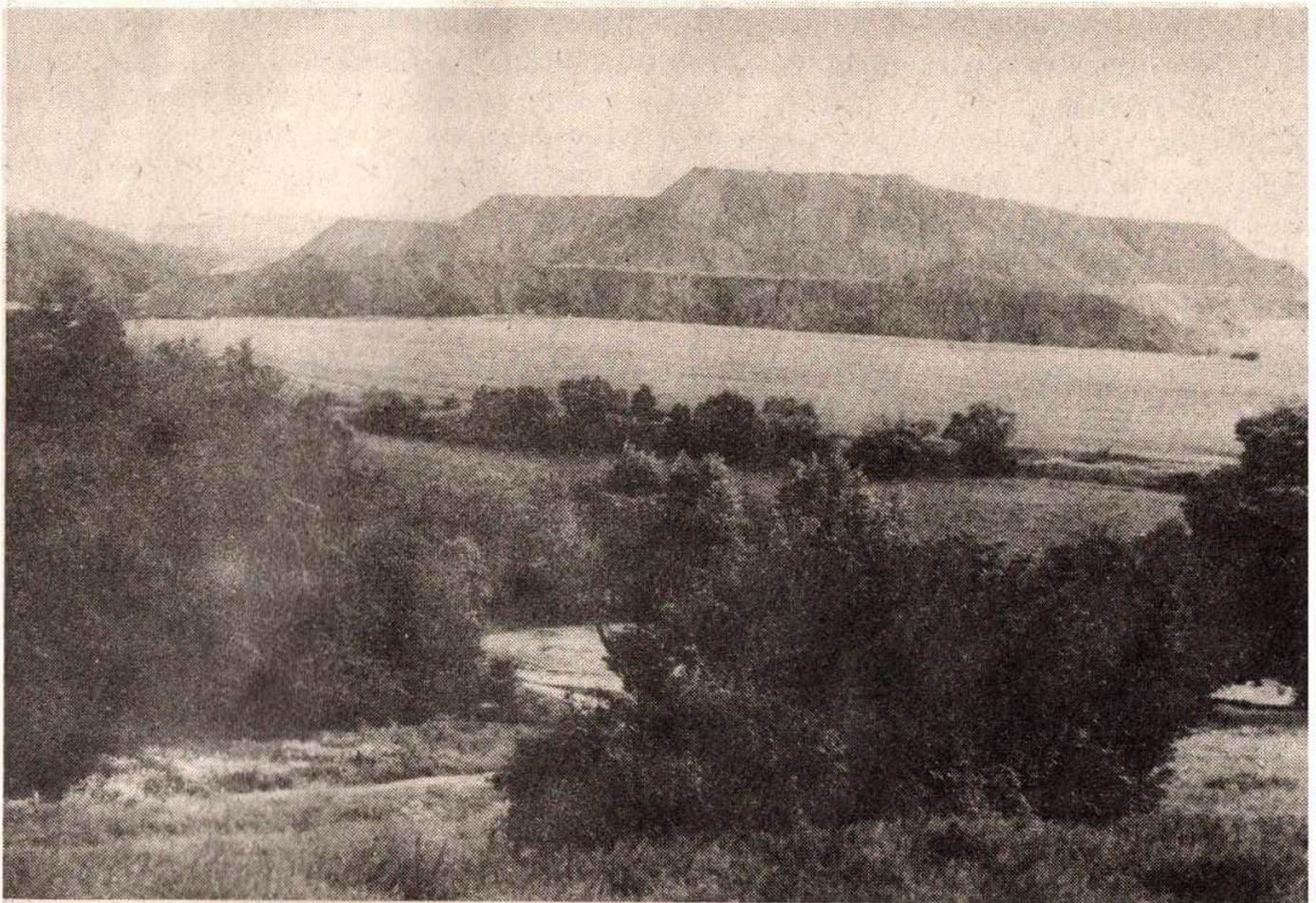


Abb. 2 Landschaftsveränderungen durch den Uranbergbau im Ronneburger Gebiet

- Der durchschnittliche Uran-Gehalt der Erdkruste beträgt 2 Gramm/Tonne (0,0002 % Uran). Weltweit wird Uran heute aus Erzen gewonnen, deren Uran-Gehalt zwischen 400 g und 10 kg Uran je Tonne Erz (0,04 bis 1 % Uran) schwankt. Uranerz mit einem Anteil von unter 0,04 % Uran wird als „Abfallerz“ auf Halde gekippt, da sich die Aufbereitung hier nicht mehr rentiert. Diese Abfallerzhalden können demnach eine Urankonzentration aufweisen, die bis zu 200mal höher ist, als die durchschnittliche Urankonzentration der Gesteine und Erden.
- Auch dem Uranbergbau mußten ganze Ortschaften weichen. Die Dörfer Schmirchau, Gessen, Lichtenberg, Culmitzsch und Helmsdorf sowie die Altstadt von Johannegeorgenstadt sind Beispiele dafür.
- Umwelt- und Gesundheitsprobleme ganz anderer Qualität ergeben sich aus der Radioaktivität des zu Tage geförderten Uranerzes. Da sich seit der Entstehung der Materie unseres Sonnensystems das Uran beim radioaktiven Zerfall ständig in andere Elemente umwandelt, kommt das natürliche Uran nur in Verbindung mit seinen radioaktiven Zerfallsprodukten vor (siehe Abb. 3).
- Das Gefahrenpotential des Uranbergbaus resultiert daraus, daß das Uran mit seinen festen,

wasserlöslichen und gasförmigen radioaktiven Zerfallsprodukten durch den Bergbau an die Erdoberfläche gelangt und ein großer Teil davon bei den einzelnen Arbeitsschritten an die Umwelt abgegeben wird. „Eine Analyse ergibt, daß in der DDR gegenwärtig und in Zukunft neben dem Strahlenschutz in der Umgebung von Kernanlagen vor allem den im Zusammenhang mit dem Uranbergbau stehenden Strahlenschutzproblemen der Umwelt besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden muß, da beim Uranbergbau, der auf einem großen Teil des DDR-Territoriums mit großer Intensität betrieben wird, beträchtliche Mengen radioaktiv kontaminierter Abprodukte (Abraum, Abwasser) anfallen.“ (Zit. nach /3/)

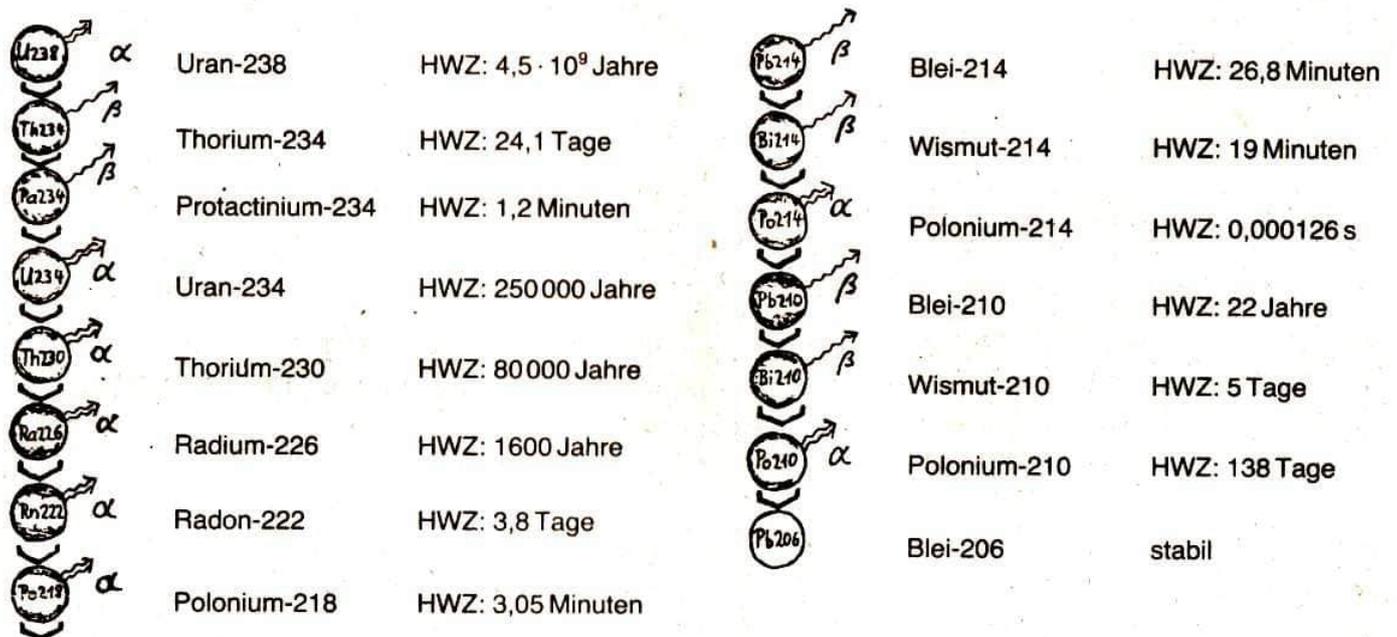


Abb. 3 Zerfallsreihe des Uran-238

Die Strahlungsgefährlichkeit der einzelnen Radionuklide ist wegen den verschiedenen Strahlungsarten, physikalischen und chemischen Eigenschaften sowie den daraus resultierenden differenzierten biologischen Wirkungen sehr unterschiedlich.

Der größte Teil der Uran-Zerfallsprodukte sowie das Uran selbst sind Alpha-Strahler. Obwohl die Alpha-Teilchen (Helium-Kerne) nur eine Reichweite von ca. 0,1 mm im menschlichen Gewebe haben, wird deren Strahlungsgefährlichkeit (relative biologische Wirksamkeit) mit dem 20fachen der Beta- oder Gammastrahlung angegeben. Wegen ihrer relativen Größe und Masse haben die Alpha-Teilchen eine außerordentlich große ionisierende Wirkung auf die lebenden Zellen.

Die radioaktiven Nuklide werden dann besonders gefährlich, wenn sie durch Atmung oder Nahrungsaufnahme im Organismus abgelagert (inkorporiert) werden. Bedingt durch ihre physikalischen oder chemischen Eigenschaften lagern sich die einzelnen Radionuklide in unterschiedlichen Organen ab. Die meisten dieser radioaktiven Stoffe werden nicht sofort wieder ausgeschieden, sondern reichern sich in den betreffenden Organen an. Es kann daher zu einer hohen Strahlenbelastung dieser Organe kommen. Da so über größere Zeiträume hinweg immer wieder dasselbe Gewebe bestrahlt wird, ist die Inkorporation radioaktiver Stoffe mit dem Risiko der Krebsentstehung verbunden.

Bei der Umwelt- und Gesundheitsgefährdung durch den Uranbergbau spielen die Isotope Radium-226 und Radon-222 eine besondere Rolle. Das stark radioaktive Radium kommt in wasserlöslichen Verbindungen vor; diese werden aus uranhaltigen Gestein ausgewaschen

und können bis in das Grundwasser versickern. Beim Menschen reichert sich Radium in den Knochen an und kann von dort aus das blutbildende Knochenmark bestrahlen. Höhere Radiumbelastungen sind demzufolge mit einer entsprechenden Erhöhung der Leukämie- (Blutkrebs-)rate verbunden. So wurde in der Umgebung des Uranerzaufbereitungsbetriebes in Ellweiler (BRD) festgestellt, daß hier Leukämie bei Kindern 2,5mal häufiger auftritt als im Durchschnitt der BRD.

Radon ist ein radioaktives Edelgas, welches beim radioaktiven Zerfall des Radium-226 ständig neu gebildet wird. Dieses Gas ist schwerer als Luft; es kommt also im Schacht, und bei ruhigen Wetter auch in Bodennähe, zu höheren Konzentrationen. Das Radon zerfällt in wiederum feste radioaktive Nuklide, die in radonhaltiger Luft im Aerosolzustand (Gemisch aus kleinsten festen und flüssigen Teilchen mit Luft) enthalten sind. Diese Radon-Zerfallsprodukte bleiben, wenn sie eingeatmet werden, in der Lunge haften. Sie sind die Hauptursache der erhöhten Lungenkrebsrate der Uranbergarbeiter. So soll z. B. im Schneeberger Bergbaugesamt um das Jahr 1925 bei ca. 71 % der gestorbenen Bergleute Lungenkrebs die Todesursache gewesen sein. (Vgl. hierzu /4/).

Der Zeitdruck des beginnenden atomaren Wettrüstens zwischen den USA und der UdSSR bedingte eine fieberhafte Hektik im erzgebirgischen Uranbergbau nach 1945. In dieser Situation während der ersten Nachkriegsjahre spielten die arbeitshygienischen Bedingungen im Uranbergbau so gut wie keine Rolle. Es wurde trocken gebohrt, so daß die Bergarbeiter ständig den radioaktiven Staub einatmen mußten! Mit dem Beginn des atomaren Rüstungswettlaufes „wendeten sich Personen und Institutionen der Uransuche und Urangewinnung zu, die nichts von den gesundheitlichen Gefahren des Uranbergbaus und der Uranverarbeitung wußten“ schreibt G. Fuchs in /5/. Da die Latenzzeit vom Beginn der Einwirkung einer krebsinduzierenden Substanz bis zur klinischen Manifestation einer Krebserkrankung 16–26 Jahre beträgt, werfen die „wilden Jahre“ des Uranbergbaus nach 1945 ihre dunklen Schatten bis in unsere Zeit hinein.

Seit Mitte der 50er Jahre wurde bei der SDAG Wismut verstärkt in den Arbeitsschutz investiert. Durch die Einführung von Naß-Bohrverfahren, Anfeuchten des Gesteins und durch verbesserte Grubenbelüftung ist die Strahlenbelastung der Uranbergarbeiter deutlich verringert worden. Solche Maßnahmen können die Strahlenbelastung der Bergarbeiter jedoch nur begrenzt herabsetzen, denn die Luft im Bergwerk kann von den radioaktiven Substanzen nie völlig freigehalten werden, und die Gamma-Strahlung aus dem Gestein läßt sich nicht verhindern. Ein Bergbaugeologe, der zur geologischen Erkundung im Ronneburger Gebiet einen Radioaktivitätszähler mit Kopfhörer bei sich hatte, sagte, daß das tickende Geräusch unter Tage in ein rasendes Knattern und an vielen Stellen sogar in einen Pfeifton übergeht (vergl. /6/). Die Maßnahmen zum Schutz der Bergarbeiter verlagern jedoch das Problem – die radioaktiven Substanzen – in die Umwelt. Die Abwässer, die sich bei dem Naß-Bohrverfahren und beim Anfeuchten des Gesteins im Schacht ansammeln und mit den radioaktiven Substanzen verunreinigt sind, werden zusammen mit Wässern aus angeschnittenen Grundwasserhorizonten als Grubenabwässer an die Erdoberfläche gepumpt. Sie werden in Bäche geleitet, die ihrerseits Flüsse radioaktiv belasten, so die Weiße Elster, die Pleiße und die Zwickauer Mulde. Es gibt bisher keine einsetzbare Technologie, um die löslichen Uran- und Radiumverbindungen zurückzuhalten. Da man an den radioaktiv belasteten Bächen, z. B. der Wipse und der Sprotte, nach wie vor Schafe und Rinder weiden läßt – und die Tiere auch regelmäßig aus diesen Bächen saufen – können die radioaktiven Substanzen hier über Nahrungsketten bis zum Menschen transportiert werden (vergl. /6/).

Die Abluft, die durch die Wetterführung aus den Bergwerken geblasen wird, enthält Radon

und seine Zerfallsprodukte, sowie auch radioaktive Stäube. Solche Entlüftungsanlagen, die sich z. B. bei Ronneburg in unmittelbarer Nähe von Stadt und Rinderweiden befinden, führen zu einem Anstieg der Radioaktivität der Umgebung.

Das, auch auf lange Sicht betrachtet, größte Umweltproblem sind die Schlammdeponien (Absetzanlagen) der Aufbereitungsbetriebe. In den Uranerzaufbereitungsbetrieben wird das hochprozentige Uranerz in Gesteinsmühlen fein vermahlen und anschließend mit Schwefelsäure oder einem Soda-Gemisch das Uranoxid herausgelöst. Die Rückstände werden als Schlamm in die mehrere Quadratkilometer großen Schlammabsetzanlage gepumpt. Solche Schlammabsetzanlagen befinden sich bei Oberrothenbach (nordwestlich von Zwickau) und bei Seelingstädt (südlich von Ronneburg).

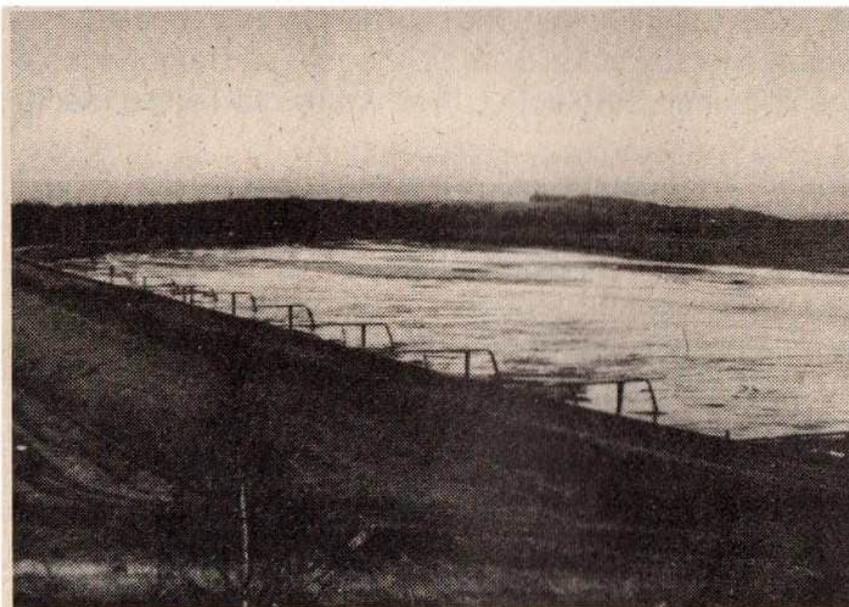


Abb. 4 Blick auf einen Teil der Schlammabsetzanlage Oberrothenbach

Da während des Aufbereitungsprozesses nur das Uran aus dem Erz herausgelöst wird, nicht aber die Uran-Zerfallsprodukte, verbleiben bis zu 85 % der Radioaktivität des Uranerzes in den Erzabfällen. Pro Tonne aufbereitetem Uranerz entsteht so eine Tonne Schlamm (schwach radioaktiver Atommüll), der unter freiem Himmel abgelagert wird. Große Mengen Radon können hier ungehindert in die Luft entweichen, Radium kann bis in das Grundwasser versickern und bei trockenem Wetter werden Stäube vom Winde verweht. Gemäß der „Anordnung zur Gewährleistung des Strahlenschutzes bei Halden und industriellen Absetzanlagen und bei der Verwendung darin abgelagerter Materialien“ (GBl. I, Nr. 34/1980) müssen diese Absetzanlagen nach ihrer Stilllegung mit einer Erdschicht abgedeckt werden. Der Untergrund kann jedoch nicht nachträglich abgedichtet werden; hier lassen sich die Entscheidungen der 50er und 60er Jahre nicht mehr korrigieren.

Da selbst die natürliche Strahlung bereits eine Ursache für die normale Krebs- und Mutationsrate ist, bewirkt jede durch menschliches Tun verursachte Erhöhung der Strahlenbelastung eine entsprechende Erhöhung der Krebs- und Mißbildungsrate in der menschlichen Gesellschaft. Seit der Tagung des Internationalen Rates für Strahlenschutz (ICRP) in Como gilt als sicher, daß die Gefährdung durch radioaktive Strahlung bisher stark unterschätzt wurde. Diese wissenschaftlichen Erkenntnisse sollten in den gültigen Rechtsvorschriften schnell berücksichtigt werden.

Das Isotop Uran-235 – das im natürlichen Uran zu 0,7 % enthalten ist – ist das einzige spaltbare Isotop, das in der Natur vorkommt. Das Uran ist daher die Grundlage für die Anwen-

derung der Kernenergie sowohl im militärischen als auch im zivilen Bereich. Bei der Beurteilung der Gefahren der Kernenergieanwendung wie auch des Uranabbaus selbst, sollten die neuesten Erkenntnisse der Medizin, der Biologie, der Ökologie, der Physik und der Chemie gleichzeitig berücksichtigt werden, um verantwortbare Zukunftsentscheidungen treffen zu können.

Der ukrainische Arzt und Schriftsteller Jurij Stscherbak schreibt 1987 (in „Junost“, Moskau, Juni/Juli 1987): „. . . werin als höchster Heldenmut auf den verschiedenen hierarchischen Stufen unseres Staates nach wie vor nur widerspruchslose Unterwerfung gilt und nicht das schöpferische Gegeneinanderhalten von unterschiedlichen frei ausgesprochenen Meinungen – dann wird das bedeuten, daß wir nichts gelernt haben und daß die Lehren von Tschernobyl vergeblich waren.“

Literatur:

- /1/ K. Hoffmann „Otto Hahn, Stationen aus dem Leben eines Naturforschers“, Berlin 1987
- /2/ I. N. Golowin „I. W. Kurtschatow, Wegbereiter der sowjetischen Atomforschung“, Leipzig 1976

Die Liste der weiteren Literaturangaben kann auf Wunsch zugesandt werden.

Dr. Lutz Wendler
Dr. Elke Wendler
 Friedrich-Schiller-Universität Jena
 Sektion Physik

Quantum-Wells und Supergitter – neue Halbleiterstrukturen für Mikro- und Optoelektronik (Teil 5)

6. Anwendung von Halbleiter-Mikrostrukturen in der optischen Nachrichtenübertragung

6.1. Nachrichtenübertragung mit Glasfasern

Das Prinzip eines optischen Nachrichtenübertragungssystems ist in Abb. 16 schematisch dargestellt. Das Licht, dem die zu übertragende Information aufmoduliert ist, geht von einem Sender, dem noch zu besprechenden Halbleiterlaser, aus und wird in eine Glasfaser eingespeist. Solche Glasfasern sind ungefähr 0,1 mm dick. Sie bestehen aus einem Kern, dessen Brechzahl größer ist als die des ihn umgebenden Mantels. Durch dieses Brechzahlprofil wird das Licht im Kern der Faser geführt. Das kann man sich so vorstellen, daß das Licht am niedrigbrechenden Mantel total reflektiert wird und somit sich innerhalb des Kerns entlang der Glasfaser ausbreitet. Am Ende der Glasfaserstrecke, die mehrere Kilometer lang sein kann, befindet sich eine Photodiode, die das optische Signal in ein elektrisches umwandelt. Dieses elektrische Signal wird dann von mikroelektronischen Bauelementen weiterverarbeitet.

Das Licht, dem die zu übertragende Information aufmoduliert ist, geht von einem Sender, dem noch zu besprechenden Halbleiterlaser, aus und wird in eine Glasfaser eingespeist. Solche Glasfasern sind ungefähr 0,1 mm dick. Sie bestehen aus einem Kern, dessen Brechzahl größer ist als die des ihn umgebenden Mantels. Durch dieses Brechzahlprofil wird das Licht im Kern der Faser geführt. Das kann man sich so vorstellen, daß das Licht am niedrigbrechenden Mantel total reflektiert wird und somit sich innerhalb des Kerns entlang der Glasfaser ausbreitet. Am Ende der Glasfaserstrecke, die mehrere Kilometer lang sein kann, befindet sich eine Photodiode, die das optische Signal in ein elektrisches umwandelt. Dieses elektrische Signal wird dann von mikroelektronischen Bauelementen weiterverarbeitet.

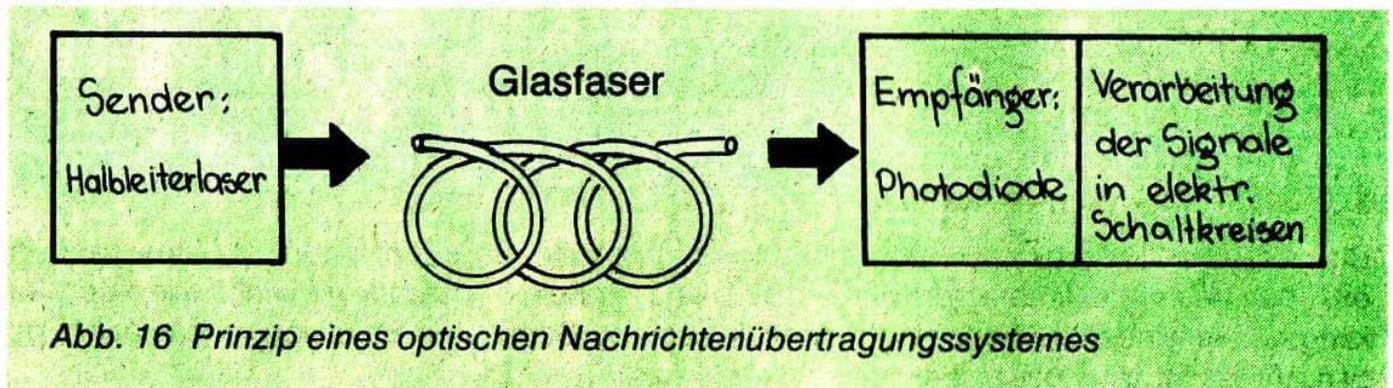


Abb. 16 Prinzip eines optischen Nachrichtenübertragungssystems

Die Eigenschaften der Glasfaser bestimmen nun wesentlich die Anforderungen, die Sender und Detektor erfüllen müssen. Da man am Ende der Übertragungsstrecke durch die Glasfaser natürlich noch ein Signal empfangen will, muß die Signalübertragung bei solchen Wellenlängen geschehen, bei denen die Glasfaser möglichst wenig Licht absorbiert. In Abb. 17 ist die Dämpfung einer typischen Glasfaser in Abhängigkeit von der Wellenlänge aufgetragen. Dabei bedeutet eine Dämpfung von 1 db/km, daß die Ausgangsleistung des Lichtes nach einem Kilometer um 20,64 % abgefallen ist. Man sieht, daß es für die Dämpfung von Licht in einer Glasfaser zwei Minima gibt: eines bei $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$ mit 0,6 db/km und eines bei $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$ mit 0,2 db/km, die als Übertragungsfenster bezeichnet werden.

Neben der Dämpfung gibt es noch eine zweite Größe, die die Leistungsfähigkeit eines Übertragungssystems begrenzt. Diese Größe ist die Dispersion der Glasfaser, durch die sich der Lichtimpuls bei seiner Ausbreitung durch die Faser verbreitert. Das führt dazu, daß aufeinanderfolgende Impulse ineinanderlaufen und somit Informationen verlorengehen. Daher ist man gezwungen, nach einer bestimmten Glasfaserstrecke das durch Dämpfung geschwächte und Dispersion verformte Signal in einem sogenannten Repeater zu verstärken und aufzuarbeiten. Es ist nun leicht einzusehen, daß Nachrichtenübertragungssysteme nur

dann wirtschaftlich sind, wenn der Repeaterabstand genügend groß ist. Da bei den bereits erwähnten Übertragungsfenstern bei $1,3 \mu\text{m}$ und $1,55 \mu\text{m}$ die Dispersion ebenfalls sehr klein ist, insbesondere bei $1,55 \mu\text{m}$, ist man bei der Nachrichtenübertragung mit Glasfasern auf diese Wellenlängen festgelegt. Bei $1,55 \mu\text{m}$ benötigt man ca. alle 100 bis 120 km einen Repeater. Vergleicht man das mit dem Repeaterabstand für Koaxialkabel im Telefonnetz, wo dieser bei ca. $1,5 \text{ km}$ liegt, so wird die enorme ökonomische Potenz von Glasfaserstrecken insbesondere für Überlandstrecken und Unterwasserkabel deutlich.

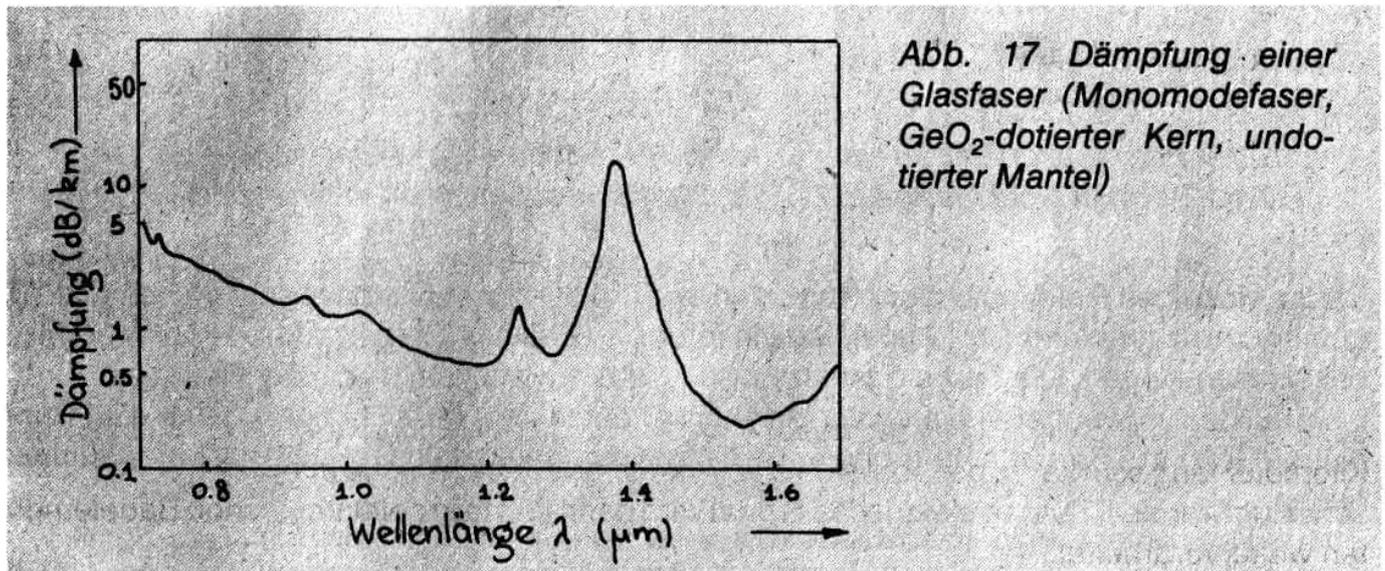


Abb. 17 Dämpfung einer Glasfaser (Monomodefaser, GeO_2 -dotierter Kern, undotierter Mantel)

Im folgenden wollen wir zeigen, wie man mit Hilfe von Halbleitermikrostrukturen sowohl Sender (Halbleiterlaser) als auch Empfänger (Photodioden) realisieren kann, deren Arbeitswellenlänge gerade bei $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$ oder bei $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$ liegt.

6.2. Der Multiquantum-Well-Laser

Das aktive Element einer Nachrichtenübertragungsstrecke ist der Sender, in unserem Fall ein geeigneter Halbleiterlaser. Wir wollen hier aber keine ausführliche Diskussion der Wirkungsweise eines LASER's (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) geben. Vielmehr ist es unser Ziel zu sehen, welche Möglichkeiten für die Halbleiterlaser durch die Halbleitermikrostrukturen gegeben sind.

Grundlage aller Halbleiterlaser ist die strahlende Rekombination eines Elektron-Loch-Paares über die Bandlücke hinweg (siehe Informationskasten 1). Fällt ein Elektron aus dem Leitungsband in ein Loch im Valenzband zurück, dann wird im Fall der strahlenden Rekombination ein Photon der (Kreis-)Frequenz $\omega = 2\pi E_g/h$ freigesetzt. Die für den Laserbetrieb notwendige stimulierte Lichtemission erfordert eine Inversion der Besetzung der beteiligten Energieniveaus. Bei einer konventionellen Laserdiode erzielt man die Besetzungsinversion, indem man die Eigenschaften eines p-n-Übergangs ausnutzt. Solche Halbleiterdioden sind Homostrukturbauelemente, d. h. sie bestehen aus einem Halbleitermaterial. Ausgangspunkt für eine solche Laserdiode ist zunächst eine einfache lichtemittierende Diode (LED: Light Emitting Diode), die man auch als Lumineszenzdiode bezeichnet.

Legt man eine p-n-Diode eine Spannung an, wobei der Minuspol an das n-Gebiet und der Pluspol an das p-Gebiet angeschlossen wird, dann werden die Elektronen vom n- ins p-Gebiet und die Löcher vom p- ins n-Gebiet diffundieren. Innerhalb der sogenannten Rekombinationszone von einigen Mikrometern Breite rekombinieren die Ladungsträger und es wird Licht emittiert (Abb. 19).

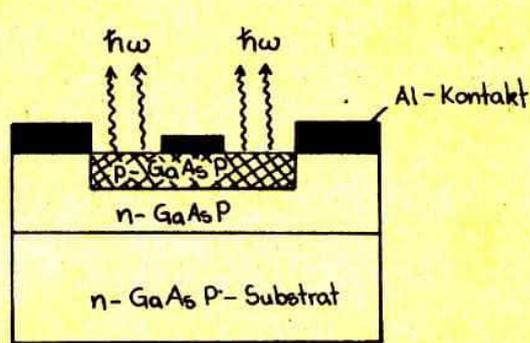


Abb. 18 Prinzipieller Aufbau einer LED am Beispiel einer GaAs-LED

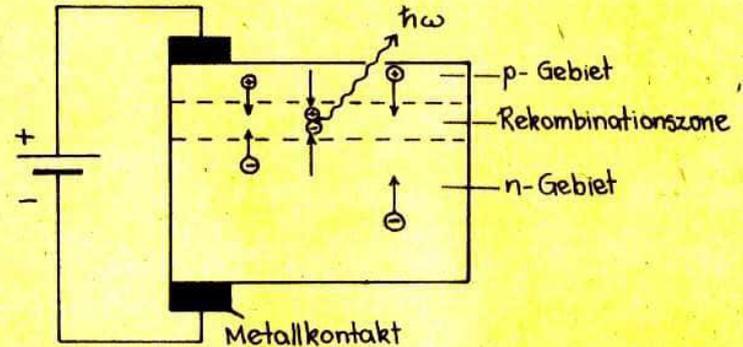


Abb. 19 Schematische Darstellung der physikalischen Mechanismen in einer LED

Da die einzelnen Rekombinationen spontan und unabhängig voneinander stattfinden, ist die Lumineszenzstrahlung der Leuchtdiode inkohärent. Das Licht zeigt dadurch spontane Phasenschwankungen. Die Farbe des emittierten Lichtes richtet sich nach der Größe der Bandlücke E_g des verwendeten Materials. Man kennt heute rote (GaAsP), grüne, gelbe (GaP) und blaue (GaN) LED's, die eine große Verbreitung in den verschiedenen Bereichen gefunden haben.

Um nun aus einer Lumineszenzdiode einen Halbleiterlaser zu erhalten, muß das emittierte Licht durch mehrmaliges Durchlaufen der Rekombinationszone verstärkt werden. Das Hin- und Herlaufen des Lichts erreicht man in den meisten Fällen durch zwei parallele Spiegelflächen, die bei der Spaltung des Kristalls entstehen und so einen optischen Resonator bilden. Damit ist erst die Voraussetzung für den Laserprozeß, die stimulierte Emission von kohärentem, d. h. phasenstarrtem Licht, gegeben. Die Rekombination von Elektron-Loch-Paaren verursacht eine weitere Diffusion von Elektronen und Löchern. Der dabei fließende Strom wird als **Injektionsstrom** bezeichnet. Die Besetzungsinversion wird durch entsprechend hohe Injektion von Ladungsträgern erreicht. Die zum Erreichen des Laserbetriebs notwendige Stromdichte wird als **Schwellstromdichte** bezeichnet. Damit sind die zwei für den Laserbetrieb notwendigen Voraussetzungen genannt:

- Besetzungsinversion durch genügend hohe Injektionsströme und
- Verstärkung innerhalb eines optischen Resonators (Fabry-Perot-Resonator).

Ein großes Problem dieser konventionellen Halbleiterlaser ist der sehr hohe Schwellstrom von ca. 50 bis 100 kA/cm². Die damit verbundene starke thermische Belastung kann schnell zur Zerstörung des Bauelements führen. Deshalb konnten solche Laser am Anfang nur bei tiefen Temperaturen und im Impulsbetrieb betrieben werden.

Eine entscheidende Verringerung gelang erst durch die Verwendung der **Doppelheterostruktur-(DHS)-Laser**. Der prinzipielle Aufbau einer solchen Struktur ist in Abb. 20 dargestellt. Die aktive Laserschicht besteht aus einem Halbleitermaterial mit kleiner Bandlücke. Diese Schicht wird von zwei Halbleitern mit größerer Bandlücke begrenzt. Während die aktive Schicht schwach p-dotiert oder undotiert ist, wird einer der beiden eingrenzenden Halbleiter p- und der andere n-dotiert. Damit entsteht eine DHS. Genau wie im Fall der einfachen p-n-Laserdiode wird eine Spannung an die DHS angelegt. Dadurch fließen die Löcher vom p-Gebiet und die Elektronen vom n-Gebiet in die aktive Schicht, wo sie rekombinieren. Wie aus Abb. 20 ersichtlich ist, ist die Rekombination durch die vorhandenen Potentialbarrieren für die Elektronen und Löcher auf die aktive Schicht allein begrenzt.

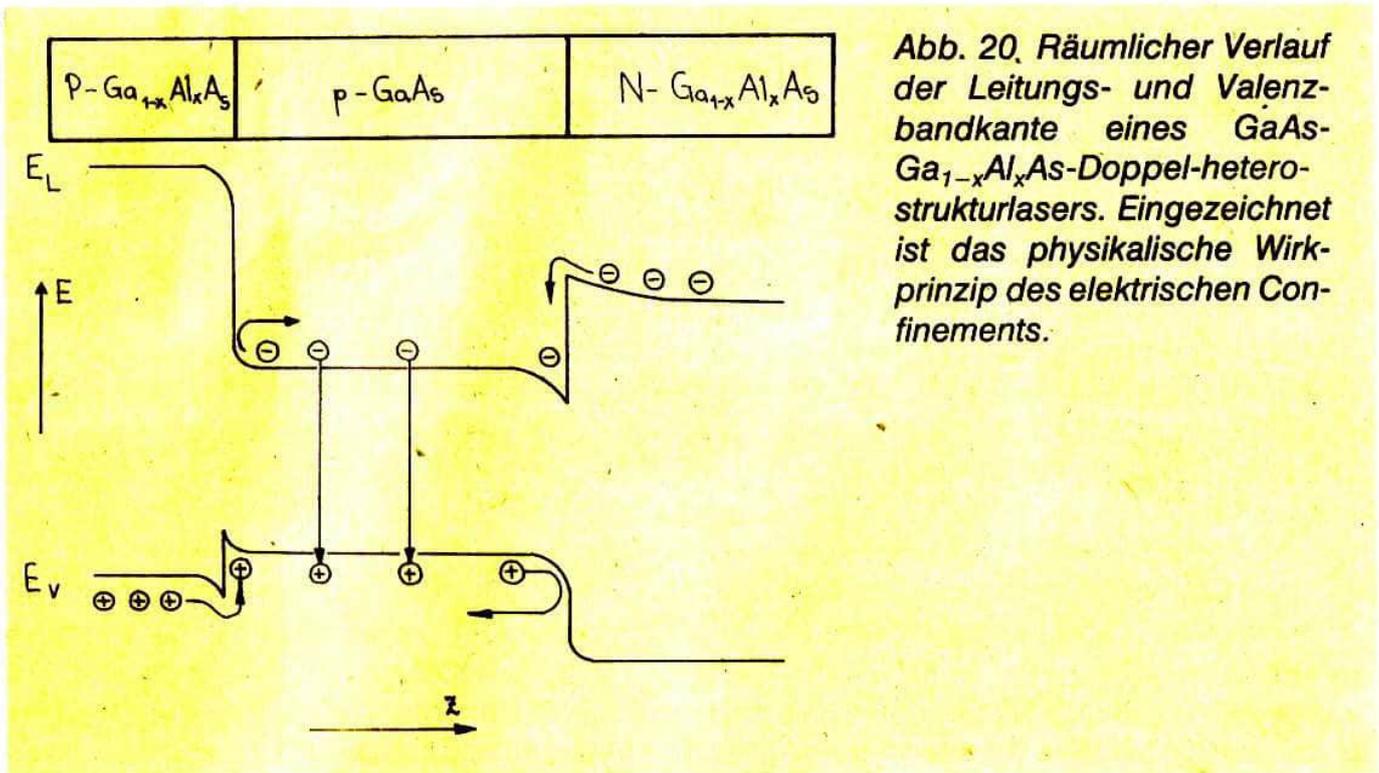


Abb. 20. Räumlicher Verlauf der Leitungs- und Valenzbandkante eines GaAs-Ga_{1-x}Al_xAs-Doppelheterostrukturlasers. Eingezeichnet ist das physikalische Wirkprinzip des elektrischen Confinements.

Diesen Umstand bezeichnet man als **elektrisches Confinement** (= Eingrenzung). Da die Schicht sehr dünn ist, können die zum Laserprozeß erforderlichen Elektronen- und Löcherdichten schon bei einem wesentlich geringeren Injektionsstrom erreicht werden. Die typischen Schwellströme liegen im Bereich von 500 . . . 1000 A/cm¹.

Die DHS besitzt aber noch einen weiteren Vorteil. Die Emissionsrate für die stimulierte Emission hängt von der Besetzungsinversion der beteiligten Energieniveaus aber auch von der Dichte der Photonen im aktiven Gebiet ab. Schaut man sich den in Abb. 21 gezeigten Brechzahlverlauf durch eine DHS an, dann sieht man, daß diese für das Licht eine Wellenleiterstruktur besitzt.

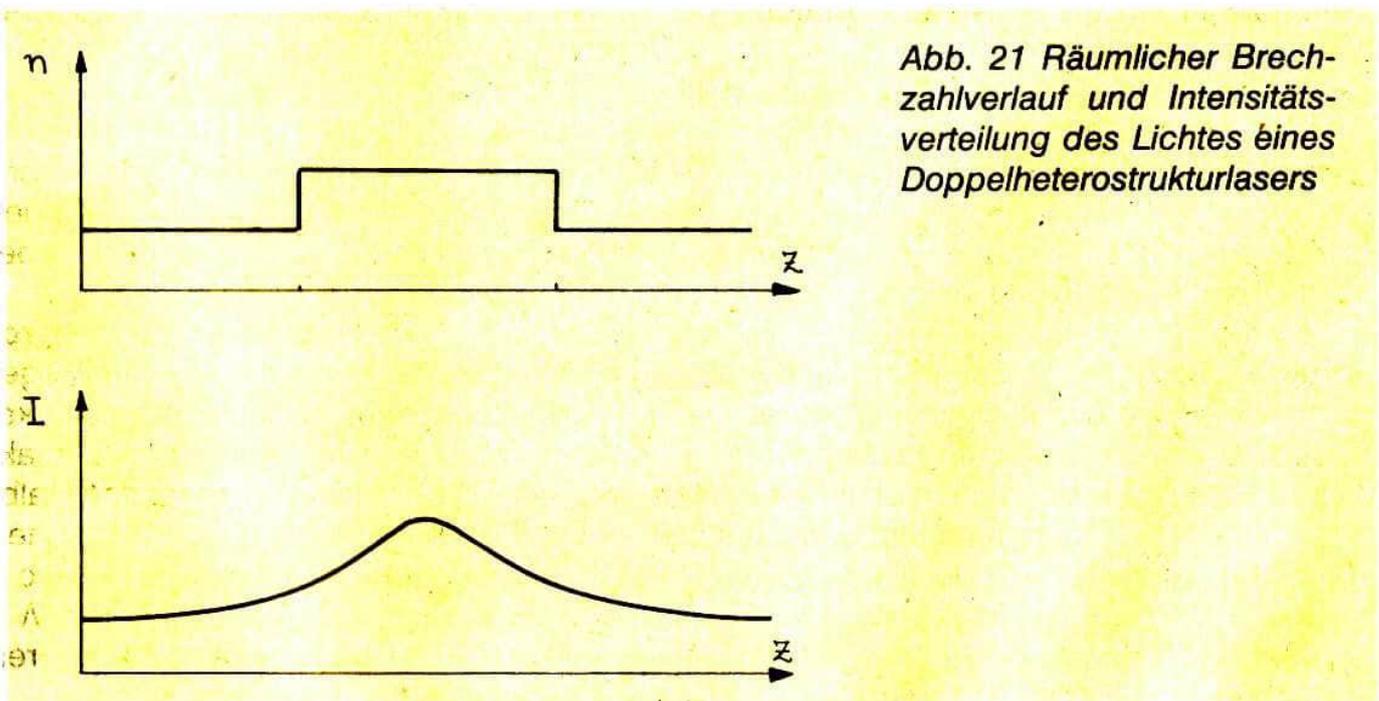
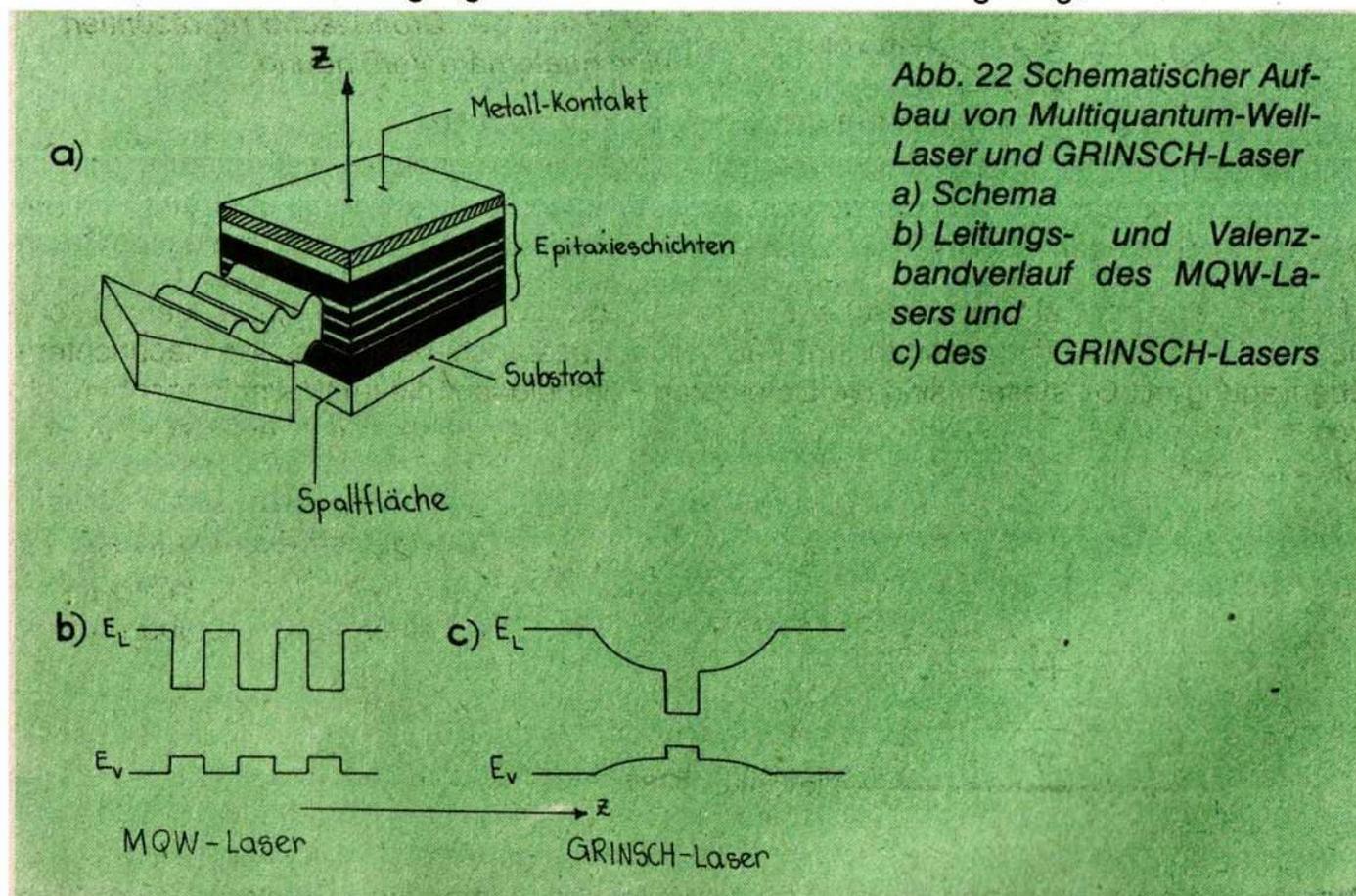


Abb. 21 Räumlicher Brechzahlverlauf und Intensitätsverteilung des Lichtes eines Doppelheterostrukturlasers

Solch eine Brechzahlverteilung bewirkt nämlich die Führung des Lichts ins höherbrechende Medium, wie wir es bereits bei der Glasfaser kennengelernt haben. Damit wird das Licht gerade auf den aktiven Bereich begrenzt. Diese Tatsache bezeichnet man als **optisches Confinement**. Die großen Vorteile des DHS-Lasers gegenüber der einfachen Laserdiode liegen also im elektrischen und optischen Confinement begründet. Dadurch werden sowohl der Rekombinationsprozeß als auch das emittierte Licht innerhalb der aktiven Schicht begrenzt. Diese Vorteile existieren, ohne daß die Effekte der Größenquantisierung, also die Subbänder, eine Rolle spielen. In der Tat bestehen diese Vorteile auch für sehr große Schichtdicken, wo die Größenquantisierung keine Bedeutung besitzt. In DHS-Lasern beträgt die Dicke der aktiven Schicht ca. 0,1–0,2 μm . Wird jedoch die Schichtdicke der aktiven Schicht immer kleiner und kommt in den Bereich unter 40 nm, dann spielt die Größenquantisierung eine wesentliche Rolle. Wie bereits in Abschnitt 5.1. diskutiert, ist damit eine Variation der Bandlücke verbunden. Nur in diesem Fall spricht man von einem **Quantum-Well-Laser**. Der Doppelheterostruktur laser (Abb. 20) wird oft als **single quantum well laser** (SQW-Laser) bezeichnet. Es ist nun leicht einsehbar, daß man in den Quantum-Well-Lasern durch eine Variation der Schichtdicke die Arbeitswellenlänge variieren kann, da hierbei der strahlenden Rekombination Photonen der Frequenz $\omega = 2\pi E_g^{\text{SQW}}/h$ freigesetzt werden (vergleiche mit Formel 3 im Abschnitt 5.1.). Das ist ein großer Vorteil, weil man damit die Möglichkeit hat, die eigentlich durch das aktive Material festgelegte Arbeitswellenlänge des Lasers zu variieren und damit in den Bereich der Übertragungsfenster der Glasfaserstrecke zu gelangen.



Strukturen, in denen es viele aktive Schichten gibt, bezeichnet man als **Multiquantum-Well-Laser (MQW-Laser)**. Das Prinzip dieser Laser ist gleich dem der SQW-Laser (siehe Abb. 22). Man erreicht aber dabei eine Parallelschaltung. In den letzten Jahren hat man vor allem mit den sogenannten **GRINSCH – (GR**eatest **I**ndex **S**eperate **C**onfinement **H**eterostructure)

Lasern die größten Fortschritte erzielt. Mit ihnen erreicht man Schwellströme kleiner 150 A/cm^2 . GRINSCH-Laser haben den in Abb. 22 gezeigten räumlichen Verlauf von Leitungs- und Valenzbandkante. Die präzise Herstellung von GRINSCH-Lasern durch die kontrollierte Variation der Zusammensetzung und der Dotierung als Funktion der Schichtdicke zur Erzielung eines symmetrischen parabelförmigen Verlaufs von Leitungs- und Valenzbandkante stellt höchste Anforderungen an die Beherrschung des MBE-Prozesses (siehe Abschnitt 4.).

Da GaAs-Ga_{1-x}Al_xAs-Laser im Bereich um 0,85 μm arbeiten, ist man für den Wellenlängenbereich 1,3 μm bzw. 1,55 μm auf andere Materialien angewiesen. Hierfür eignen sich Laser, die aus Ga_xIn_{1-x}P_yAs_{1-y}-InP, Ga_xIn_{1-x}As-Al_xIn_{1-x}As sowie aus GaSb-Al_xGa_{1-x}Sb aufgebaut sind. Zur Illustration der großen Möglichkeiten, die solch ein Mischkristall wie GaInPAs bildet, haben wir in Abb. 23 die Bandlücke über die Anteile x von Ga und y von P abgetragen.

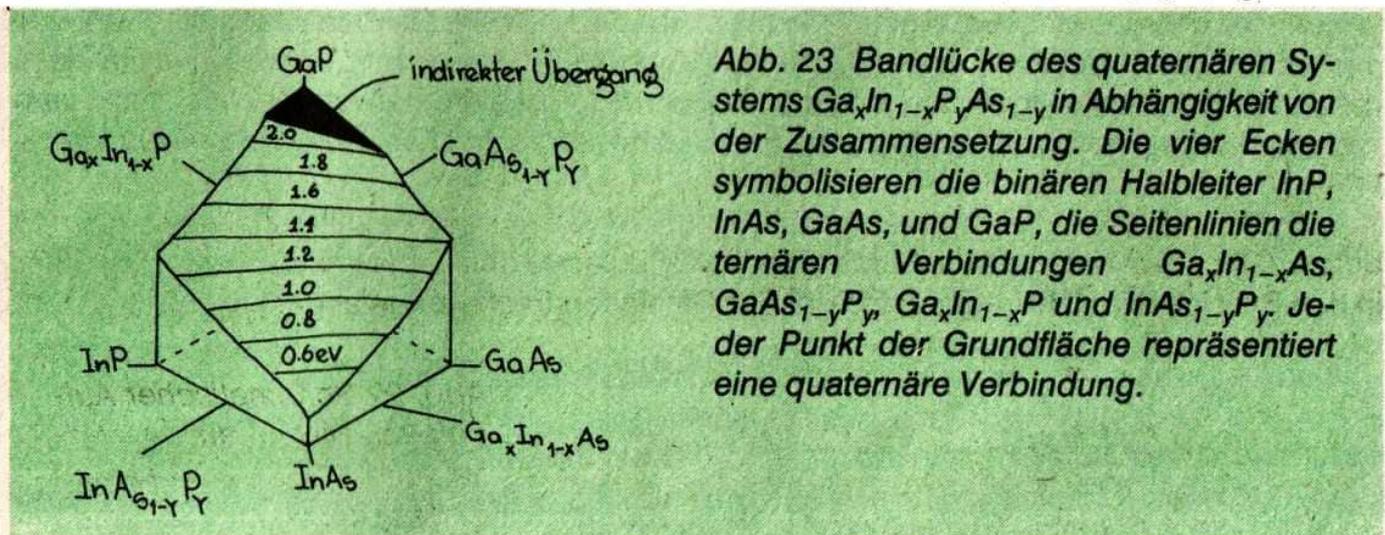


Abb. 23 Bandlücke des quaternären Systems Ga_xIn_{1-x}P_yAs_{1-y} in Abhängigkeit von der Zusammensetzung. Die vier Ecken symbolisieren die binären Halbleiter InP, InAs, GaAs, und GaP, die Seitenlinien die ternären Verbindungen Ga_xIn_{1-x}As, GaAs_{1-y}P_y, Ga_xIn_{1-x}P und InAs_{1-y}P_y. Jeder Punkt der Grundfläche repräsentiert eine quaternäre Verbindung.

6.3. Die Photodiode

Um am Ende der Nachrichtenübertragungsstrecke das optische Signal empfangen zu können, benötigt man einen Detektor. Im Fall der hier besprochenen optischen Nachrichtenübertragung mit Glasfasern sind die Detektoren Photodioden, die im Wellenlängenbereich von 1,3 μm bis 1,55 μm arbeiten müssen. Eine Photodiode besitzt den Aufbau einer pin-Struktur, der in Abb. 24 dargestellt ist.

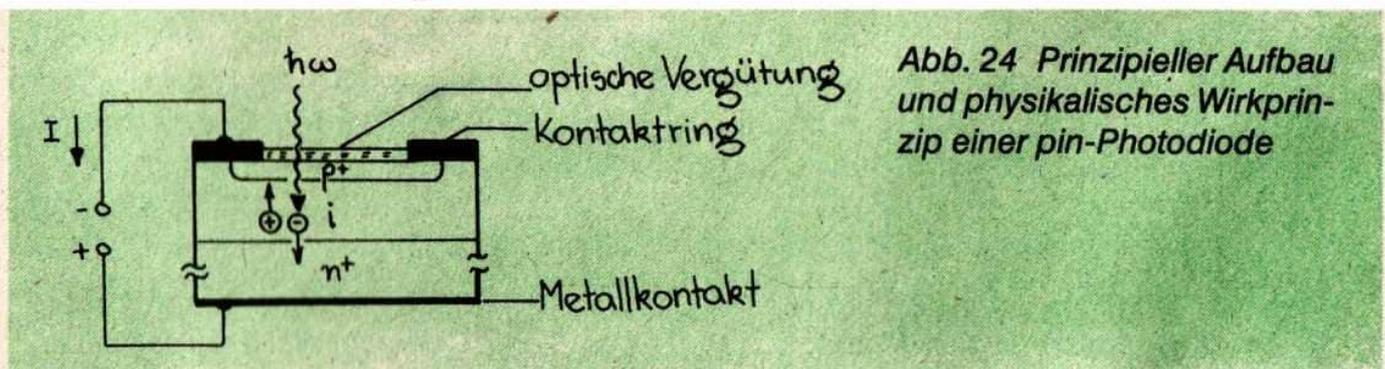


Abb. 24 Prinzipieller Aufbau und physikalisches Wirkprinzip einer pin-Photodiode

Auf einem stark n⁺-dotierten Substrat (n⁺ bedeutet besonders stark n-dotiert) befindet sich eine nahezu eigenleitende Schicht (i), in die eine stark dotierte p⁺-Kontaktzone eindiffundiert ist. Der pn-Übergang wird in Sperrichtung betrieben (Pluspol am n⁺-Gebiet, Minuspol am p⁺-Gebiet), d. h., die von den beweglichen Ladungsträgern (Elektronen und Löcher) befreite Verarmungszone verbreitert sich bis in das eigenleitende Gebiet. Dringt nun Strahlung aus

der Glasfaser durch die Vergütungsschicht, die die Reflexion an der Halbleiteroberfläche vermindert, dann entstehen bei der Absorption der Strahlung in der Verarmungszone Elektron-Loch-Paare. Das ist der **innere Photoeffekt**. Im äußeren Stromkreis läßt sich damit ein sogenannter Photostrom messen. Das ist recht grob skizziert die Wirkungsweise einer jeden Photodiode. Um nun die Wirkungsweise genauer zu verstehen, vor allem in Hinblick auf die Halbleitermikrostrukturen, müssen wir uns mit der Absorption des Lichts etwas näher befassen. Schickt man Licht der (Kreis-)Frequenz ω auf einen undotierten Halbleiter mit direkter Energielücke, dann wird dieses mit den Elektronen im Valenzband wechselwirken. Entsprechend dem Quantencharakter des Lichtes hat das Energiequant des Lichtes, das Photon, eine Energie $E = h\omega/(2\pi)$. Da die Elektronen des Halbleiters nur Zustände innerhalb der Energiebänder (Informationskasten 1) annehmen können, wird für den Fall, daß die Energie des Photons gleich oder größer der Energie der Bandlücke ist ($h\omega/(2\pi) \geq E_g^{3D}$) das Elektron vom Valenzband ins Leitungsband gehoben (Abb. 25). Für kleinere Energien kann dieser Prozeß nicht stattfinden. Im ersten Fall bedeutet das, daß das Photon absorbiert wird. Der Halbleiter ist damit undurchsichtig für Licht dieser Frequenz. Im zweiten Fall ist der Halbleiter durchsichtig, da das Photon diesen ohne mit den Elektronen zu wechselwirken passieren kann.

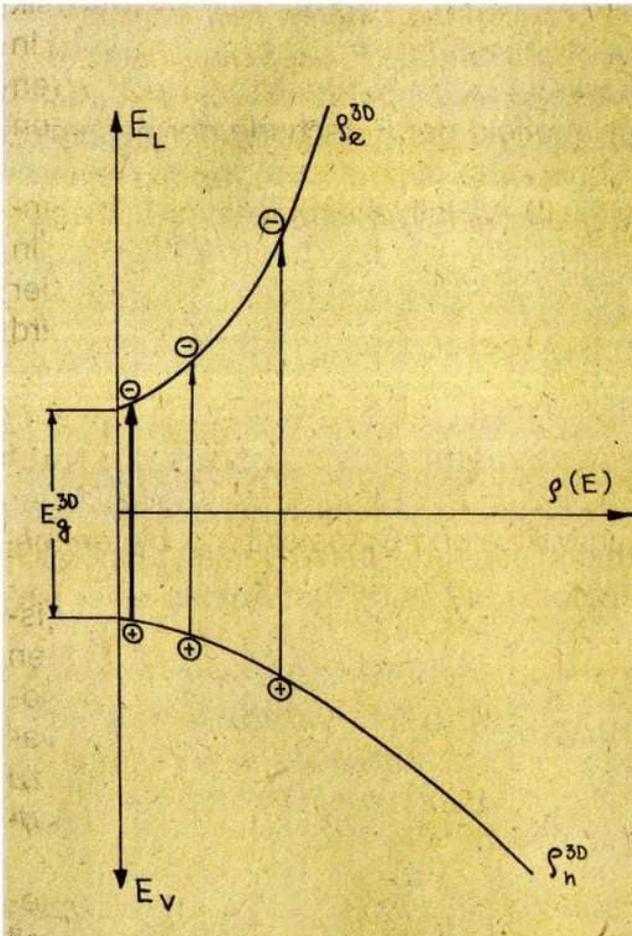


Abb. 25 Mögliche Absorptionsprozesse eines 3D-Volumenhalbleiters dargestellt in der Abhängigkeit der Elektronenenergie von der Zustandsdichte ρ^{3D} (siehe Abb. 12 im Abschnitt 5.3.).

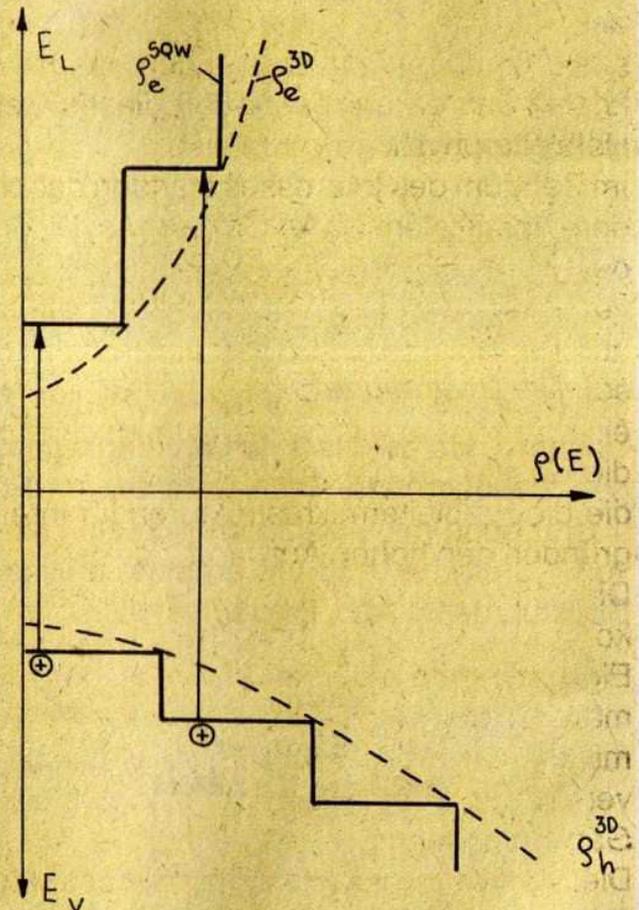


Abb. 26 Mögliche Absorptionsprozesse eines Single Quantum Wells dargestellt in der Abhängigkeit der Elektronenenergie von der Zustandsdichte ρ^{SQW} (siehe Abb. 12 in Abschnitt 5.3.).

In Quantum-Wellen ändert sich die Situation gegenüber dem gerade beschriebenen Fall der Absorption in Volumen-Halbleitern dahingehend, daß die erlaubten Zustände jetzt sowohl die

Leitungssubbänder als auch die Valenzsubbänder sind. In Abb. 26 haben wir die möglichen Absorptionsprozesse dargestellt. Dabei ist die Zustandsdichte über der Energie abgetragen. Wie im Abschnitt 5.3. erläutert, besitzen Elektronen und Löcher einen stufenförmigen Verlauf der Zustandsdichte, wobei der Abstand der Stufen durch die Subbandenergien gegeben ist. Mögliche Übergänge gehen dabei von dem nullten Valenzsubband in das nullte Leitungsband, von dem ersten Valenzsubband in das erste Leitungsband usw. Andere Übergänge sind nicht erlaubt. Eine solche Bedingung bezeichnet man als Auswahlregel, die in unserem Fall als $\Delta k = 0$ ($k = 0, 1, 2, \dots$ Subbandindex) zu formulieren ist. Da der energetisch kleinste Abstand zwischen Valenz- und Leitungsband durch $E_g^{\text{SQW}} = E_g^{3D} + E_{L0} + E_{V0}$ gegeben ist (vergl. Formel 3 in Abschnitt 5.1.), setzt die Absorption erst bei $\omega = 2\pi E_g^{\text{SQW}}/h$ ein. Bekanntermaßen hängt E_g^{SQW} von der Schichtdicke ab und man kann bei einer Quantum-Well-Photodiode genau wie beim Laser die für die optische Informationsübertragung benötigte Wellenlänge durch Materialauswahl und Schichtdickenvariation einstellen. Diese Möglichkeit der künstlichen Veränderung der Bandlücke bezeichnet man als **Band-Gap-Engineering**.

7. Schlußbemerkung und Ausblick

Mit der in 5 Teilen vorliegenden Arbeit haben wir versucht, eine Vorstellung von der Physik der Halbleitermikrostrukturen zu geben. Auf Grund ihrer besonderen Eigenschaften wird in allen führenden Industrieländern intensiv auf diesem Gebiet geforscht. Es hat sich in den letzten Jahren erwiesen, daß dieses Gebiet zum Hauptfeld der Forschung der gesamten Halbleiterphysik geworden ist.

Im Zentrum des Interesses standen dabei vor allem die III–V Halbleiter und davon insbesondere das System GaAs-Ga_{1-x}Al_xAs. Diese rasante Entwicklung bedeutet jedoch nicht, daß in der Mikroelektronik die Vormachtstellung des Elementes Si, was gegenwärtig etwa 85 % der verarbeiteten Halbleiter ausmacht, gefährdet wird. Die Technologie der III–V Halbleiter wird auch in der nächsten Zeit auf Spezialbauelemente und auf spezielle Anwendungen beschränkt bleiben. Jedoch nimmt dieser Anteil ständig zu und er wird in zunehmendem Maß eine Schlüsselstellung einnehmen. Für die Massenproduktion von Schaltkreisen sind heute die Kosten der anspruchsvollen III–V Technologie viel zu hoch. Die großen Möglichkeiten, die die Halbleitermikrostrukturen für ihren Einsatz in Mikro- und Optoelektronik bieten, begründen den hohen Aufwand, der gegenwärtig dafür in die Forschung fließt.

Die in den Halbleitermikrostrukturen existierenden Heteroübergänge führen zu lokalen Diskontinuitäten von Leitungs- und Valenzband. Damit werden die elektrischen und optischen Eigenschaften lokal modifiziert. Insbesondere spielen bei kleinen Schichtdicken (d. h. in atomaren Dimensionen) Quanteneffekte (Größenquantisierung) eine entscheidende Rolle. Damit hat man die Möglichkeit, die elektronischen Eigenschaften herkömmlicher Materialien zu verändern. Man bezeichnet diesen aktiven Eingriff in die Materialeigenschaften als Band-Gap-Engineering.

Die Herstellung von Halbleitermikrostrukturen ist erst möglich geworden, als solche Epitaxieverfahren wie die Molekularstrahl-Epitaxie verfügbar waren. Mittels MBE wird der Kristall kontrolliert Atom für Atom aufgebaut. In einem zweidimensionalen Wachstumsprozeß wird Ebene für Ebene übereinander geschichtet, und es entstehen atomar ebene Oberflächen. Die niedrige Wachstumsrate von etwa einer Ebene pro Sekunde ermöglicht die Steuerung der Schichtdicke bis herab zu einer Monolage und die Abscheidung von kristallinen Materialien unterschiedlicher Zusammensetzung in alternierenden Schichten.

Die MBE-Synthese ermöglicht zwei fundamental neue Eigenschaften. Zum einen lassen sich die quasifreien Ladungsträger von ihren Dotanden trennen und zum anderen liegt mit

den periodisch modulierten Strukturen (Supergitter) eine neue Klasse von künstlichen Festkörpern mit maßgeschneiderten elektrischen, optischen, dielektrischen und magnetischen Eigenschaften vor. Wenn wir uns hier auf die Halbleiter/Halbleiter-Strukturen eingeschränkt haben, so liegt das daran, daß diese Strukturen die heute am weitesten entwickelt sind. Die anderen Materialkombinationen Halbleiter/Metall, Metall/Metall, Halbleiter/Isolator, Metall/Isolator und von verschiedenen magnetischen Materialien bieten aus heutiger Sicht noch nicht absehbare Möglichkeiten für deren Anwendung.

In den letzten Jahren ist es sogar gelungen, die eigentlich lokal festgelegten Diskontinuitäten der Energiebänder in gewissen Bereichen einstellbar zu machen. Damit haben sich die Möglichkeiten des Band-Gap-Engineering gewaltig erweitert. Darüber hinaus ist es gelungen, Halbleitermikrostrukturen auf der Basis von $\text{Si-Si}_x\text{Ge}_{1-x}$ herzustellen. Damit können Photodetektoren realisiert werden, die in dem für Fasern optimalen Wellenlängenbereich arbeiten und die direkt mit der Si-Mikroelektronik gekoppelt werden können.

Alle bisher besprochenen Halbleitermikrostrukturen waren dadurch gekennzeichnet, daß die quasi-freien Ladungsträger (Elektronen, Löcher) quasi-zweidimensionalen Charakter hatten. Nun ist es in den letzten Jahren gelungen, die Dimensionalität noch weiter zu reduzieren. Die physikalischen Eigenschaften von Ladungsträgern, die in **Quanten-Drähten** (quantum-well wires: QWW) und **Quanten-Kästen** (quantum boxes und quantum dots: QB, QD) eingeschürt sind, d. h. **quasi-eindimensional** bzw. **quasi-nulldimensional** sind, werden heute schon diskutiert. Es gelingt, ausgehend von quasi-zweidimensionalen Quantum-Wells, Quanten-Drähte und Quanten-Kästen herzustellen. Das bedeutet natürlich einen enormen technologischen Fortschritt bei den Verfahren zur lateralen Strukturierung. Führende Labors können heute schon hinunter bis zu 10 nm strukturieren.

Die gezielte Herstellung von mikroskopisch strukturierten Festkörpern mit quasi-ein- und nulldimensionalen Eigenschaften beinhaltet zur Zeit noch große technologische Probleme und bildet damit eine große Herausforderung für den gesamten Bereich der Mikrostrukturforschung. Es müssen Methoden entwickelt werden, mit denen Materialien Atom für Atom und Ebene für Ebene in genau kontrollierter Weise wieder abgetragen werden. Die bisher verfügbaren Ätzverfahren sind dafür nicht geeignet.

Für interessierte Leser liegt bei der Redaktion ein Verzeichnis weiterführender Literatur vor.

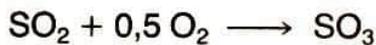
WISSENSWERTES

Am 4. bzw. 11. Juni 1989 wird im Hauptfoyer des Universitätshochhauses der 1. Umwelttag Jena stattfinden. Organisatoren sind die ca. 70 Mitglieder der Interessengemeinschaft „Stadtökologie“, die dem Kulturbund angegliedert ist. In der IG setzen sich Marxisten und Christen gleichermaßen für die Ausbildung eines Umweltbewußtseins des Bürgers und – in enger Zusammenarbeit mit den verantwortlichen Stadträten – für den Umweltschutz in der Stadt und dem Kreis Jena ein. Auf dem Umwelttag werden sich u. a. die Arbeitsgruppen „Stadtgrün“, „Verkehr“, „ökologische Lebensweise“, „Chemie im Haushalt“, „Literatur und Recht“ und „Müll“ vorstellen. Letztere wird Probleme der schwelenden Müllcontainer, die Problematik der wilden und den Zustand der „geordneten“ Mülldeponien sowie den Standort der Zeiss-Verbrennungsanlage (in der Stadt gelegen) ansprechen.

Jeder ist herzlich eingeladen, sich zu informieren und zu diskutieren. Für eine kulturelle Umrahmung und ökologiefreundliche Speisen wird gesorgt.

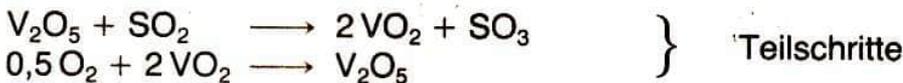
Kay Sonntag
Friedrich-Schiller-Universität Jena
Sektion Chemie

Wissenswertes über die Schwefelsäure



Reaktionsenthalpie $\Delta_{\text{R}}H = -22,6 \text{ kcal/mol}$

Während der Umsetzung tritt des SO_2 in Kontakt mit einem Katalysator; daher der Name des Verfahrens (der Katalysator wird als Kontakt bezeichnet). Als Katalysatoren werden heute Verbindungen der Nebengruppenelemente, z. B. Vanadiumpentoxid (V_2O_5), verwendet. Die Reaktion mit dem Katalysator läuft etwa folgendermaßen ab:



Man erkennt, daß der Katalysator nach der Reaktion in seinem Ausgangszustand (Vanadiumpentoxid – V_2O_5) vorliegt. Dies ist ein wesentliches Merkmal einer katalysierten Reaktion.

Den Ausgangsstoff SO_2 erhält man nach dem „Röstverfahren“. Dabei werden sulfidische Erze oxidiert, wobei als Nebenprodukt SO_2 anfällt (SO_2 wird deshalb als „Röstgas“ bezeichnet). Ein häufig in der Natur vorkommendes Erz ist der Pyrit (FeS_2). Im Röstprozeß entstehen nach Gleichung (2) Eisenoxid und SO_2 .



In der DDR erhält man SO_2 ebenfalls durch Reduktion von Magnesiumsulfat mit Kohlenstoff. Neben SO_2 fällt gleichzeitig auch Magnesiumoxid als wichtige Chemikalie an (3).



Das dabei gewonnene SO_2 wird allerdings nach dem Stickoxidverfahren verarbeitet.

Zurück zum Kontaktverfahren. Die Röstgase (5–8 % SO_2 , 12–14 % O_2 , 79–81 % N_2) werden im Elektrogasreiniger getrocknet, entstaubt und gelangen danach in Wärmeaustauscher. Dort werden sie auf 350 °C vorgewärmt und dann im Kontaktofen mit dem Katalysator auf einem Kieselgel (dient als Trägersubstanz) zur Reaktion gebracht. Die Gase durchströmen den Ofen bei etwa 425–600 °C unter starker Wärmeentwicklung [siehe Gleichung (1)]. Danach gelangen sie in den Wärmeaustauscher zurück und wärmen gleichzeitig das neue Röstgas vor. In einem Kühler wird das gebildete SO_3 weiter abgekühlt und gelangt in Füllkörperkolonnen. Dort wird das Gas mit Oleum und hochkonzentrierter Schwefelsäure befeuchtet. Es bildet sich nach Gleichung (4) die Dischwefelsäure.

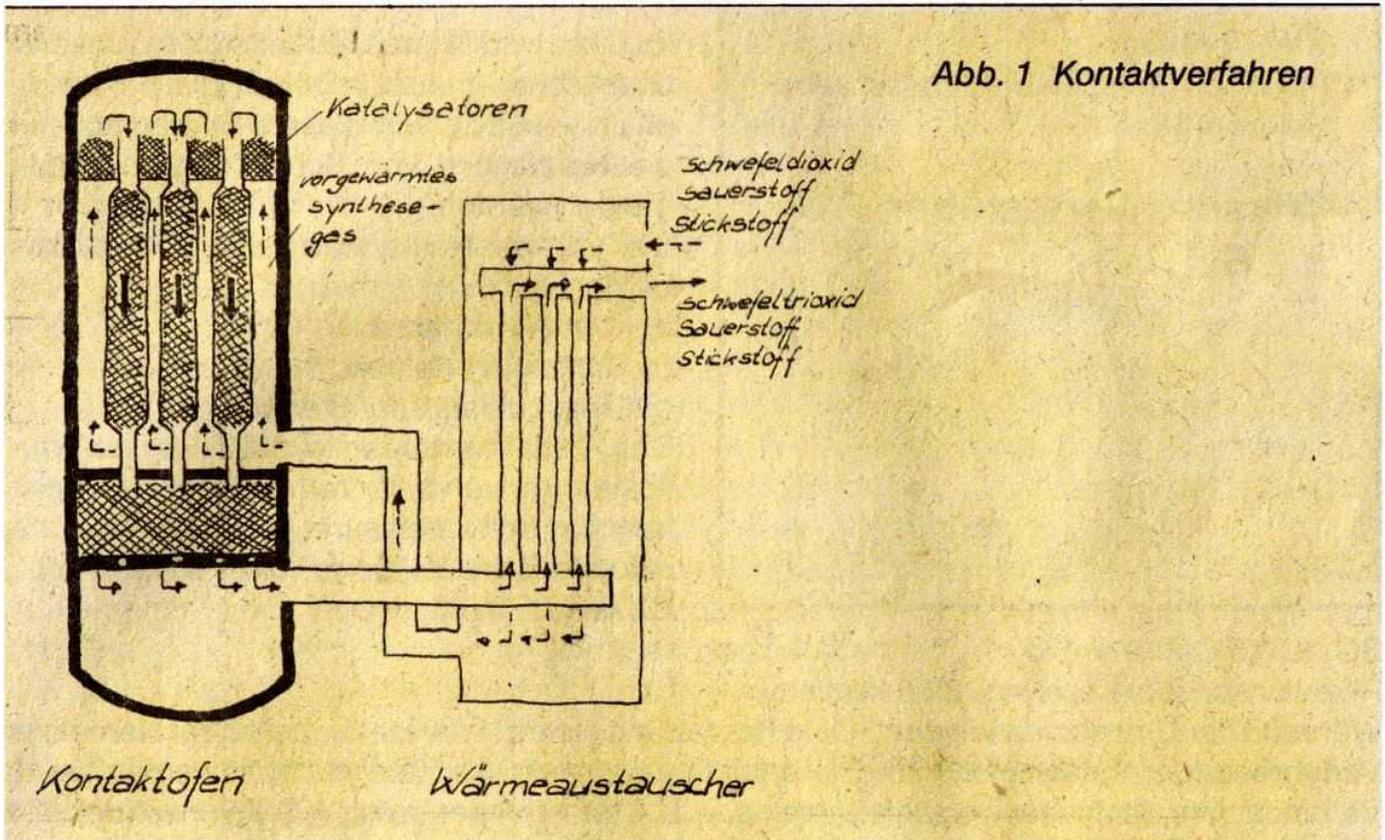


Zu den wichtigsten Grundstoffen unserer chemischen Industrie gehört die Schwefelsäure – H_2SO_4 . Mit diesem Beitrag soll auf die Herstellung von Schwefelsäure eingegangen werden.

Die Schwefelsäure wird nach 3 Verfahren hergestellt:

- a) Kontaktverfahren
- b) Stickoxidverfahren
- c) Gipsschwefelsäureverfahren

Das Kontaktverfahren ist das heute am häufigsten verwendete Verfahren zur Herstellung von Schwefelsäure. Bei diesem Verfahren wird Schwefeldioxid (SO_2) zu Schwefeltrioxid (SO_3) umgesetzt:



Durch Hydrolyse entsteht wieder Schwefelsäure (5).



Im Schwefelsäureabsorber erhält man nach weiterer Kühlung eine 98 %ige H_2SO_4 .

Die Füllkörperkolonnen bestehen aus Eisen, da Eisen gegenüber hochkonzentrierter H_2SO_4 sehr widerstandsfähig ist. (Passivität des Eisens – siehe auch elektrochemische Spannungsreihe).

Das System $\text{SO}_2 + 0,5 \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_3$ verläuft unter Volumenabnahme. Deshalb arbeitet man bei relativ hohen Drücken (Prinzip von Le Chatelier) oder man setzt die zugeführte Luft im Überschuß ein. Für die Gleichgewichtsreaktion $\text{S}_2 + 0,5 \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_3$ gilt das Massenwirkungsgesetz:

$$K_p = \frac{p_{\text{SO}_3}}{(p_{\text{O}_2})^{0,5} \cdot p_{\text{SO}_2}}; \quad \frac{p_{\text{SO}_3}}{p_{\text{SO}_2}} = K_p \sqrt{p_{\text{O}_2}}$$

p_x – Partialdruck des Gases x

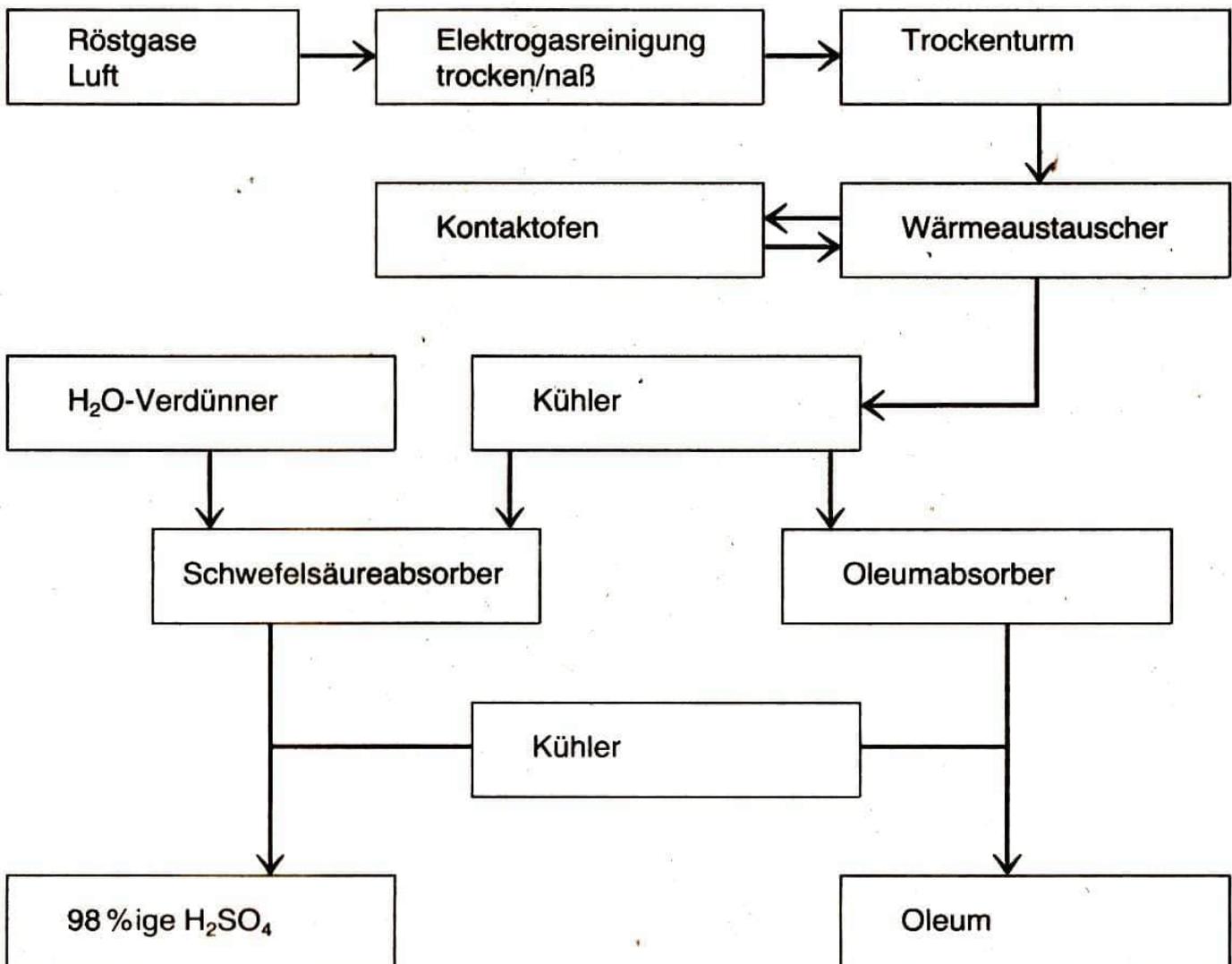
k_p – spezifische Konstante der Reaktion

Diese Gleichung läßt erkennen, daß mit steigendem Gehalt an Sauerstoff (Luftüberschuß) sich das Verhältnis deutlich zur Ausbeute an SO_3 erhöht. Die relativ hohen Temperaturen von 500°C wirken zwar der exothermen Bildung von SO_3 entgegen, sind aber für die Aktivierung der Reaktion erforderlich (ohne Katalysator wären für diese Reaktion noch höhere Temperaturen notwendig). Die eben erläuterten Zusammenhänge zwischen Ausgangsgemisch, Temperatur und Ausbeute werden in Tabelle 1 verdeutlicht.

Tabelle 1:

N_2 (%)	O_2 (%)	SO_2 (%)	Temperatur ($^\circ\text{C}$)	Ausbeute SO_3 (%)
84	5	10	400	96
			600	59
80	18	2	400	99,5 (!)
			600	80

Das Schema 1 verdeutlicht noch einmal den Ablauf der Schwefelsäureherstellung bei dem Kontaktverfahren:



Oleum: „rauchende“ Schwefelsäure; ölige und meist dunkelbraune schwere Flüssigkeit; ein Gemisch aus H_2SO_4 , SO_3 und Dischwefelsäure ($H_2S_2O_7$); wirkt stark wasserentziehend und oxidierend

Bei den Stickoxidverfahren unterscheidet man zwischen dem Bleikammer- und dem Turmverfahren. Beide Verfahren laufen im Prinzip gleich ab, nur die Reaktionsräume sind unterschiedlich aufgebaut. Während beim Bleikammerverfahren die Herstellung von H_2SO_4 in Bleikammern abläuft, werden beim Turmverfahren säurefest gemauerte, meist mit Füllkörpern versetzte, Türme verwendet. Diese besitzen gegenüber den Bleikammern eine höhere Leistung, längere Lebensdauer und einen geringeren Platzbedarf. Der technologische Ablauf der Schwefelsäureherstellung wird im folgenden am Beispiel des Bleikammerverfahrens beschrieben.

Als Katalysator und Sauerstoffüberträger dient in diesem Verfahren das Stickoxid.



Die auf etwa 425 °C erhitzten Röstgase strömen von unten durch einen Gloverurm. Dort finden mit der Kammerensäure (60–70 %ige H_2SO_4) und einer nitrosen Säure (im Gay-

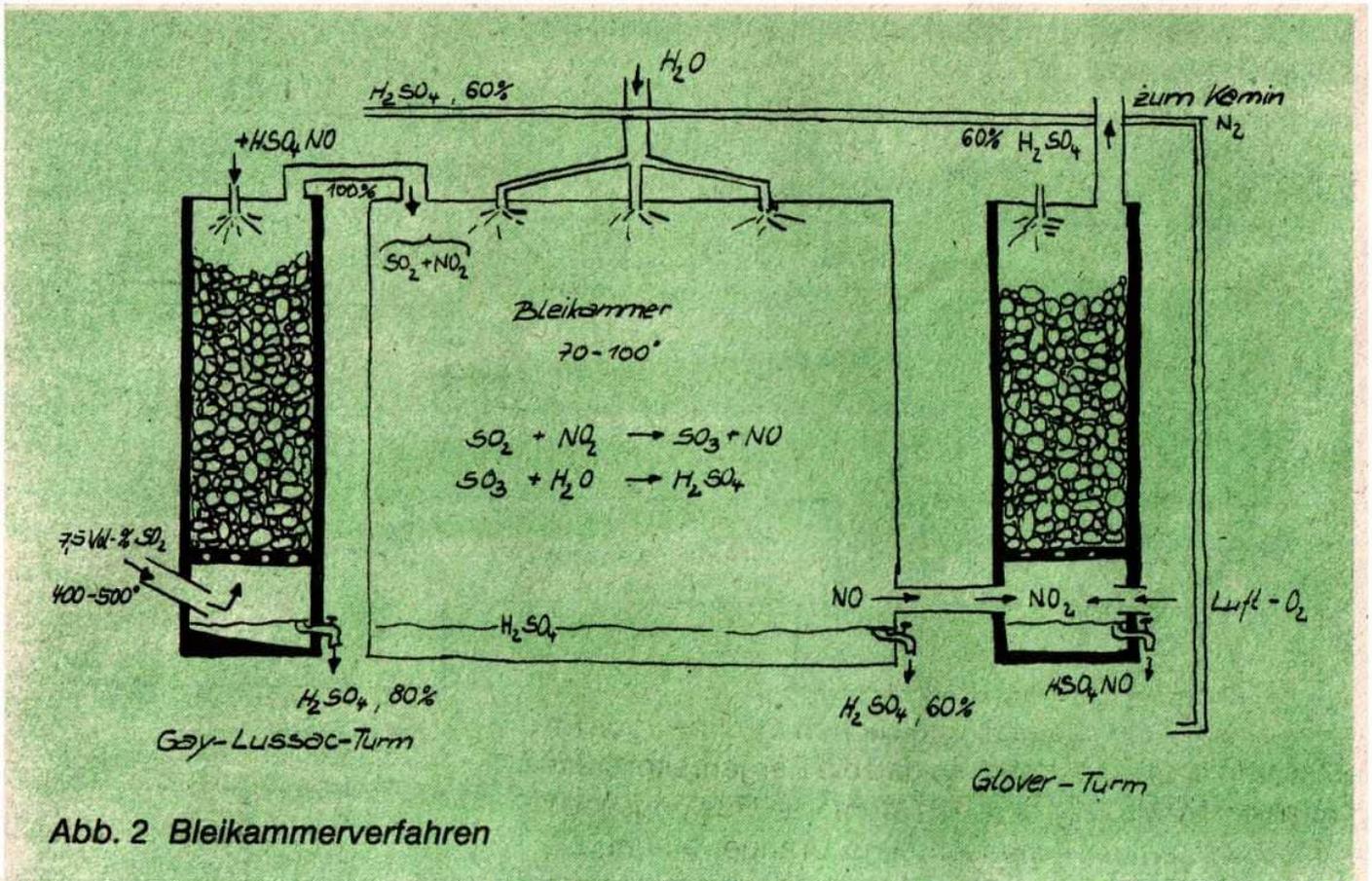
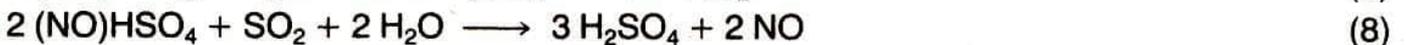
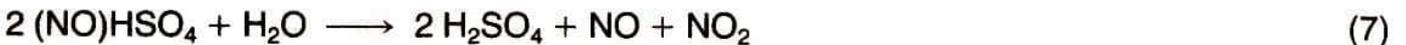


Abb. 2 Bleikammerverfahren

Lussac-Turm gebildete mäßig konzentrierte Lösung von Nitrosylhydrogensulfat – $(\text{NO})\text{HSO}_4$; auch „Nitrosylschwefelsäure“ – folgende Umsetzung statt:



Die gebildete 78–80%ige H_2SO_4 wird als Groversäure bezeichnet und ist frei von Stickoxiden. Die auf 70°C – 110°C gekühlten und mit Stickoxiden beladenen Röstgase gelangen in 3 etwa 5000 m^3 große Bleikammern. In den ersten beiden Kammern werden die Röstgase mit Wasser bespritzt. Dabei laufen folgende Reaktionen ab:



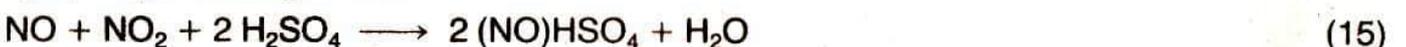
Verbunden mit diesen Umsetzungen ist eine Abkühlung des Reaktionsgemisches in den Kammern:

Kammer 1: 70 – 90°C

Kammer 2: 50 – 70°C

Kammer 3: 50°C

In der 3. Kammer befinden sich vorwiegend nitrose Gase (NO , NO_2), welche kaum noch SO_2 enthalten. Sie werden weiter abgekühlt, getrocknet und gelangen in den Gay-Lussac-Turm. Dort rieselt von oben feinverteilte Groversäure herab und es wird nach (15) wieder Nitrosylhydrogensulfat gebildet.



Die grundlegenden Reaktionen beim Stickoxidverfahren sind noch einmal zusammengefaßt:



Es wurden Bleikammern verwendet, da Blei durch mäßig konzentrierte Säuren nur schwer angegriffen wird (elektrochemische Spannungsreihe).

In Tabelle 2 werden beide Verfahren nach einigen Schwerpunkten verglichen.

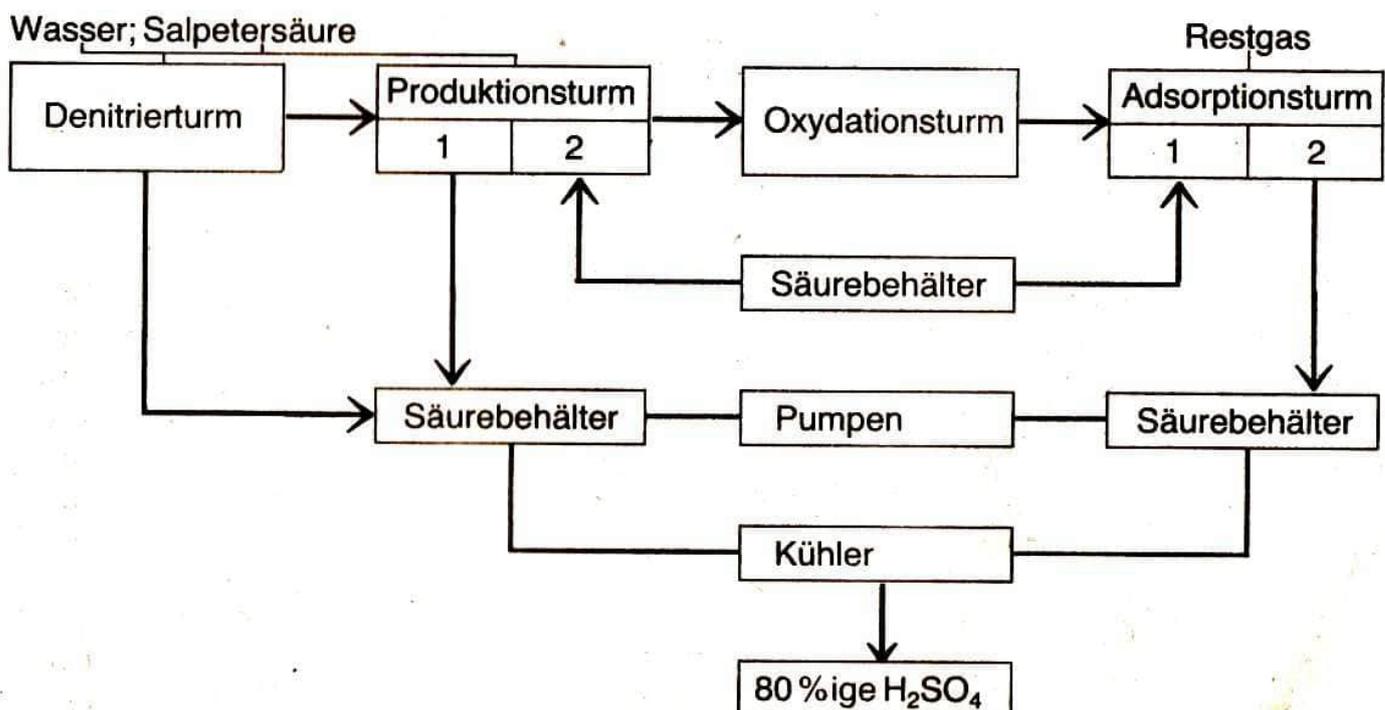
Tabelle 2:

	Kontaktverfahren	Stickoxidverfahren
Katalysator	V_2O_5	NO, NO_2
Reaktionstemperatur	425–600 °C	425 °C
Konzentration der hergestellten H_2SO_4	98 %	max. 80 %
Reinheit der Säure	sehr rein	mäßig rein
Kosten	120 %	100 %

Auf Grund der geringeren Reinheit wird die im Stickoxidverfahren hergestellte Schwefelsäure zum Aufschluß von Phosphaten (Herstellung Düngemittel) verwendet. Im Weltmaßstab verliert das Stickoxidverfahren mehr an Bedeutung, so daß die größte Menge an Schwefelsäure heute durch das Kontaktverfahren hergestellt wird.

Eine Übersicht der Abläufe beim Stickoxidverfahren ist im Schema 2 (Turmverfahren) angegeben. Dabei entspricht der Denitrierturm dem Gloverturm beim Bleikammerverfahren. Im Oxidationsturm (Regenerierungsturm) werden die SO_2 -freien Gase zu NO und NO_2 oxidiert und im Absorptionsturm ähnlich wie im Gay-Lussac-Turm mit kalter Schwefelsäure zu Nitrosylhydrogensulfat gelöst. Die Salpetersäure wird zur Deckung der Stickoxidverluste zugegeben.

Schema 2: Turmverfahren



Ein drittes, vorwiegend in der DDR angewendetes Verfahren, ist das Gipsschwefelsäureverfahren (auch „Müller-Kühne-Verfahren“ genannt). Als Rohstoff verwendet man Anhydrit, welcher in großen Mengen in unserem Land vorrätig ist (im Gegensatz zum Pyrit fürs Kontaktverfahren). Ein weiterer Vorteil dieses Verfahrens besteht in der gleichzeitigen Gewinnung von Zement. Bevorzugt wird wasserfreier Anhydrit (CaSO_4).

Der Ausgangsstoff wird zerkleinert, gemahlen und getrocknet. Danach erfolgt eine gründliche Durchmischung. In 70–80 m langen Drehrohröfen wird das Gemisch auf 1400–1450 °C erhitzt, ab etwa 700 °C erfolgt eine Reduktion durch Kohlenstoff entsprechend (19).



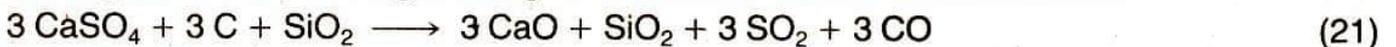
Das entsprechende Calciumsulfid (CaS) wirkt gegenüber dem Calciumsulfat ebenfalls reduzierend (20).



Durch Zugabe von Aluminiumoxid (Al_2O_3) oder Quarz (SiO_2) bildet sich der Zementklinker. Die Ofengase müssen schwach oxidierend wirken, da sich bei reduzierender Gasführung teilweise Kohlenoxidsulfid (COS) und Calciumsulfid bilden, welche zu Verunreinigungen und zur Verringerung der Ausbeute der Reaktionsprodukte führt.

Der Zementklinker wird nach Verlassen des Drehrohröfens gekühlt, gemahlen und gleichzeitig mit Gips ($\text{CaSO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$) und Hochofenschlacke zu Hochofenzement vermischt.

Die allgemeine Reaktionsgleichung für das Müller-Kühne-Verfahren lautet:



$3 \text{CaO} + \text{SiO}_2 = \text{Alit}$ (wesentlicher Bestandteil des Zements)

Theoretisch lassen sich aus 5 Tonnen (t) Anhydrit 3 t Zementklinker und 3,5 t Schwefelsäure herstellen.

Nachdem wir uns mit den 3 wesentlichsten Verfahren zur Schwefelsäureherstellung beschäftigt haben, nun ein kurzer Blick auf Historisches zur Schwefelsäureproduktion. Mit der industriellen Revolution in England entstanden dort 1746 die ersten Bleikammeranlagen. Frankreich folgte 1766, Deutschland 1812. 1842 fand der Gay-Lussac-Turm, 1859 der Glover-Turm Erwähnung. Das Kontaktverfahren stammt bereits aus dem Jahre 1831 von P. Philipps. Es dauerte jedoch noch einige Zeit, ehe Winkler (1875) und R. Knietsch (1890–1895) die technischen Voraussetzungen für eine Kontakanlage schufen. Die erste Gipschwefelsäureanlage entstand während des 1. Weltkrieges in Leverkusen. Seitdem nimmt die Schwefelsäureherstellung in den chemischen Industrien einen wichtigen Platz ein.

1985 wurden die in Tabelle 3 ersichtlichen Mengen Schwefelsäure von den dort genannten Industrienationen produziert.

DDR	882 000 t	USA	35 934 000 t
BRD	4 216 000 t	Japan	6 559 000 t
UdSSR	26 037 000 t		

Die Tonne Schwefelsäure kostet 1985 65 Dollar, 1986 zwischen 32 und 36 Dollar.

Es gäbe noch viel über die Schwefelsäure zu berichten. Der Autor hofft, dem interessierten Leser einige Anregungen gegeben zu haben, sich vielleicht näher mit dieser für uns so wichtigen Chemikalie zu beschäftigen.

Literaturhinweis: „Brockhaus ABC – Chemie“

Karsten König
Friedrich-Schiller-Universität Jena
Sektion Physik

Gustav Ginzel und sein Misthaus

„Wer das Misthaus nicht kennt, hat umsonst gelebt“; „Nehme nur die nicht rauchen, nicht saufen, Nachtruhe einhalten, richtig ausgerüstet sind, gepflegtes Äußeres haben usw.“ – so die Aufschriften zweier Stempel von Gustav.

Ordentlich frisiert und nüchtern traten wir – die „impuls 68“ Redaktion – im November 1988 die Fahrt anlässlich unseres 20jährigen Bestehens an. Ziel: der Ort Jizerka, ca. 30 km von Liberec entfernt, im einst schönen Isergebirge gelegen. Heute leider ein „totes Gebirge“, ein derzeit erhältlicher Sammelband von Ansichtskarten mit Fotografien schneebedeckter Baumruinen spricht von

kraftwerksemissionsbedingter „Entforstung“.

Reichsbahngestreßt und von Schneematsch durchnäßt erreichten wir schließlich bei Dunkelheit Gustavs bekanntes „Alternativhotel“. Einst war es eine Lagerstätte für Kuhmist, die Gustav für 345 Kronen erstand und daraus ein Museum, seine Wohnung, eine Herberge und einen Treffpunkt für Bergsteiger, Naturfreunde und Globetrotter machte.

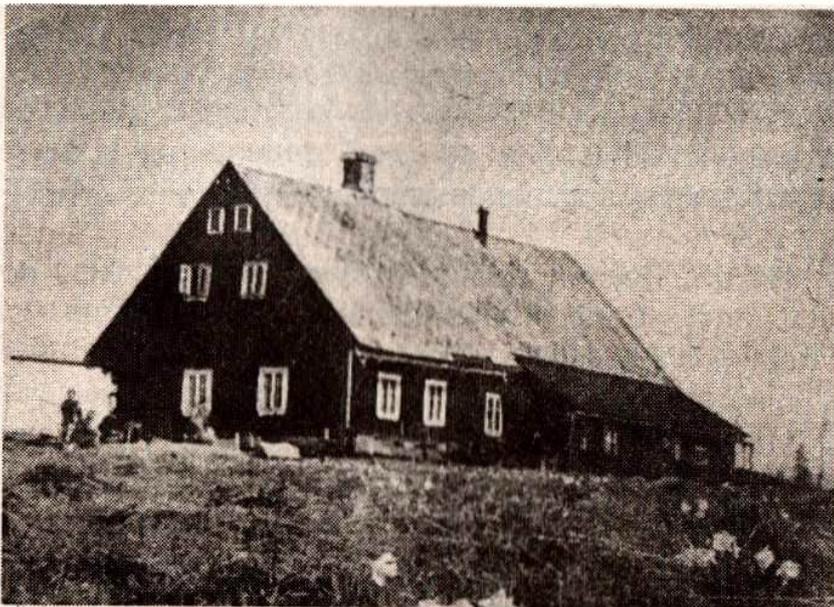


Abb. 1 Das Misthaus im Isergebirge

Der Hausbesitzer muß sich nicht vorstellen. Aussehen und Gehabe passen harmonisch in die originelle Umgebung. Zuerst sind da seine einzigartigen Lederhosen zu nennen („über die haben schon 8 Zeitungen geschrieben“), dann das Hemd – bestickt mit Sowjetstern und Leninkopf. In der Hand hält Gustav meist eine Zange. Damit entfernt er sprießende Barthaare. Ökologisch rasieren nennt er das (wasser- und stromsparend). „Ist doch logisch, oder?“, so seine Standardfrage, die man während seiner Hausführung bestimmt hundertmal zu hören bekommt.

Die Führung dauert je nach Sprechtempo und Umfang zwischen 6 Minuten (Blitzführung) und drei Stunden (einschließlich Lachen). Hier wird deutlich, daß Gustav neben einer eigenartigen Mischung von Ironie, Sarkasmus und Selbstbewußtsein auch über ein schier un-

erschöpfliches Wissen, ein bemerkenswertes Zahlengedächtnis und eine reiche Erfahrung als Alpinist und Expeditionsteilnehmer verfügt. Manche bezeichnen das Misthaus auch als „Iser-Universität“.

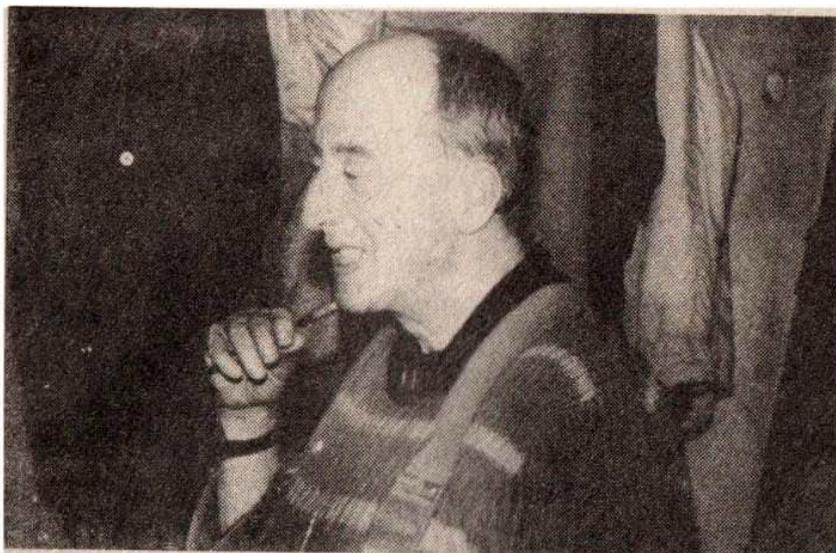


Abb. 2 Gustav beim ökologischen Rasieren

Zunächst einmal fällt im Haus auf, daß es keine freie Wand- oder Deckfläche gibt, meist ist alles mit Schildern benagelt. „Bin am Strand“, „Betteln und Hausieren verboten“, „Vorsicht vor umstürzenden Bäumen“ und immer wieder Verbotsschilder in der dafür bestens geeigneten deutschen Sprache. Im Bad die Aufschrift: „Aktion gegen langweilige Badezimmer“. Bei Gustav fließen zwei Bäche durch das Bad. Das spart Wasserhähne ermöglicht auch den Katzen die problemlose Trinkwasserentnahme und härtet ab. Die Toilette verfügt über ein Telefon (falls mal kein Papier da ist). Die Klobrille hängt übrigens immer neben dem Ofen, dadurch ist sie schön angewärmt.

Gustav zeigt gern seine Museumsstücke und Reisesouvenirs: Folterwerkzeuge, Halbedelsteine, südamerikanischen Indianerschmuck, Sand aus der Sahara, Krokodilzähne aus Nikaragua. Neben dem Gehörn von Pamirsteinböcken und afrikanischen Wildschafen befindet sich in der Sammlung auch das Gehörn eines „Rasselbocks“, Gustavs ganz spezieller postumer Kreuzung eines Kaninchens und eines Rehbocks.

Abends zeigt der Hausherr (Gustavs Stuhl trägt die Aufschrift „Abteilungsleiter“) dann Reisebilder von seinen Expeditionen, beispielsweise von der äußerst erfolgreichen Cotopaxi-Expedition, der Sahara-Expedition oder der Fahrt zum Stromboli, den Weiten Sibiriens oder der alpinistischen Erschließung des in Mittelasien gelegenen Fan-Gebirges. „Da war ich überall schon“, erläutert Gustav und vermittelt „ganz logisch“ Wissenswertes aus Geographie, Meteorologie und Geologie.

Plätze – so auch auf Schränken und Kisten (alle 17. oder 18. Jahrhundert) – hat Gustav für mehr als hundert Besucher. Ganz dünne müssen im „Antivergewaltigungsbett“ schlafen. „Da kann man nicht übereinander liegen, es sind nur 30 cm bis zur Decke“. Zu Hunderten rücken Gustavs Gäste zu den Feiertagen an. Die Jizerker Bewohner mit ihren unbelegten, weichen, weißen Gästebetten, Zentralheizung, Badewanne und Sauna gucken böse. Deshalb: Gastfreundschaft bei Gustav ja, aber möglichst ohne Nachtlager. Lieber schickt Gustav seine Gäste nachts nach draußen. „Schlaf doch im Pferdestall, da ist es zwar kalt und schneit an einigen Stellen durch, aber es findet sich schon noch eine trockene Stelle. Oder spannt euch eine Hängematte im Schuppen!“

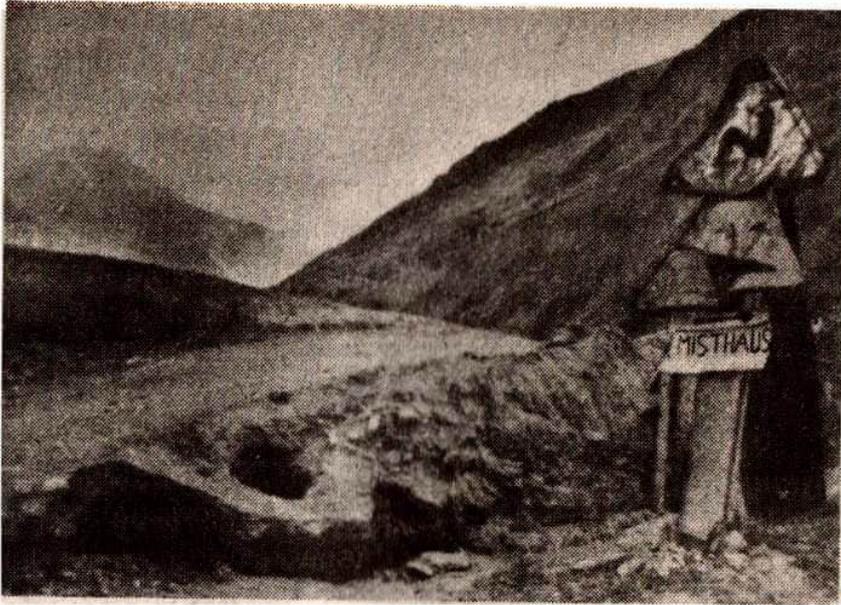


Abb. 3 Wegweiser in Mittelasien bei Dschirgatal, Transaltai: Misthaus 7134 km

Jedem behagen natürlich die letztgenannten Schlafstätten insbesondere bei Frostwetter nicht. Außerhalb der Hochsaison bekommt man im Dorf Jizerka aber meist auch eine wärmere und trotzdem bezahlbare Unterkunft. Bei Gustav gilt: nur abgehärtet, stallausgerüstet, mit Selbstverpflegung und angekündigt anreisen. Sollten es zufällig -30 °C oder kälter sein, kann man auch gleich noch die Open-Air-Dusche hinter dem Misthaus benutzen. Ab diesen Umgebungstemperaturen verteilt Gustav nämlich Duschiplome.

Übrigens – Gustav hatte im November Besuch von einer Australierin. Sie schreibt ein Buch über derzeit lebende bedeutende Persönlichkeiten. Ein Kapitel wird von Gustav Ginzel handeln.

Klaus-Dieter Herbst
Friedrich-Schiller-Universität Jena

PHYSIK – ein Begriff im Wandel der Zeiten!

Ein Blick in die Geschichte
der Physik des 18. Jahrhunderts.

Das 18. Jahrhundert ist jener zeitliche Abschnitt in der Entwicklung der europäischen Länder, den man mit solchen markanten Begriffen wie z. B. „Aufklärung“ und „Französische Revolution“ in Verbindung bringt. Beide, die französische Revolution, die vor nunmehr 200 Jahren mit dem Sturm auf die Bastille am 14. Juli 1789 in Paris begann, und die gewaltige geistige Bewegung der Aufklärung, hinterließen auch in der Wissenschaft ihre Spuren.

So trug die Aufklärung, die im 17. Jahrhundert von England ausging und später, insbesondere im 18. Jahrhundert, auch andere Länder Europas erreichte, wesentlich dazu

bei, daß die einzelnen Wissensgebiete in der 2. Hälfte des 18. Jahrhunderts systematisiert bzw. voneinander getrennt wurden. Die Wandlung des Inhalts des Begriffes „Physik“ kann hierfür zur Verdeutlichung herangezogen werden.

Um eine Vorstellung davon zu vermitteln, was die Naturforscher noch in der 1. Hälfte des 18. Jahrhunderts unter *Physik* verstanden, soll einmal aus einem Lexikon der damaligen Zeit zitiert werden. Das „Große vollständige Universallexikon aller Wissenschaften und Künste, welche bishero durch menschlichen Verstand und Witz erfunden und verbessert worden“ von Johann Heinrich Zedler gibt in dem 1740 erschienenen 23. Band (von insgesamt 68!) hierüber in den Spalten 1147 und 1148 folgende Auskunft:

„*Natur = Lehre, Natur = Kunde, Natur = Wissenschaft, Physick, Physica, Philosophia naturalis.* Das Wort: *Physick* oder *Physica*, ist eigentlich ein griechisches Wort, . . . , welches jegliche Naturen, die in dem gantzen Welt = Creiß zu finden, bedeutet, daß auf solche Weise die *Physick* die Lehre von allen u. jeden Naturen, sowohl Göttlichen und geistlichen, als auch körperlichen sey; . . . Doch nachgehendes ist diese Lehre eingeschräncket worden, und man hat insgemein zu ihrem Object die Natur der Körper gesetzt. Wir sehen sie für diejenige Lehre an, da wir wahrscheinlich erkennen welches die selbstständigen Principien und Anfänge der Würckungen in der Natur sind, die wenigstens dem ersten Anblick nach mit den Sinnen nicht dürfen begriffen werden, damit wir uns gegen die natürlichen Dinge, wenn wir damit zu thun haben, klug verhalten . . .

Insonderheit aber gehet die *Physick* erstlich mit den natürlichen Cörpern um, wodurch sowohl jene grosse und kleine Theile, Berge, Thäler, Bäume, Steine, Kräuter, Thiere, u.s.w. verstanden werden.“

Aus diesem Zitat geht deutlich hervor, das es *die* Physik als „Wissenschaft von den Eigenschaften und Zustandsformen der Struktur und der Bewegung der unbelebten Materie, den diese Bewegungen hervorrufenden Kräften oder Wechselwirkungen und den hierbei konstant bleibenden Größen“ damals noch gar nicht gegeben hat (Zit. aus „Brockhaus abc Physik“ Teil 2, S. 1153). Vielmehr wird Physik oder Naturlehre gleichgesetzt mit einem Teil der Philosophie, der sich mit den Naturerscheinungen befaßt.

Im Verlauf des 18. Jahrhunderts erfolgte nun aber die Abtrennung von der Philosophie und die Differenzierung der Naturlehre in Einzelgebiete, wie z. B. Biologie (belebte Natur), Geologie und „Rationelle Naturwissenschaft“ (Physik, einschließlich Chemie und Astronomie). Eine besondere Bedeutung beim Prozeß der Wandlung des Physikverständnisses kommt

in Deutschland dem Aufklärer und Naturforscher Christian Wolff (1679–1754) zu. In Frankreich waren Denis Diderot (1713–1784) und Jean Le Rond d'Alembert (1717–1783), die in der 2. Hälfte des 18. Jahrhunderts ihre „Enzyklopädie“ unter dem Titel „Enzyklopädie oder Lexikon der Wissenschaften, Künste und Gewerbe“ herausgegeben haben. Dieses Werk, dessen 17 Text- und weitere Bildbände zwischen 1751 und 1772 erschienen sind, hatte wesentlichen Anteil an der Aufgliederung der alles umfassenden Naturlehre in die Einzelwissenschaften, da in ihm das gesamte damals vorhandene Wissen systematisch dargelegt wurde.

Vergleicht man nun nachfolgend aufgeführtes Zitat aus dem Jahre 1799 mit jenem von 1740, so wird die Einengung des Begriffes „Physik“ schon recht deutlich: „Die rationelle Naturwissenschaft hat die Naturphänomene, d. h. die Veränderungen des Zustandes der Körper, und die Begebenheiten in der Körperwelt zum Gegenstande, und die Untersuchung ihrer Ursache und der Gesetze, nach welchen sie geschehen, zum Zwecke.“ (Zit. aus „Annalen der Physik“ herausgegeben von L. W. Gilbert, 1. Band, S. 173). Von Philosophie und belebter Natur ist hier nichts mehr zu lesen.

Das Verständnis der Physik als gleichberechtigte Naturwissenschaft gegenüber der Chemie und auch der Astronomie bildete sich dann in der 1. Hälfte des 19. Jahrhunderts voll heraus, als sich solche Erkenntnisgebiete wie die Elektrizität und der Magnetismus, die Wärmelehre sowie die Optik zu selbständigen Teildisziplinen der Physik formierten.

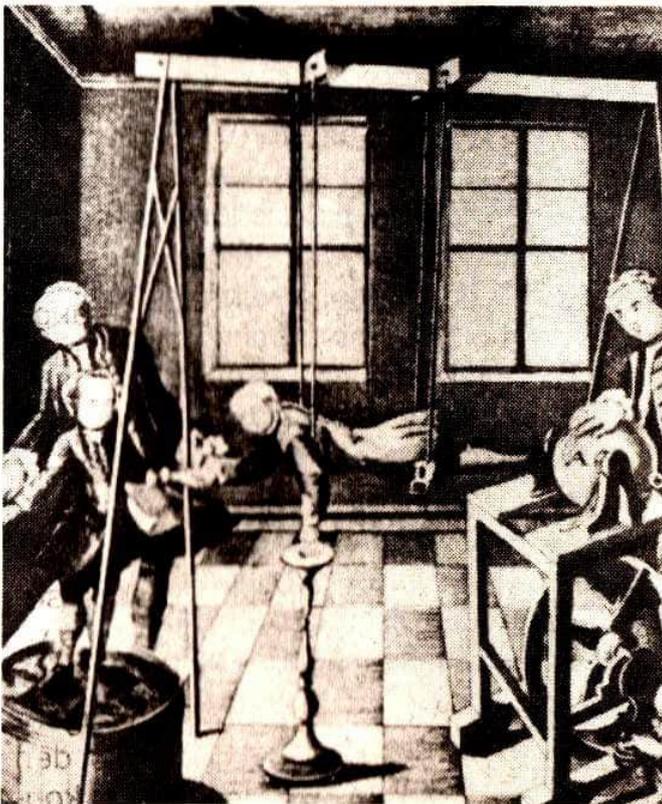


Abb. 1 Eine Spielerei mit der Elektrisiermaschine. Die gläserne Kugel wird in Drehung versetzt, der Junge berührt sie dabei mit den Füßen. Er hängt in Schlaufen, sonst würde er die aufgenommene Reibungselektrizität zur Erde ableiten. So jedoch kann er sie an andere Personen weitergeben. Mit der einen Hand zieht er außerdem Papierschnitzel von einem Tischchen.

Dieser kurze Blick in die Geschichte der Physik läßt nun erkennen, daß auch ein Begriff *seine* Geschichte hat, d. h. daß sich sein Inhalt während der Jahrhunderte ändern kann.

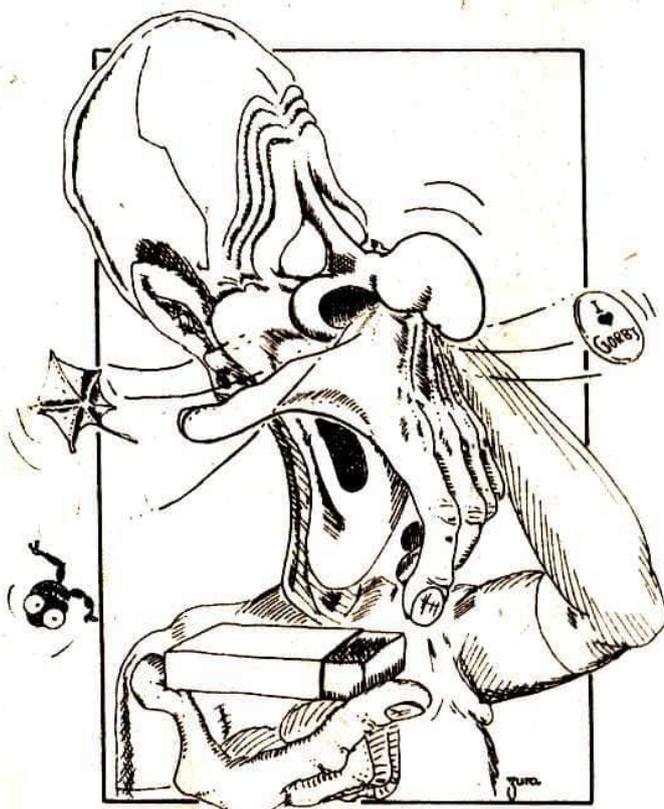
Benutzt man in Diskussionen Literaturstellen aus der Vergangenheit, so sollte diese Erkenntnis bei der Interpretation beachtet werden.

WISSENSWERTES

Jeder Mensch besitzt eine Tabaksdose!

Diese Feststellung würde sicherlich bei den meisten Menschen auf Unverständnis stoßen. Doch sie ist wahr, sofern man sie auf jene Menschen bezieht, die mindestens einen gesunden Daumen besitzen. Die Erklärung hierfür findet man im „Taschenbuch der Anatomie“ von Hermann Voss und Robert Herrlinger (Band I, Einführung in die Anatomie, Bewegungsapparat; 16. Bearbeitete Auflage, Jena 1979). Auf Seite 99 werden 3 der 8 Muskeln erläutert, die auf den Daumen wirken und deren Sehnen als Begrenzung der „Tabatiere“ dienen. Die Sehne des „langen Daumenstreckers“ (Extensor pollicis longus) springt „bei Streckung und Abduktion des Daumens deutlich unter der Haut vor. Sie bildet die ulnare Begrenzung einer bei der erwähnten Bewegung des Daumens auftretenden grubenförmigen Vertiefung (Fossa radialis oder Tabatiere [franz. = Tabaksdose]), die nach der radialen Seite von den Sehnen der beiden folgenden Muskeln begrenzt wird.“ Es sind dies der „kurze Daumenstreckter“ (Extensor pollicis brevis) und der „lange Daumenabspreizer“ (Abductor pollicis longus), die ein

nebeneinanderliegendes Muskelpaar bilden. (Zur Erklärung sei erwähnt, daß die ulna einer der beiden Unterarmknochen ist, der im Volksmund auch als Elle bezeichnet wird, und auf der Seite des kleinen Fingers liegt.) Die Tabak schniefenden Herren benutzen nun die erwähnte grubenförmige Vertiefung zwischen den beschriebenen Sehnen als „Behältnis“ für ihren Schnupftabak, um ihn von dort genußvoll erst in den einen, dann in den anderen Nasenflügel zu befördern.

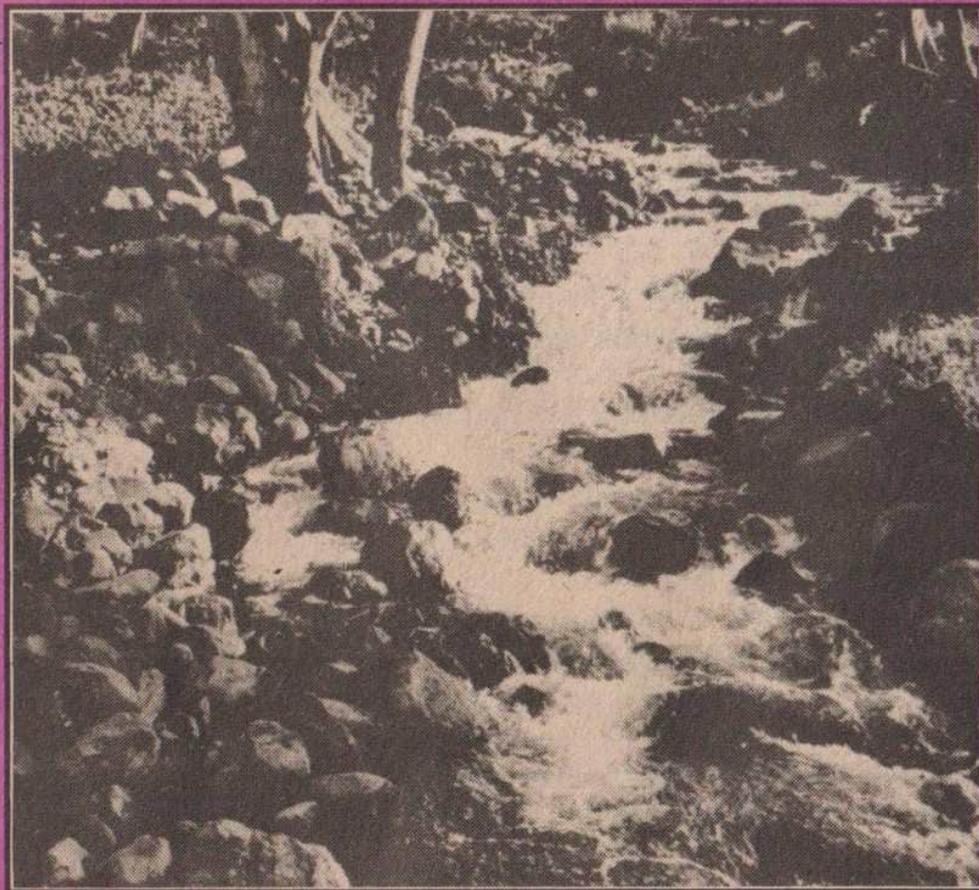


impuls

Schülerzeitschrift
für Physik, Chemie
und Biologie

68

INDEX 322004 · ISSN 0232-9220 · 23. JAHRGANG · PREIS: 0,60 M



Wasser
und seine Bedeutung

4/89

impuls 68



<i>Erik Heinz</i>	
Viren im Computer	3
<i>Olaf Fischer</i>	
Drei mal Sieben – die Entdeckungstour eines kleinen Kindes	7
Anekdote / Wissenswertes	8
<i>Jens Atzrodt</i>	
Wasser und seine Bedeutung	9
<i>K. Goetze</i>	
Wasser – unser wichtigstes, kostbarstes Lebensmittel	16
<i>Peter Kulle</i>	
Faszination der Boden-Mikrowelt	22
AG Junge Physiker / Studentenklubs vorgestellt	29
Buchbesprechung	30

impuls 68 – Schülerzeitschrift für Physik, Chemie und Biologie

Herausgeber: FDJ-Aktiv der Friedrich-Schiller-Universität Jena

Die Zeitschrift erscheint im Eigenverlag der Redaktion **impuls 68**

Anschrift der Redaktion: Max-Wien-Platz 1, Jena, 6900, Telefon 82-25293

Veröffentlicht unter der Lizenznummer 1570 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der DDR.

Erscheinungsweise: zweimonatlich

Heftpreis: 0,60 M

Bezugsmöglichkeiten: durch den Postzeitungsvertrieb

Textfassung: **impuls 68**

Textverarbeitung und Rollenoffsetdruck: Druckerei Volkswacht-Gera, AN (EDV) 13228

Chefredakteur: Andreas Erdmann; stellv. Chefredakteur: Karsten König

Redaktionsmitglieder: Dr. Bringfried Stecklum, Petra Richter, Peter Kroll, Alexander Niehardt, Rainer Strobel, Wolfram Meinhardt, Jens Thole, Andreas Chwala, Klaus-Dieter Herbst, Gustavo Rodriguez Zurita, Matthias Müller, Beate Sidlo, Steffen Steinberg, Kay Sonntag

Gestaltung: **impuls 68**; Steffen Wolf

Redaktionsschluß: 20. 5. 1989

Titelfoto: Naturreichtum Wasser

Erik Heinz
Friedrich-Schiller-Universität Jena
Sektion Physik

Viren im Computer

Computerviren sind zur Zeit eines der meist diskutierten Themen im Bereich der Computertechnik. Immer häufiger sorgen sie für Schlagzeilen, und das nicht nur in der einschlägigen Fachliteratur. Im Zusammenhang mit Diskussionen über Datensicherheit und unbefugtes Eindringen in fremde Computersysteme gewinnt dieses Thema auch für Nichtfachleute an Interesse. Was hat es auf sich mit diesen heimtückischen Wesen, die Computeranwender verunsichern und Leiter von Rechenzentren nicht mehr ruhig schlafen lassen? Wie kann man sich vor ihnen schützen? Auf diese und andere Fragen versucht dieser

Artikel in allgemeinverständlicher Form Antwort zu geben.

Die Grundidee

Das Funktionsprinzip der Computerviren hängt eng mit dem Funktionsprinzip eines Computers überhaupt zusammen. Dieser funktioniert ja erst durch das Zusammenspiel der zwei Komponenten Hardware und Software. Die Hardware, d. h. die elektronische Schaltung im Inneren des Computers, ist bei der Herstellung fest vorgegeben und kann nur vom Menschen verändert werden. Demgegenüber liegt die Software, also die zum Betrieb des Computers notwendigen Programme, in Form von Daten vor. Sofern sich diese Programme auf Speichermedien befinden, die vom Computer beschrieben werden können, z. B. im Arbeitsspeicher, auf nicht schreibgeschützten Disketten oder auf Festplatten, sind sie somit wie alle anderen Daten auch ohne weiteres veränderbar, insbesondere auch vom Computer selbst, unabhängig vom Menschen.

Diese Fähigkeit des Computers, sich sozusagen selbst verändern zu können, ist einer der Ursachen für seine ungeheure Flexibilität und damit für seinen Siegeszug in allen Bereichen des Lebens. Andererseits wird damit aber auch die Möglichkeit eröffnet, Programme zu schreiben, die sich selbst ‚vermehren‘, indem sie Kopien von sich selbst erzeugen und an andere im Arbeits- oder Massenspeicher des Computers vorhandenen Programme so geschickt anhängen, das beim Starten dieser ‚infizierten‘ Programme automatisch wieder das angehängte Programm gestartet wird.

Geschieht das ganze so, daß der Anwender des Computers von alledem nichts merkt, ist der Computervirus fertig. Gelangt nämlich solch ein infiziertes Programm in einen anderen Computer, zum Beispiel durch Überspielen, infiziert es dort weitere Programme usw. Damit wird auch die Analogie zu den biologischen Viren deutlich, schließlich bestehen diese auch fast nur aus einem ‚Programm‘, geschrieben in der ‚Programmiersprache‘ genetischer Code, mit der Fähigkeit, sich in einem fremden Organismus vervielfältigen zu lassen.

Wie äußert sich ein Virus ?

Im Unterschied zu ihren biologischen Namensvettern sind die Computerviren nun allerdings kein Produkt der natürlichen Evolution, sondern von Menschen zu bestimmten Zwecken geschriebene Programme. Aus diesem Grunde beschränken sie ihre Aktivität im allgemeinen auch nicht auf die bloße Vermehrung, sondern entfalten außerdem noch die eine oder

andere Tätigkeit im Computer, je nach Absicht und Phantasie des Programmierers. In den meisten Fällen werden die Virusprogramme als Scherz oder aus Faszination durch die technischen Möglichkeiten des Computers geschrieben. Solche Viren äußern sich dann in der Regel dadurch, daß plötzlich unerklärliche Dinge am Bildschirm passieren, gefräßige Tierchen erscheinen oder auch nur ein dummer Spruch. Bösertige Exemplare können aber auch Daten löschen oder manipulieren und damit dem Anwender eine Menge Ärger bereiten. Lästig ist solch ein Virenbefall immer, da durch die unkontrollierte Vermehrung mindestens wertvoller Speicherplatz verloren geht. Hinzu kommt, daß viele Viren so programmiert sind, daß sie sich erst nach einer gewissen ‚Inkubationszeit‘ bemerkbar machen, d. h. wenn der Anwender auf den Virus aufmerksam wird, hat sich dieser schon massenweise weitervermehrt. Das zwingt den Anwender dann unter Umständen, alle möglicherweise ‚infizierten‘ Programme zu löschen und sich diese neu zu beschaffen. Er muß dann schon über eine Menge Humor verfügen um unter diesen Umständen noch über den ‚Scherz‘ lachen zu können.

Welche Computer sind gefährdet?

Wie aus dem anfangs gesagtem hervorgeht, können prinzipiell für jeden Computertyp Viren programmiert werden. Andererseits ist natürlich der Schaden, der angerichtet werden kann und die Möglichkeit der Weiterverbreitung stark vom Aufbau des jeweiligen Typs abhängig. Grundsätzlich gilt, daß Software, die sich auf ROM (read only memory) oder schreibgeschützten Disketten befindet, von Viren nicht verändert werden kann. Je größer die Datenmenge ist, auf die ein Computer gleichzeitig zugreifen kann, desto größer ist natürlich auch der Schaden, den ein Virus anrichten kann. Für 8-Bit-Rechner existieren daher nur wenige Viren, da die Möglichkeiten der Verbreitung begrenzt und die Programmierung nicht so lukrativ ist. Bereits bei 16-Bit-Rechnern, wie z. B. IBM-PC, Atari ST, Commodore Amiga oder Apple Macintosh muß der Besitzer jedoch beträchtliche Vorsicht walten lassen, insbesondere wenn diese mit einer Festplatte ausgerüstet sind. Viren für solche Computer werden fast ausschließlich durch das legale oder illegale Kopieren von Programmen verbreitet. Hier hilft also nur: Vorsicht bei Programmen ungewisser Herkunft.

Geradezu verheerend sind aber die Wirkungen, die ein Virus in Großrechnern oder in Computerverbundnetzen anrichten kann. Zwar sind solche Systeme mit umfangreichen Schutzmaßnahmen gegen unbefugten Zugriff auf fremde Daten ausgerüstet, gelingt es jedoch einfallsreichen Programmierern, diese zu umgehen, kann das zum gleichzeitigen Ausfall aller an das Netz angeschlossenen Computer führen.

Kleine Geschichte der Computerviren

Im Jahre 1984 berichtete der amerikanische Computerexperte Fred Cohen von der University of Southern California erstmals über Computerviren. Seine Experimente zeigten, daß sich Virus-Programme auf völlig legalen Pfaden außerordentlich schnell verbreiten können. Innerhalb einer Stunde waren die meisten Datenverarbeitungsanlagen verseucht.

Die Fachzeitschrift für Datensicherheit KES brachte im Jahr 1985 erste sachliche Darstellungen in deutscher Sprache. Im März 1985 veröffentlichte Scientific American den Brief von zwei italienischen Programmierern mit der ersten Anleitung für einen PC-Virus. In der BRD gab es erste Anleitungen im April 1985 von der ‚Bayerischen Hackerpost‘ (BHP). Der ‚Chaos Computer Club‘ (CCC) in Hamburg nahm sich dieses Themas 1987 unter dem Aspekt der Datensicherheit an. Bereits auf dem CCC-Kongreß 1986 war mit VIRDEM ein Demonstrationsprogramm über die Wirkung eines Virus vorgestellt worden.

Auch Publikumszeitschriften für Computertechnik sahen ein neues Thema. Darunter c't, die im April 1987 den sogenannten Milzbrandvirus für der Atari ST zusammen mit einem Abwehrprogramm abdruckte. Milzbrand prüft zuerst das Datum, paßt es, werden die Dateien auf den Disketten in beiden Laufwerken irreperabel zerstört. Paßt das Datum nicht, dann sucht Milzbrand nach einem Programm mit einer Länge von mehr als 10 kByte und infiziert es. Im November 1987 veröffentlichte die Amiga-Zeitschrift Kickstart das sogenannte SCA-Virus, das inzwischen weltweite Verbreitung gefunden hat. Das in der Bootspur abgelegte Virus meldet sich ab und zu auf dem Bildschirm mit dem Text: „Something wonderful has happened. Your Amiga is alive!!! And even better. . . Some of your disks are infected by a virus. Another masterpiece of The Mega-Mighty SCA!!“.

Am 30. Dezember 1987 wurde der israelische Student Yuval Rakavy von der Universität Jerusalem von seinem Freund gebeten, nachzuforschen, was eigentlich mit seinem PC los sei. Was Rakavy herausfand, erwies sich als der größte Virus-Fall in Israel. Selbst Computer aus dem Bereich des Militär und des Geheimdienstes waren nicht immun. Das Programm war mit einem Zeitzünder ausgerüstet. Am Freitag, dem 13. Mai 1988 sollten alle an diesem Tag benutzten Programme gelöscht werden. Obwohl das Programm bereits über das ganze Land verbreitet war, konnte es noch rechtzeitig unter Kontrolle gebracht werden.

Auch in den USA wurden Viren vor allem an Universitäten entdeckt, unter anderem an der University of Pittsburgh, der University of Maryland und der Georgetown University. Versteckt im Code enthielt ein Virus an der University of Delaware den Hinweis, doch 2000 Dollar auf ein Konto in Pakistan für ein Gegenprogramm zu überweisen. Es wurde 1986 von Basit Farooq Alvi und seinem Bruder Amgad in Lahore (Pakistan) entwickelt, die nicht wissen, wie es in die USA gelangte.

Ein typisches Beispiel ist ein Virus, das an der Lehigh University in Bethlehem (USA) im November 1987 entdeckt wurde. In der fünften Generation löscht dieses Programm alle Daten, die es erreichen kann. Bis zum heutigen Tag sind im PC-Bereich über hundert verschiedenartige Viren aufgetreten.

Die Geschichte vom Clausthaler Weihnachtsbaum

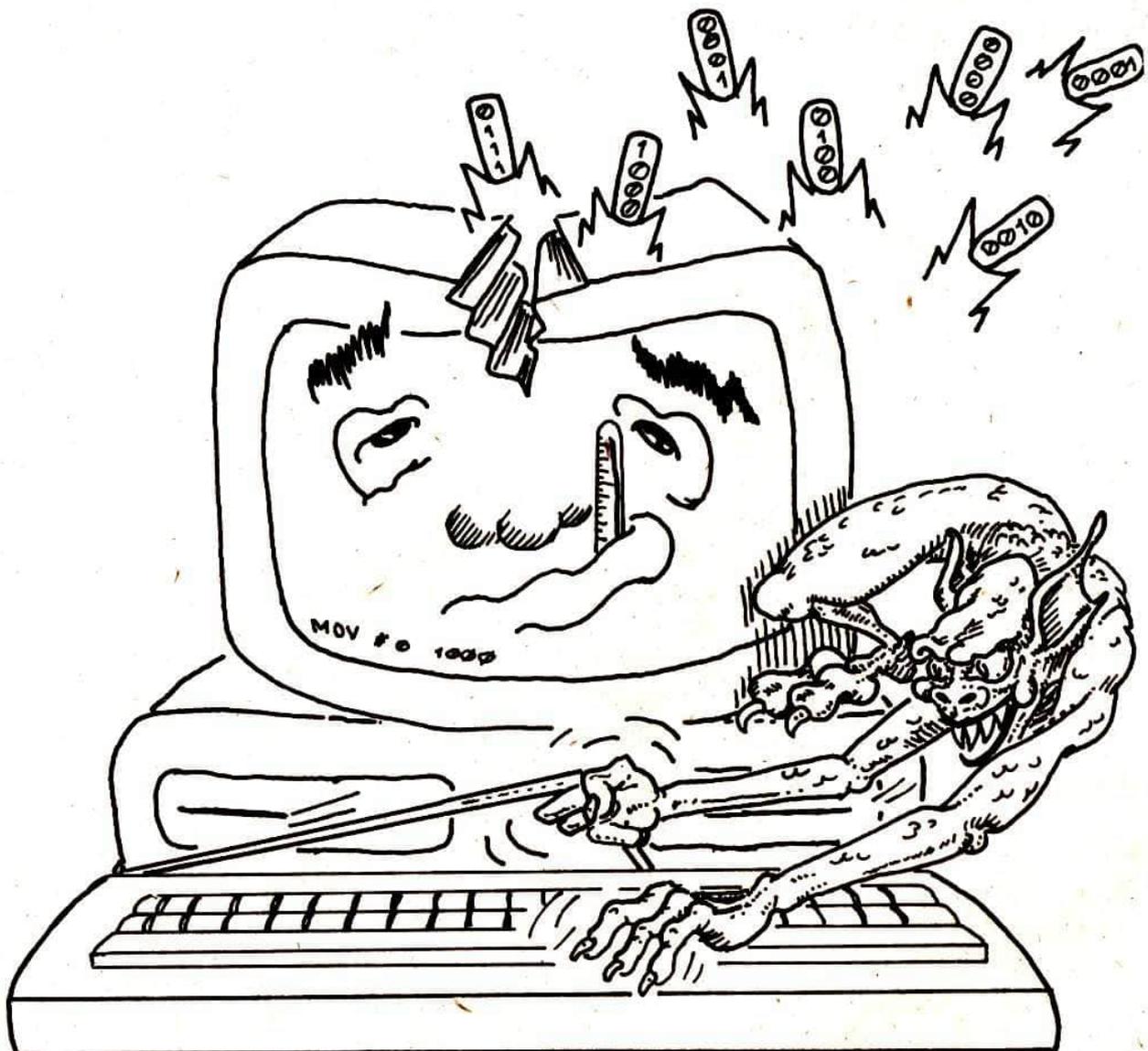
Welches Unheil Viren in Computernetzen anrichten können, zeigte im Dezember 1987 der sogenannte ‚Clausthaler Weihnachtsbaum‘. Die Idee war nicht neu. Weihnachtsbäume werden seit dem Anfang der Computerei als Gag geschickt. Ähnliches muß der Student der Technischen Universität Clausthal (BRD) gedacht haben, als er seinen Freunden auf der zentralen IBM-Anlage einen Gruß zukommen ließ. Er bedachte offenbar nicht, daß die Universität seit etwa einem halben Jahr an den weltweiten Rechnerverbund EARN-BITNET der Universitäten und Forschungseinrichtungen angeschlossen war. Dieses Großrechnernetz hatte zu diesem Zeitpunkt weltweit etwa 2000 Netzknoten von Japan und Australien bis Kanada und Norwegen. Wer der Aufforderung „Let this exec run and enjoy yourself“ nachkam und die Zeichenfolge CHRISTMAS eintippte, der sah kurz darauf einen Weihnachtsbaum auf dem Bildschirm. Währenddessen machte sich das Programm über die Namenslisten des Benutzers her, reproduzierte sich und verschickte sich an alle gefundenen Adressen selbst.

Der Gruß blieb am 8. Dezember noch innerhalb des Rechenzentrums. Tags darauf gelangte er an einen Studenten der Mathematik und Informatik, Ulf. B., der über den Verbund weltweit Kontakte geknüpft hatte. Der Weihnachtsbaum aus dem Harz ging ab 12.43 Uhr um die Welt. Um 14.53 Uhr schloß sich die Kette. Der erste Brief kam nach Clausthal zurück.

Gegen Abend kamen über das Netz die ersten Warnungen und Hilferufe aus den USA. Durch die massenhafte Vermehrung der Datei wurden zum Teil die Leitungen blockiert. Verheerenden Schaden erlitt das weltweite IBM-Konzernnetz VNET, das mit dem EARN-BITNET über ein gateway in New York verbunden ist. Es brach am 11. Dezember teilweise zusammen. Am 10. Dezember begannen Systemspezialisten mit Abwehrmaßnahmen. Über das Netz wurde ein Hilfsprogramm angeboten, das die im Rechner erkannten CHRISTMAS-Programme löschte. Ein Jägerprogramm wurde auf die Spur des Kettenbriefes gesetzt, um im Netz jede CHRISTMAS-Datei und schließlich auch sich selbst zu löschen. Aber alle diese Maßnahmen kamen zu spät.

Obwohl der Weihnachtsbaum noch kein echtes Virus war, er kopierte sich nicht von allein, zeigt er die Problematik der Computernetze. Inzwischen sind andere Fälle bekannt geworden, unter anderem auch bösartige Viren, die Dateien der Benutzer löschen. Pro Woche müssen in den großen internationalen Computernetzen durchschnittlich 1–2 kleinere Viren unschädlich gemacht werden.

Gerade in Ländern mit hoher Entwicklung der Computertechnologie stellt diese Gefahr gegenwärtig ein ernstes Problem bei der weiteren Entwicklung der Informationsverarbeitung dar. Hier gilt es, einen gangbaren Kompromiß zwischen Freizügigkeit des Informationsaustausches und hoher Datensicherheit zu finden.



Olaf Fischer
Diplomlehrer
Sternwarte Jena

Drei mal Sieben – die Entdeckungstour eines kleinen Kindes

Es ist sieben Uhr. Sie betritt die Küche, entdeckt die verschiedenen Haushaltssiebe im offenstehenden Schrank, und ihre kindliche Neugier ist geweckt. Zunächst wird das ganz große metallene Sieb mal über das spielende Taschenradio gelegt, weil es so schön darunter paßt. Doch sobald das Radio unterm Sieb verschwunden ist, hört es auch schon auf zu spielen. Das gibt schon mal zu denken. Da ist ja noch ein kleineres Sieb! Ob die Kerzenflamme wohl durch die Sieblöcher paßt? Sie probiert es aus. In ihrem vorbehaltslosen Denken nimmt sie das Ergebnis schneller hin als wir. Zu guter Letzt findet sie im Spülbecken ein noch nicht abgewaschenes fettiges Sieb. Schon hat sie es in der Hand. Die Form des Siebes hat ihr Interesse gefunden – kann man doch damit auch Wasser schöpfen. Ob das wohl klappt?

Ab dieser Stelle wollen wir das spielende Lernen des kleinen Mädchens nicht weiter beobachten. Haben sich doch für uns physikalisch vorbelastete Menschen einige Fragen aufgedrängt. Was ein kleines Kind vermag, das werden wir wohl auch können. Also probieren wir es einmal, wo doch die Experimentieranordnungen in jedem Haushalt bereitstehen. Nach der Praxis darf die Theorie nicht fehlen. Wir geben uns erst zufrieden, wenn wir die Beobachtungen mit Hilfe bekannter Gesetzmäßigkeiten aus der Physik erklären können. Wer soll denn sonst den Kleinen die Wunder der Natur nahebringen, wenn nicht wir!?



Die jüngste „Physikerin“ der Welt beim Experimentieren

Bunsen zum Schmunzeln

Einer der herausragenden Naturwissenschaftler im 19. Jahrhundert ist der Deutsche Robert Wilhelm Bunsen (1811–1899). Jedem jungen Menschen ist dieser Name schon einmal begegnet, wenn er sich an den im naturwissenschaftlichen Unterricht in den Schulen verwendeten sogenannten **Bunsen-Brenner** erinnert. Dieser wurde von jenem Wissenschaftler erfunden. Aber auch auf die im Astronomieunterricht vermittelten Kenntnisse zur chemischen Zusammensetzung der Sterne sei hingewiesen, denn das auf die Erde gelangende Licht der Sterne konnte erst seit 1860 zu diesem Zwecke ausgewertet werden, nachdem nämlich R. W. Bunsen gemeinsam mit Gustav Robert Kirchhoff (1824–1887) die Spektralanalyse begründet hatte. Über den Chemiker und Physiker R. W. Bunsen gibt es nun verschiedene Anekdoten, von denen eine nachfolgend wiedergegeben wird.

Bunsen liebte, nachdem er eine Zeitlang den Schalk gespielt hatte, in die Rolle der absoluten Naivität, die ihm bequemer war, zurückzufallen. Als Beispiel mag jene Geschichte dienen, wie er seine Vergeßlichkeit in bezug auf eine Einladung dadurch gutzumachen suchte, daß er ganz unverfroren am folgenden Tag zur richtigen Stunde im Gesellschaftsanzug in dem betreffenden Hause erschien. Die Familie, die bei der Sicherheit des Auftretens des Gastes an ein Versäumnis ihrerseits dachte, trommelte rasch hinter dessen Rücken noch ein paar Hausfreunde zusammen und veranstaltete mit den schönen Resten des gestrigen Essens in der Tat eine Art von Gesellschaft, die für eine wirkliche gehalten werden konnte. Als man sich nun nach der Mahlzeit zum Kartenspiel setzte, das Bunsen sehr liebte, und zu dem er selbst einmal wöchentlich ein paar Freunde bei sich zu sehen gewohnt war, und man gemütlich wurde, setzte der Schalk auf einmal seine verbindliche Miene auf und begann zu erzählen: „Denken Sie sich, meine Herrschaften, was mir dieser Tage begegnet ist; ich werde eingeladen und vergesse aber die Einladung. Was war zu machen? Ich ziehe am folgenden Tag meine guten Kleider an . . .“ Kurz, er erzählt die ganze Geschichte unter der Maske einer zweiten unerhörten Zerstreutheit. Wie die Familie darauf reagierte, ist nun allerdings nicht bekannt.

(An dieser Stelle sei dem Chemiehistoriker und Direktor des Institutes für Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften der Friedrich-Schiller-Universität Jena, Prof. Stolz, gedankt, der jene (und noch weitere) Anekdoten der Redaktion zur Verfügung stellte.)

WISSENSWERTES

Neues von der Supernova 1987 A

Die Beobachtung von SN 1987 A (siehe „impuls 68“ Heft 4/87) sorgt nach wie vor für aufsehenerregende und widersprüchliche Ergebnisse. Ist der Supernovaüberrest ein Neutronenstern, der sich als Pulsar bemerkbar macht, oder ein Schwarzes Loch? Die Lösung dieser wichtigen Frage schien J. Middleich und Mitarb. gelungen zu sein, die am 18. Januar die Supernova mit einer Zeitauflösung von 0,5 ms an einem 4-m-Teleskop photometrierten. Die Datenanalyse zeigt einen pulsierenden Signalanteil mit einer Amplitude von 0,16 % der Gesamthelligkeit bei einer Frequenz von 1968,63 Hz. Also aus für die black hole-Hypothese? Noch nicht, denn Ende Januar blieb laut Middleich das Signal aus. Einige Wochen später gelang es anderen Beobachtern trotz einer höheren Empfindlichkeit (0,026 %) ebensowenig, das Blinken des Pulsars festzustellen.

Fortsetzung auf Seite 28

Jens Atzrodt
 Schüler
 EOS „Johannes R. Becher“ Jena

Wasser und seine Bedeutung

Eigenschaften

In Seen und Flüssen sowie an Meeresstränden tummeln sich jährlich viele Urlauber in jener Flüssigkeit, die der griechische Naturphilosoph Thales (etwa 654–546 v. u. Z.) für den Urstoff überhaupt hielt, aus dem alle anderen Dinge hervorgegangen seien. Aber wer ahnt schon, daß dieses uns so einfach und selbstverständlich erscheinende Naß physikalisch betrachtet ein höchst sonderbarer Stoff ist, der noch nicht alle seine Geheimnisse preisgegeben hat.

Wieviel aber wissen wir, die wir täglich mit Wasser umgehen, über diesen Stoff? Wie-

viel Bedeutung hat Wasser für die Natur und für die Technik? Was ist Wasser überhaupt? Diese Fragen und einige andere interessante Probleme, die mit Wasser zusammenhängen, möchte ich in den nun folgenden Darlegungen etwas näher untersuchen.

Wasser ist bei gewöhnlichen Temperaturen eine geruch- und geschmacklose, durchsichtige, in dünner Schicht farblose, in dicker Schicht bläulich schimmernde Flüssigkeit.

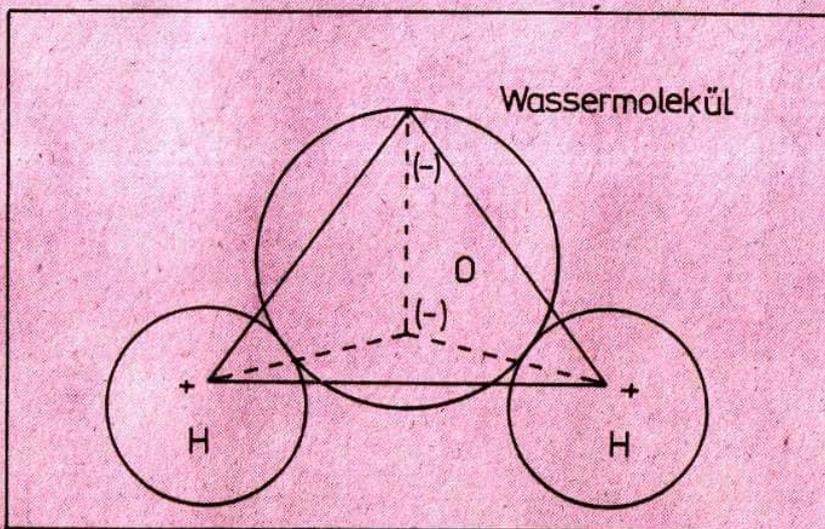
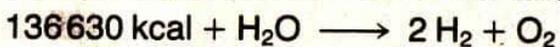


Abb. 1 Wassermolekül

Das Wassermolekül ist gewinkelt aufgebaut. Die Verbindungslinien der Wasserstoffkerne schließen einen Winkel von $104,5^\circ$ ein. Der Bindungsabstand beträgt 96 pm. Durch die Elektronenaffinität des Sauerstoffs entstehen in den Wasserstoffatomen zwei positive Ladungsschwerpunkte. Ihre polarisierende Wirkung führt zur Herausbildung zweier negativer Ladungsschwerpunkte in der Elektronenhülle des Sauerstoffs. Aus Symmetriegründen nimmt man für die Verteilung dieser Ladungen Tetraederform an, wie die Abbildung 1 zeigt. Die Bindungspolarität und der gewinkelte Bau sind die Ursachen des Dipolcharakters des Wassermoleküls. Dieser verschafft Wasser die außergewöhnliche Dielektrizitätskonstante (bei 18°C 80.84) und die Fähigkeit, Verbindungen zu lösen.

Die Bindung zwischen Wasserstoff und Sauerstoff im Wassermolekül ist sehr fest und läßt sich nur durch Zufuhr erheblicher Energiemengen sprengen.



Die Energie kann dabei in verschiedener Weise (thermisch, elektrisch oder chemisch) zugeführt werden.

Wasser als Lösungsmittel

Viele Verbindungen dissoziieren in wäßrigen Lösungen in Ionen. In wäßrigen Lösungen von Elektrolyten lagern sich die Dipolmoleküle des Wassers mit ihrer entgegengesetzt geladenen Seite an die positiv bzw. negativ geladenen Ionen an. Um die Ionen bildet sich dadurch eine Hülle von Wassermolekülen. Diesen Vorgang nennt man Hydratation.

Insbesondere kleine, hoch geladene Ionen werden dabei von einer relativ stabilen Hydrathülle umgeben, die oft auch bei der Kristallisation der Salze aus der wäßrigen Lösung erhalten bleibt. Das Wasser ist dann als Kristallwasser in die Moleküle eingebunden.

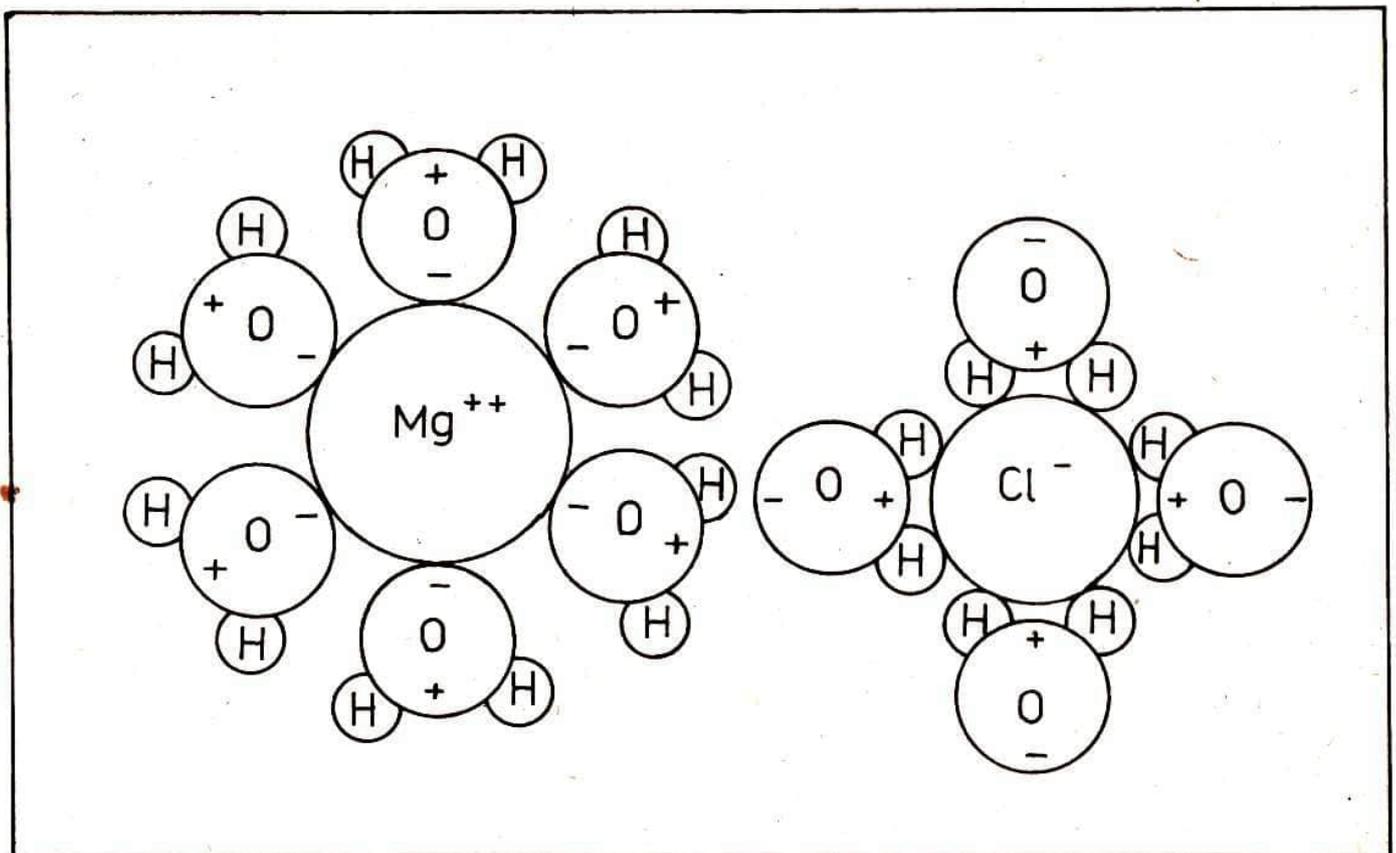


Abb. 2 Hydratation

Die gelösten Stoffe befinden sich in der Lösung in einem dem Gaszustand ähnlichen Zustand.

Beispiel:

Zucker wird in Wasser gelöst. Dieser verteilt sich dann molekular. Die Zuckermoleküle schwirren in der Lösung, wie die Moleküle eines Gases, regellos umher, sodaß sich der gelöste Stoff wie ein gasförmiger verhält.

Zwar üben die Moleküle des flüssigen und daher spezifisch dichteren Lösungsmittels starke Anziehungskräfte auf die gelösten Moleküle aus, innerhalb der Lösung heben sich diese aber gegenseitig auf, da sie hier von allen Seiten wirken. Nur an den Außenflächen der Flüssigkeit, an denen die Anziehung einseitig nach dem Inneren erfolgt, wirken sich die Kräfte aus. Daher kommt es, daß die gelösten Moleküle keinen dem Gasdruck entsprechenden Druck auf die Wände des Gefäßes auszuüben vermögen.

Dies ist erst dann der Fall, wenn das die Lösung enthaltende Gefäß von Lösungsmittel umgeben ist und die Wände des Gefäßes halbdurchlässig, d. h. durchlässig für das Lösungsmittel und undurchlässig für den gelösten Stoff, sind. Denn nur dann wirken an den Wandgrenzflächen die Anziehungskräfte auch nach außen.

Jetzt prallt das Molekül wie ein Gasmolekül gegen die halbdurchlässige Wand und übt einen gewissen Druck auf diese aus. Ist die halbdurchlässige Wand elastisch, so bläht sie sich demnach im Lösungsmittel wie ein mit Gas gefüllter Gummiballon auf, während zugleich Lösungsmittel durch die ausgeweitete, für das Lösungsmittel durchlässige Membran in die Lösung eindringt. Diese Eigenschaft ist für die Natur sehr wichtig.

Beispiel:

Die Wasseraufnahme der Pflanzen beruht auf diesem Prinzip, das man Osmose nennt. In der Zelle befindet sich die Lösung und im Boden das Lösungsmittel. Beide Flüssigkeiten haben eine unterschiedliche Konzentration und dadurch das Bestreben diese auszugleichen. Deshalb wird das Wasser mit gelösten Mineralsalzen aufgenommen.

Aggregatzustände

Nach dem Alltagswissen gefriert Wasser bei Temperaturen unter $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dies gilt aber nur unter bestimmten Bedingungen. Extrem reines Wasser läßt sich unter den Nullpunkt abkühlen ohne zu gefrieren. In Form feinsten Tröpfchen von wenigen Tausendstelmmillimeter Durchmesser in einer anderen Flüssigkeit, mit der es sich nicht vermischt, „emulgiert“, und unter dem 2000fachen des normalen Luftdrucks in Meeresspiegelhöhe bleibt das Wasser noch bei $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ flüssig. Auch bei Glaskapillaren von 0,2 bis 0,05 mm lichter Weite gelang es, Wasser bei $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ und dem 4000fachen Luftdruck flüssig zu halten.

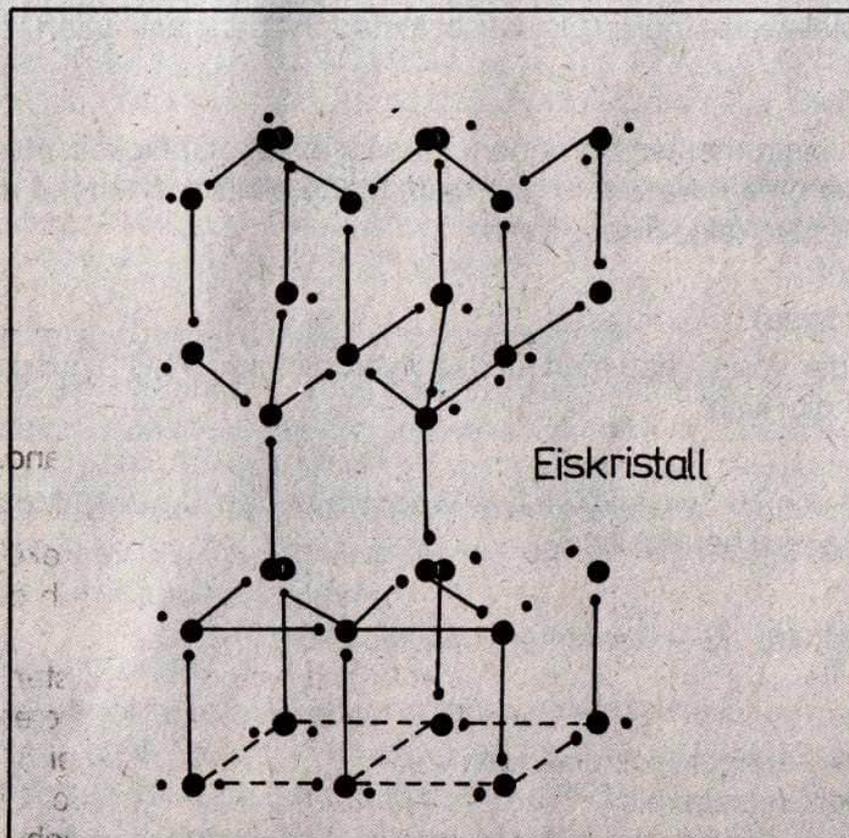


Abb. 3 Eiskristall

Bei Normaldruck kristallisiert Wasser hexagonal in Kristallgitter. Bei der Erstarrung des Wassers zum energieärmeren Stoff Eis haben die Moleküle ihre freie Beweglichkeit eingebüßt, ihre Wärmebewegung besteht nur noch in einem pendelartigen, elastischen Schwingen um bestimmte Ruhelagen. Am Schmelzpunkt des Eises bricht die relativ sperrige Struktur weitgehend zusammen, die Packungsdichte der H₂O-Moleküle erhöht sich, womit ein Dichteanstieg beim Übergang in den flüssigen Zustand verbunden ist.

Die Moleküle des Wassers im flüssigen Zustand liegen nicht einzeln vor, sondern in Form von Molekülassoziationen (H₂O)_n, wobei n durchschnittlich 6 beträgt. Hierauf beruht der vergleichsweise hohe Siedepunkt des Wassers. Diese Molekülassoziationen kommen durch die Wasserstoffbrückenbindung zustande, die sich zwischen den elektronegativen Sauerstoffionen und den elektropositiven Wasserstoffatomen ausbildet.

Dichte des Wassers

Beim Übergang vom flüssigen in den festen Zustand dehnt sich Wasser im Unterschied zu den meisten Flüssigkeiten unter Abnahme der Dichte um ca. 9 % aus.

Beispiel:

Dies hat für die Natur eine große Bedeutung. Im Winter sprengt das in die Risse und Spalten von Gesteinen eingedrungene Wasser die Felsmassen. Es fördert so durch die Schaffung neuer Oberfläche die Verwitterung, welche eine bedeutende Rolle bei der Neubildung des für die Vegetation erforderlichen Erdbodens spielt.

Mit steigender Temperatur nimmt die Dichte des flüssigen Wassers zunächst bis 4 °C zu, um dann wie bei den meisten Flüssigkeiten abzunehmen. Man nennt das Dichteanomalie.

Die Tatsache, daß alles Wasser von höheren und tieferen Temperaturen als 4 °C leichter ist als Wasser mit einer Temperatur von 4 °C hat für das biologische Geschehen auf der Erde wesentliche Konsequenzen. Beispielsweise frieren Gewässer stets von oben nach unten zu.

Dissoziation des Wassers

Wenn man mit sehr empfindlichen Instrumenten bei reinem Wasser eine Leitfähigkeitsmessung vornimmt kann man feststellen, daß Wasser in geringem Maße elektrisch leitend ist. Das bedeutet, daß Wasser in gewisser Weise dissoziiert ist.

Es besteht folgendes Gleichgewicht:



Vereinfacht man die Gleichung in der Weise, daß man für das Hydroniumion (H₃O⁺) nur das Wasserstoffion (Proton) anführt, ergibt sich:



Die Dissoziation ist so gering, daß von 10¹⁰ Molekülen des Wassers bei 18 °C nur 14 Moleküle zerfallen. Der Dissoziationsgrad (α) beträgt also

$$\alpha = \text{ZD}/\text{G} = 1,4 \cdot 10^{-9}$$

ZD – Zahl der dissoziierten Moleküle G – Gesamtzahl der Moleküle

Vorkommen

Wasser kommt auf der Erde in den drei Aggregatzuständen vor:

fest: Polareis, Meereis, Gletschereis

flüssig: Oberflächenwasser, Grundwasser, Meerwasser, Niederschlagswasser

Wasserdampf

Oberflächenwasser bezeichnet das oberflächlich abfließende Niederschlagswasser und das Wasser aus Quellen, Bächen, Flüssen und Talsperren.

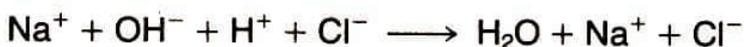
Etwa 71 % der Erdoberfläche werden von Wasser bedeckt. Das Gesamtvolumen der Weltmeere schätzt man auf $1,348 \cdot 10^9 \text{ km}^3$. Dies entspricht 97,6 % der Wasserreserven der Erde. Nur etwa 2,4 % des auf der Erde vorkommenden Wassers ist Süßwasser, wovon noch ca. $\frac{3}{4}$ als Polareis und Meereis einer Nutzung weitgehend entfallen.

Der Salzgehalt des Meeres liegt durchschnittlich bei 3,5 %, davon entfallen 2,7 % auf Natriumchlorid.

Vom Gesamtwasservorkommen auf der Erde entfallen 0,5 % auf das Grundwasser, 0,01 % auf die Feuchtigkeit im Boden, 0,009 % auf die Süßwasserreserven, 0,008 % auf salzhaltige Seen und Binnenseen. Etwa 0,004 % entfallen auf Wasser, welches in Pflanzen und Tieren enthalten ist, der Wasserdampf in der Atmosphäre nimmt 0,001 % ein und das Wasser der Flüsse nur 0,0001 %.

Gewinnung und Reinigung

Wasser entsteht bei der Verbrennung von Wasserstoff sowie als Nebenprodukt bei vielen chemischen Reaktionen, wie Verbrennungsvorgängen, Neutralisationsreaktionen, Veresterungen, Kondensationen u. a.



Die Gewinnung von Wasser bezieht sich üblicherweise auf die Reinigung von natürlichem Wasser, wobei die anzuwendenden Verfahren der Wasseraufbereitung von der Verschmutzung des Wassers und dem Anwendungszweck bestimmt werden.

Abwasserreinigung

Damit das natürliche Gleichgewicht in den Flüssen und Seen nicht noch mehr gestört wird, müssen Stoffe für die die Selbstreinigungskraft der Gewässer zu ihrer Verarbeitung nicht ausreicht, entfernt werden.

Hier sollen nur einige Reinigungsverfahren genannt werden: Mechanische Reinigung, Biologische Reinigung, Physikalische Aufbereitungsverfahren, Chemische Aufbereitungsverfahren sowie Entkeimung des Wassers.

Anforderungen an die Trinkwassergüte

Das Trinkwasser muß von Lebewesen, Keimen und Sporen, sowie chemischen und physikalischen Verunreinigungen frei sein. Es soll klar, farblos, geruchs- und geschmacksfrei und frisch sowie nicht wärmer als $15 \text{ }^\circ\text{C}$ sein, eine Gesamthärte von 28°dH (siehe nächsten Abschnitt) nicht übersteigen und an organischen Stoffen nicht mehr als 12 mg l^{-1} besitzen. Damit wir täglich Trinkwasser mit diesen Eigenschaften zur Verfügung haben, muß das natürliche Wasser aufbereitet werden.

Wasserhärte

Das natürliche Wasser ist niemals chemisch rein. In ihm sind verschiedene Stoffe gelöst (Sauerstoff, Stickstoff, Kohlendioxid, Schwefeldioxid u. a.).

Wenn das Wasser dann in die Erdkruste eindringt, werden weitere Verbindungen gelöst. Das vorher schon gelöste Kohlendioxid unterstützt dabei besonders das Lösen der Carbonate des Calciums, Magnesiums, Eisens, Mangans usw. in Form der Hydrogenkarbonate.



Im Boden vorhandener Pyrit FeS_2 wird bei Bildung von Schwefelwasserstoff H_2S durch Kohlensäure umgesetzt.



Mangan- und Eisenverbindungen sind im Grundwasser gelöst und fallen bei Zutritt von Sauerstoff als Oxidhydrate aus.

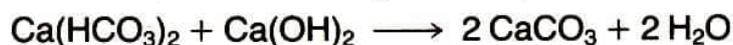
Für die Härte eines Wassers ist nur der Gehalt an Calcium- und Mangansalzen wichtig. Sie werden deshalb auch als Härtebildner bezeichnet. Man unterscheidet zwischen der Carbonathärte KH und der Nichtcarbonathärte NKH. Die Carbonathärte ist eine zeitweilige Härte, die man durch Kochen entfernen kann, da hierbei das Kohlendioxid aus dem Gleichgewicht entfernt wird. Dadurch fallen die unlöslichen Carbonate aus. Die Nichtcarbonathärte wird auch als bleibende Härte bezeichnet. Sie kann durch Kochen nicht beseitigt werden. Die Gesamthärte ist die Summe der Carbonat- und der Nichtcarbonathärte. Man gibt die Härte in deutschen Härtegraden an ($^\circ \text{dH}$).

Enthärtung des Wassers

Es gibt verschiedene Möglichkeiten der Enthärtung des Wassers. So das Tricalcium-Phosphat-Verfahren, Ionenaustauscher, Kationenaustauscher, Anionenaustauscher, Kalk-Soda-Verfahren.

Das Kalk-Soda-Verfahren ist eines der ältesten und der am verbreitetsten Verfahren. Hierbei sollen Calciumhydroxid und Soda die Härtebildner ausfällen.

Calciumhydroxid beseitigt die temporäre Härte:



Soda beseitigt die permanente Härte:



Das Natriumsulfat ist leicht löslich. Man kann mit dem Kalk-Soda-Verfahren eine Enthärtung bis auf $0,3^\circ \text{dH}$ erreichen.

Bedeutung und Verwendung

Für das Leben auf der Erde ist das Vorhandensein von Wasser unabdingbare Voraussetzung. Der menschliche Körper besteht zu 60 bis 70 % aus Wasser. Eine normal lebende Zelle enthält ca. 80 %, Wasserpflanzen können bis zu 95 % und Quallen bis zu 98 % Wasser enthalten. Alle Lebensfunktionen der Organismen auf der Erde sind spezifisch auf Wasser eingestellt.

Wasser spielt nicht nur bei der Photosynthese eine große Rolle. Wasser ist Quellungsmittel. Bei der Quellung der Samen dringen Wassermoleküle in die Zelle ein und lagern sich zwischen die Moleküle der Pflanzenstoffe. Bei der Quellung entsteht eine Größen- und Massenzunahme des gequollenen Pflanzenteils. Wasser reguliert den Quellungszustand des Zellplasmas.

Das Wasser ist aber auch Lösungs- und Transportmittel. Im Boden führt es zur Dissoziation der Mineralsalze, die dann mit Hilfe der Osmose aufgenommen werden.

In Pflanzen ist ein hoher Anteil an Wasser enthalten. Dadurch ist jede pflanzliche Zelle unter normalen Bedingungen straff und prall gefüllt, bedingt durch den entstehenden Zellinnendruck (Turgor), der auf die Zellwand wirkt.

Auch für das Klima hat das Wasser eine besondere Bedeutung. Es trägt entscheidend mit dazu bei, daß auf der Erde ein weitgehend ausgeglichenes Klima herrscht. Aufgrund seiner hohen Wärmekapazität speichern die Ozeane riesige Wärmemengen aus der Energie der

sommerlichen Sonnenstrahlung und geben sie nur allmählich während des Winters wieder an die Luft ab. Gebiete wie Sibirien, die weit von der Küste entfernt liegen, haben deshalb auch meist sehr kalte Winter.

Dem Wasser muß man eine hohe Energie zuführen, damit es gasförmig wird. Umgekehrt wird diese Energie wieder frei, wenn Wasserdampf in den flüssigen oder festen Zustände übergeht, also z. B. bei der Bildung von Wolken. Die Wärmemenge, die bei etwa 0 °C infolge der Kondensation von nur 1 kg Wasserdampf frei wird, reicht aus um 1900 m³ Luft um ein Grad zu erwärmen. Im Frühjahr verhindert das Wasser eine schlagartige Erwärmung der Luft, weil beim Schmelzen von Schnee und Eis (soweit vorhanden) riesige Wärmemengen verbraucht werden.

Der Wasserkreislauf

Mit Wasserkreislauf bezeichnet man die zeitliche Folge der Zustands- und Ortsveränderungen des Wassers durch Niederschlag, Abfluß, Verdunstung, Speicherung und Verbrauch. Energiequelle für die Aufrechterhaltung des Wasserkreislaufs ist die Sonneneinstrahlung. Ein Teil des Wassers, das sich auf der Erde befindet, verdunstet. Hierbei spielen Sonne, Wind, Luft und Vegetation eine große Rolle. Wasser kann auch durch Transpiration der Pflanzen verdunsten. Da die Luft die Wärmestrahlung der Sonne weniger absorbiert als das Festland und das Wasser, wird die Atmosphäre hauptsächlich von unten aufgeheizt. Dadurch nimmt die Temperatur mit zunehmender Entfernung von der Erdoberfläche ab. So können sich in großer Höhe aus überschüssigem Wasserdampf wenige schwebende Eiskristalle bilden. Allein durch diesen Vorgang bleibt die Wassermenge auf der Erde relativ konstant, denn sonst würde ständig Wasserdampf aus der Atmosphäre austreten. Die Eiskristalle sammeln sich schließlich zu Wolken und fallen unter bestimmten Voraussetzungen als Niederschlag zur Erde zurück.

Ein Teil des Wassers versickert sofort, ein anderer Teil fließt ab. Er steht nun der wirtschaftlichen Wassernutzung zur Verfügung. Der Kreislauf beginnt von neuem.

Wasser spielt aber auch in der Technik eine große Rolle. Da es eine große Wärmekapazität besitzt, wird es als Kühlmittel in vielen Bereichen der Technik eingesetzt. Wasser dient in der Technik auch als Lösungs- und Verdünnungsmittel. Es ist Grundstoff bei zahlreichen technischen Verfahren.

Die aufgeführten Beispiele kennzeichnen nur einen kleinen Teil der Bedeutung des Wassers in Natur und Technik. In beiden Bereichen ist ein Auskommen ohne Wasser nicht denkbar. Seine Bedeutung für unser Leben wird nicht abnehmen, sondern in der Zukunft möglicherweise noch wachsen. Deshalb ist es notwendig, die natürlichen Wasserressourcen zu schonen und sparsam mit ihnen umzugehen.

K. Goetze
Diplom-Geologe
Ingenieur im Hygienedienst

Wasser –
Unser wichtigstes,
kostbarstes Lebensmittel

Ein Beitrag zum Weltumwelttag
am 5. Juni 1989

Jeden Tag, zu jeder Stunde greift die Hand zum Wasserhahn. Wir sind gewöhnt, daß Wasser ständig aus der Leitung entnehmbar ist. Gebiete, in denen Wassermangel herrscht, sind von uns weit entfernt. Ist das der Grund, daß wir den bewußten Umgang mit Wasser, Trinkwasser noch nicht gelernt hatten?

Jahrtausendlang galt das kühle Naß einer Quelle als Inbegriff der Reinheit, der Gesundheit, der labenden Kühle.

Bereits Aristoteles brachte dies überzeugend zum Ausdruck:

„Das Beste aber ist das Wasser.“

Wie kostbar das Wasser war, geht aus der Tatsache hervor, daß bereits auf einer jungsteinzeitlichen Felsenmalerei in der Sahara ein Brunnen dargestellt ist. Die Fassung von Grundwasser war schon im 4. Jahrtausend vor unserer Zeitrechnung in Mesopotamien bekannt. Aus dieser Zeit stammen Brunnen, die mit Tonröhren versehen waren. Nicht zu vergessen die berühmten Aquadukte der Römer, die das kostbare Naß über große Entfernungen in die Städte brachten. Ritter ließen tiefe Burgbrunnen graben und Zisternen bauen, denn so manche Burg wurde nicht nur ausgehungert, sondern auch des Durstes wegen aufgegeben. Mit Beginn der mittelalterlichen Städtebildung speiste Quell- und Bachwasser Röhrenbrunnen aus Holz.

Unsere Vorfahren mußten das Wasser mit Eimern, Butten (Holzgefäße) und Kannen in ihre Behausungen tragen. Wie gut geht es uns da in dieser Beziehung jetzt! Doch auch damals gab es schon Verordnungen zum Schutz des Wassers und der Gewinnungsanlagen, wie alte Verfügungen ausweisen. Doch leider war dies nur von lokaler Bedeutung. Das Wasser, das aus ungeschützten Hausbrunnen oder verschmutzten Gewässern entnommen wurde, konnte Erkrankungen oder sogar verheerende Seuchen verursachen, Cholera und Typhus entvölkerten ganze Landstriche.

Im 18./19. Jahrhundert kam es aufgrund der industriellen Revolution und des damit verbundenen rasanten Wachstums der Städte zu einer ersten ernsthaften Zuspitzung der Trinkwasserversorgung der Bevölkerung. In Berlin beispielsweise verdoppelte sich die Bevölkerungszahl von 1825 bis 1850 von einer viertel auf eine halbe Million. So nimmt es nicht Wunder, daß bereits 1856 das erste Wasserwerk in Berlin in Betrieb genommen wurde.

Aber auch das Abwasser war ein Problem. Im Mittelalter wurden Fäkalien, Abfälle oder häusliche und gewerbliche Abwässer einfach auf die Straßen oder in die Rinnsteine geleitet. Noch im 19. Jahrhundert entledigte man sich der Spül-, Wasch- und Schmutzwasser aus Haushalten und Betrieben über diese Rinnsteine. Die anfallenden Fäkalien wurden in einfachen Jauchegruben auf dem Grundstück gesammelt. Oft wurden dadurch die benachbarten Hausbrunnen verseucht und immer wieder kam es zu Typhus- und Cholera-Epidemien. Schon aus hygienischen Gründen wurden zentrale Entwässerungsanlagen notwendig (z. B. Berlin bereits 1878).

In der heutigen Zeit, in unseren Breiten, sind solche Epidemien ausgeschlossen, da das Trinkwasser vor seinem Verbrauch einer mehrfachen Kontrolle unterzogen wird. Vom Gesetz-

geber wurden für die wichtigsten Inhaltsstoffe des Trinkwassers Grenzwerte festgelegt, um eine Schädigung der Gesundheit auszuschließen.

Trotz großer Fortschritte in Technik, Organisation und Planung der Wasserwirtschaft gibt es noch immer Probleme, denn Wasserbedarf und Abwasseranfall haben ständig zugenommen. Zu Goethes Zeiten lag der Trinkwasserbedarf bei ca. 30 Liter pro Einwohner am Tag. Von 1950–1980 hat sich der Bedarf im Raum Jena/Gera von 80 auf 180 Liter pro Einwohner am Tag erhöht. Hauptverschwender sind die Neubaubewohner (bis max. 1000 Liter pro Familie täglich 2 Erwachsene 2 Kinder). Die Vorräte an gutem Grundwasser, das oft mit hohen Investitionen erkundet und erschlossen wird und erst nach aufwendigen Aufbereitungstechnologien als Trinkwasser genutzt werden kann, sind begrenzt.

Dadurch sind wir gezwungen, auch Oberflächengewässer (Seen, Bäche und Flüsse) sowie künstlich angelegte Trinkwasserspeicher zu nutzen. Das bedeutet, daß bei einem derart angespannten Wasserhaushalt der Umgang mit dem Wasser auf eine völlig neue Grundlage gestellt werden muß. Wir sind also wieder bei unserem Ausgangspunkt angekommen, wir alle sind dazu verpflichtet, bewußter mit Wasser umzugehen, alte Gewohnheiten im Umgang mit dem wertvollen Trinkwasser abzulegen, sparsam zu sein und auch dem Abwasser mehr Aufmerksamkeit zu schenken als bisher.

Die nachfolgenden Hinweise und Tips für sauberes Wasser zum Schutz unserer Umwelt und zur Erhaltung unseres Lebensniveaus sollen dazu beitragen.

Von A – Z: Wasser – unser wichtigstes, kostbarstes Lebensmittel

Abwasser

Durch häuslichen, gewerblichen, industriellen, landwirtschaftlichen und sonstigen Gebrauch in seinen natürlichen Eigenschaften verändertes Wasser.

Hierzu gehören auch die in bebauten Gebieten abfließenden Niederschlagswässer. Wenn man bedenkt, daß jeder Einwohner in unserer DDR 150–300 Liter pro Tag Trinkwasser verbraucht, zum Kochen und Trinken aber nur 3–7 Liter verwendet werden, so wird klar, wie sehr hoch der Brauchwasseranteil aus dem hochwertigen Trinkwasser ist.

Was aber spülen wir alles mit diesem Abwasser weg?

Waschaktive Substanzen, Phosphate (Enthärter des Wassers), Bleichmittel, Säuren, Laugen, Desinfektionsmittel, denn die Wohnung soll möglichst sauber und rein sein. Neben den täglich anfallenden Chemieresten werden leider auch immer wieder Farbstoffe, Benzin und gebrauchtes Bratfett, dazu Lösungsmittel usw. in die Toilette gekippt.

Ein Griff zur Betätigung des WC-Spülkastens – alles ist weg. Das ist jedoch ein Trugschluß. Alle diese Stoffe können von Kläranlagen nicht vollständig zurückgehalten werden und gelangen so in die Gewässer. Jeder sollte sich deshalb überlegen, wie er im Haushalt Wasser einsparen und die umweltstörenden Stoffe verringern kann.

Hierzu einige Tips im Umgang mit Wasser:

- Aus einem laufenden Wasserhahn fließen pro Minute 10 Liter Trinkwasser ab. Deshalb beim Zähneputzen Wasserhahn zudrehen und Becher benutzen.
- Duschen spart gegenüber dem Wannenbad etwa 35–40 % Wasser ein, denn 50–80 Liter für ein Duschbad stehen ca. 150–250 Liter für ein Wannenbad gegenüber.
- Geschirr sollte nicht unter fließendem Wasser abgewaschen werden.
- Zur Schadstoffverringern biologisch gut abbaubare Waschmittel wie beispielsweise Spee-zymat und Spee-express und als Nachbehandlungsmittel Uni-fresh verwenden.

- Auf keinen Fall Geruchsverbesserer und WC-Reiniger in die Spülung hängen.
- Nicht gebrauchte, überalterte Medikamente in die Apotheke bringen.

Autowäsche

Autos sollten nur an dafür vorgesehenen Waschplätzen oder in Waschanlagen gesäubert werden, denn bei jeglicher Autowäsche werden Benzin- und Ölreste abgeschwemmt, die nur über spezielle Benzin- und Ölabscheider abfließen dürfen.

Wer sein Auto in freier Natur an Seen, Bächen und Flüssen wäscht, belastet das Oberflächenwasser und muß mit Ordnungsstrafen gemäß Wassergesetz vom 2. Juli 1982 rechnen.

Desinfektionsmittel

Sie sind unentbehrlich in Krankenhäusern, Arztpraxen und eben überall dort, wo die Ausbreitung von Krankheitserregern bekämpft werden muß. In einem Haushalt kommen sie nur in Ausnahmefällen zur Anwendung. Anfragen zur Entsorgung sind an Apotheken und die zuständige Kreishygieneinspektion zu richten. Gelangen solche Stoffe ins Abwasser, können sie die biologische Reinigung des Abwassers empfindlich stören.

Düngen

Mit Kompost kann man den Garten billig und umweltfreundlich düngen. Halbverrotteter Kompost kann als Deckschicht unter Sträuchern und leichte Böden eingearbeitet werden; er ist ein gutes Bodenverbesserungsmittel. Zu hohe Gaben vor allem von Mist und mineralischen Dünger können allerdings auch Umweltprobleme hervorrufen, die zu hohen Nitratwerten in gärtnerischen Produkten bis zur Überdüngung von Gewässern reichen.

Folgende Hinweise sind zu beachten:

- Nicht auf Schnee oder gefrorenen Boden düngen.
- Vor Nutzung des Gartens Bodenproben auf Nährstoffgehalte prüfen lassen, um damit den Bedarf an zusätzlichen Dünger festzustellen. Auskünfte über die Bodenprobeentnahme, Untersuchungslabors usw. erteilen die Kreisvorstände des VKSK.

Gießwasser

Bei der angespannten Situation bezüglich des Wasserhaushaltes sind vor allem die Gartenbesitzer angehalten, sparsam mit Trinkwasser umzugehen. Das Sammeln von Regenwasser lohnt sich, denn billiger, sparsamer und pflanzengerechter geht es nicht! Das Anlegen von Sammel- und Klärgruben sowie das Abteufen von Bohrungen zum Zwecke der Wasserversorgung ist genehmigungspflichtig durch die Staatliche Gewässeraufsicht bzw. Oberflußmeisterei.

Herbizide (Pflanzenschutzmittel)

Pflanzenschutzmittel sollten im Kleingarten keine Verwendung finden. Alle diese Mittel haben Auswirkungen auf die Umwelt. Obwohl der Verzehr von Obst und Gemüse unmittelbar nach der Behandlung mit einem Pflanzenschutzmittel nicht zu akuten Vergiftungen führt, so kann doch die langjährige, regelmäßige Einnahme zu Schädigungen des Organismus führen (Leber, Nieren und Atmungsorgane).

Ölwechsel

Zum Ölwechsel gehört das Auto dorthin, wo Öl- und Benzinabscheider dafür sorgen, daß Altöle keinen Schaden anrichten können, also in die Werkstatt. Wer den Ölwechsel selbst

vornimmt, ist verpflichtet, das Altöl ordnungsgemäß zu beseitigen, d. h. zu einer Sammelstelle zu bringen (Tankstellen). Wer Altöl und auch Benzin einfach in die Erde oder Kanalisation laufen läßt, ist ein übler Umweltverschmutzer und muß mit Ordnungsstrafen gemäß Wassergesetz rechnen. Denken wir daran: *1 Liter Öl kann 1 Million Liter Wasser ungenießbar machen!*

Spülmittel

Bei Spülmittel sollte beherzigt werden, daß ein Spritzer genügt, denn viel Spülmittel macht das Geschirr auch nicht sauberer.

Spülmittel sind zwar bequem, aber nicht lebensnotwendig wie sauberes Wasser. Zuviel Spülmittel ist schädlich, denn erstens gelangen dadurch chemische Substanzen ins Abwasser, zweitens wird die Spülwirkung vermindert und drittens kann dadurch die Haut angegriffen werden. Oft genügt heißes Wasser zum Abwaschen von Geschirr.

Trinkwasserschutzgebiet

Der Teil des Einzugsgebietes, der zum Schutz der Trinkwassergewinnung in Abhängigkeit von den natürlichen und territorialen Gegebenheiten durch Nutzungsbeschränkungen und Verbote zu schützen ist.

Für genutztes Grundwasser gibt es 4 Trinkwasserschutzzone, wobei die Fassungszone (Schutzzone I) den unmittelbaren Bereich der Wasserfassung umfaßt und im Gelände häufig an der die Fassung eingrenzenden Umzäunung und an der Beschilderung erkenntlich ist. Die anderen Schutzzone schließen sich nach außen an die Fassungszone an. Es folgen die engere Schutzzone (Schutzzone II), die weitere Schutzzone (Schutzzone III) und schließlich die weiteste Schutzzone (Schutzzone VI). Um das Grundwasser, das einen hohen Stellenwert für die Trinkwasserversorgung besitzt, effektiv schützen zu können, gelten vor allem in den Schutzzone I und II Verbote, die unbedingt einzuhalten sind:

So ist es verboten:

- Abwässer durchzuleiten
- Abwasserversickerungen vorzunehmen
- Deponien anzulegen
- Bebauungen durchzuführen
- organische und anorganische Dünger zu lagern
- Autowaschplätze anzulegen
- Gülle auszubringen

Auch der Umgang mit Mineralölen und Mineralölprodukten ist verboten. Das bezieht sich auch auf die weiteste Schutzzone, wo alle Maßnahmen untersagt sind, die Verunreinigungen des genutzten Grundwassers hervorrufen können.

Ähnliche Verbote gelten auch für Trinkwasserschutzgebiete bei Oberflächenwassernutzungen.

Waschtips für umweltbewußte Hausfrauen und -männer

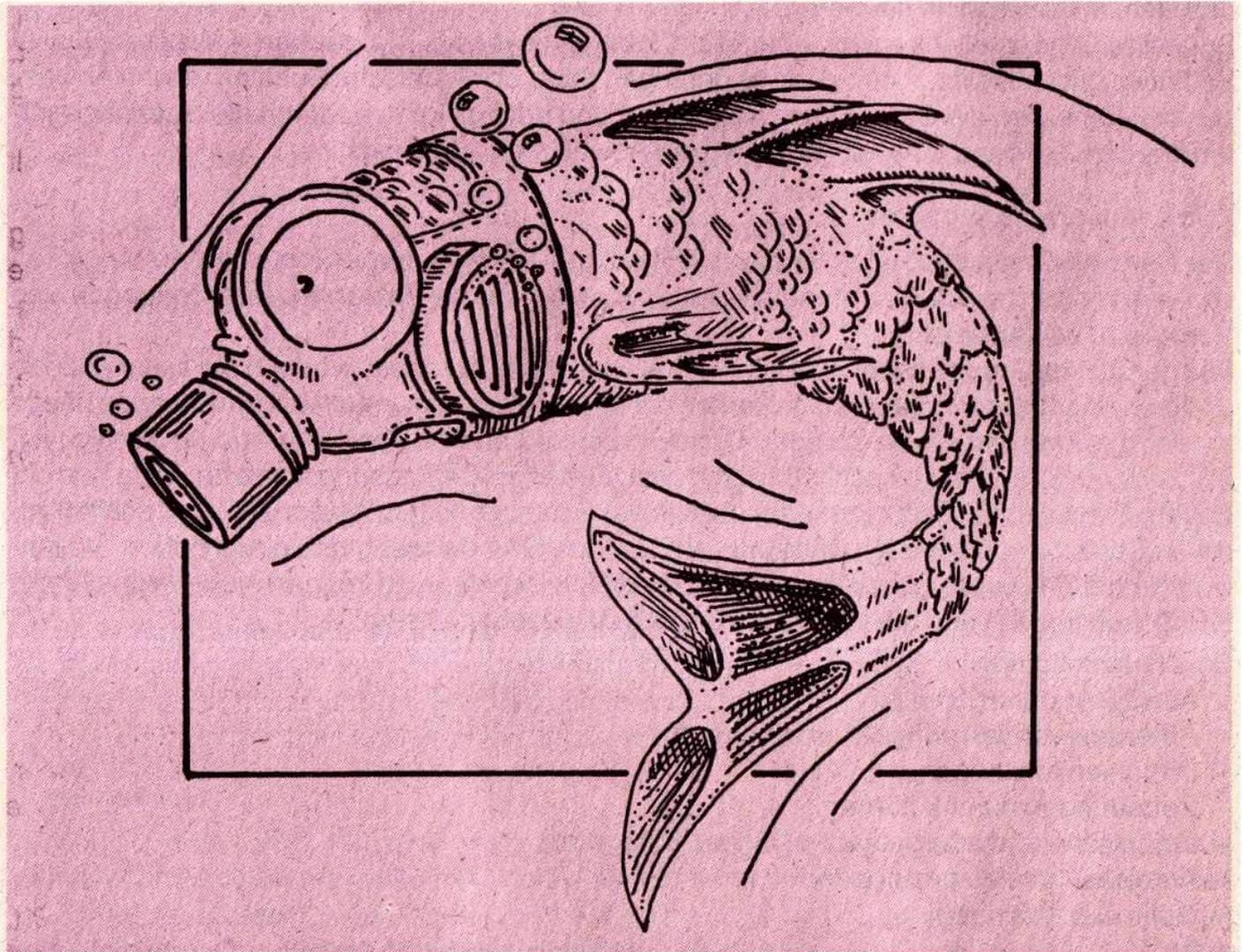
- Härtegrade des Wassers berücksichtigen, Auskünfte gibt der zuständige Wasserversorgungsbetrieb (VEB Wasserversorgung und Abwasserbehandlung)
- Richtige Dosierung von Waschpulver und Weichspüler einhalten, d. h. Waschanleitung gründlich durchlesen
- Füllmenge der Waschmaschine nach Betriebsanleitung voll ausnutzen

daraus resultiert:

- weniger Umweltbelastung
- Kostenersparnis durch optimale Ausnutzung

Wassersport

Dieser Sport macht Spaß und ist eine schöne Freizeitbeschäftigung, solange Natur und Umwelt dadurch nicht über Gebühr belastet werden. Deshalb nichts ins Wasser werfen, weder vom Boot noch vom Ufer aus, sich von Schilfgürteln fern halten, da sie Kinderstube und Lebensraum für viele Wassertiere (wie Libellen, Frösche, Vögel usw.) sind und auch für die Gewässerreinigung eine besondere Funktion haben.



Wasser als Lebensraum

Abschließend noch ein paar Informationen zum Wasser als Lebensraum und lebensnotwendiger Faktor für viele Tier- und Pflanzenarten.

Feuchtgebiete sind Gebiete, die vom Wasser geprägt sind. Sie sind mit ihren typischen Lebensbedingungen, wie hohem Wasserstand, Nährstoffarmut oder -reichtum usw. nur bestimmten Arten zugänglich. Diese Pflanzen- und Tierarten sind so an ihre feuchte Umwelt angepaßt, daß sie außerhalb der Feuchtgebiete der Konkurrenz anderer Arten unterlegen sind. So ist für viele Tiere und Pflanzen der Rückgang von Feuchtbiotopen existenzbedrohend. Aber nicht nur der ökologische Aspekt sollte Grund für die Erhaltung und den Schutz von Feuchtgebieten sein, sondern auch ökonomische Kriterien wie Wasserrückhalt, Funktionen als Grundwasserreservoir und die ästhetische Bereicherung unserer teilweise ausgeräumten Kulturlandschaften (intensiv landwirtschaftlich genutzte Gebiete mit wenig intakten Ökosystemen) sind anzuführen. Allgemein nimmt die Artenvielfalt seit Mitte des vorigen

Jahrhunderts mit der zunehmenden Industrialisierung ab, da durch den zunehmenden Nährstoffeintrag in die Gewässer viele konkurrenzschwache Arten von konkurrenzstärkeren aber naturstoffbedürftigeren verdrängt werden. Ein verstärkter Rückgang ist in den letzten 35–40 Jahren zu registrieren. Die Gründe sind fast ausschließlich in der Zerstörung des Lebensraumes zu suchen.

Speziell im Wasserbereich verschwinden naturnahe Uferabschnitte, Mäander, Ried- und Streuwiesen, Schilfgürtel, Tümpel, Teiche, Auewälder usw. Die allgemein zunehmende Belastung mit Umweltschadstoffen trifft die aquatischen Lebensgemeinschaften zusätzlich. Durch diese Faktoren sind u. a. Lurche, Fische, Schnecken und Muscheln stark bedroht. Deshalb sollte jeder von uns einen kleinen Beitrag zur Abschwächung der Umweltbelastung beitragen.

Jede weitere Verschlechterung bringt unersetzliche Verluste für die Tier- und Pflanzenwelt und letztlich auch für uns selbst.

Wer Willens ist und aktiven Umwelt- und Naturschutz als sinnvolle Freizeitbeschäftigung betreiben will, kann dies gern tun. In den Schulen, in den Arbeitsgemeinschaften „Junge Naturforscher“, in der Gesellschaft für Natur und Umwelt und im Naturschutz, um die wichtigsten staatlichen und gesellschaftlichen Einrichtungen zu nennen. Neu im Entstehen sind Interessengemeinschaften „Stadtökologie“ wie beispielsweise in Jena, die ebenfalls aktive, junge Menschen zum Mittun suchen.

Die Genehmigung zur Veröffentlichung in der Presse wurde am 5. 12. 1988 durch den Kreisarzt Dr. sc. med. Weber erteilt.

BUCHBESPRECHUNG

Prof. Ernst Grimsehl: Lehrbuch der Physik, Band 4.

Struktur der Materie

Begründet von Prof. E. Grimsehl, Hamburg, weitergeführt von Prof. Dr. W. Schallreuter, Greifswald, neu herausgegeben von Prof. Dr. A. Lösche, Leipzig, 17., völlig neu bearbeitete Auflage mit 679 Abb. auf 614 S., 16,5 cm x 23,0 cm. 1988. Leinen 36,- M

Bestellangaben: 666 461 1 / Grimsehl, Physik IV, ISBN 3-322-00480-5

Das vierbändige Lehrbuch der Physik – der „Grimsehl“ – ist in Studentenkreisen wohlbekannt. Das, was das Buch begehrt macht, ist die durchweg anschauliche Darstellung des Stoffes und die Möglichkeit sich rasch über ein Themengebiet informieren zu können. Der Band I der Reihe beinhaltet die Mechanik, Akustik und Wärmelehre, Band II die Elektrizitätslehre, Band III die Optik und der Band IV vereint unter der Überschrift „Struktur der Materie“ all die Themengebiete, die sich mit dem mikroskopischen Aufbau der Stoffe befassen, sowie die Astrophysik. Der „Grimsehl“ wird seit mehreren Jahrzehnten herausgegeben. Es ist völlig klar, daß sich in solch langer Zeit die Schwerpunkt-Themen ändern, neue Teilgebiete auftauchen oder andere Methoden modern werden. In den 70er Jahren schien die völlige Überarbeitung des bis dahin bereits von Prof. Schallreuter herausgegebenen Lehrbuches notwendig und unter der Leitung von Prof. Dr. Altenburg wurde 1977 der erste Band neu herausgegeben. Der zweite und dritte Band erschienen etwa zur gleichen Zeit. Es sollte jedoch noch ein Jahrzehnt dauern, bis auch der vierte Band neu zu haben war. Im vergangenen Jahr kam die unter der Leitung von Prof. Dr. A. Lösche herausgegebene und von zehn Autoren erstellte 17., völlig neu bearbeitete Auflage auf den Markt.

Fortsetzung auf S. 32

Peter Kulle
Friedrich-Schiller-Universität Jena
Sektion Biologie

Faszination der Boden-Mikrowelt

Boden – wir alle leben auf ihm, er ernährt Pflanzen, Tiere und Menschen, wir bewegen uns und bauen auf ihm, er ist untrennbarer Bestandteil unseres irdischen Lebens schlechthin. Die Maya beteten ihn an, viele Naturvölker tun es bis heute. Das Wort von der „Mutter Erde“ ist in vielen Sprachen lebendig; es widerspiegelt im Denken des Volkes vertraute und auch liebenswerte Eigenschaften.

Unter den verschiedenen Lebensräumen der Erde ist der Boden zweifellos der wichtigste und umfassendste aller Landbiotope. Der Boden ist gleichzeitig Standort und Substrat für eine außerordentlich mannigfaltige

Gemeinschaft der Lebewesen. Als Abbauer pflanzlicher und tierischer Substanzen nehmen die bodenbewohnenden Kleinlebewesen eine nicht wegzudenkende Rolle im Kreislauf der Stoffe in der Natur ein. Mikroorganismen sind bei der großen Mehrzahl aller im Boden ablaufenden Vorgänge beteiligt, ob Bakterien, Pilze, Aktinomyzeten, Algen oder Protozoen (Urtierchen, ohne eigentlichen Zellkern). So muß man heute die Boden-Mikrobiologie, die sich mit dieser Mikrowelt und ihren Beziehungen untereinander befaßt, als durchaus eigenständigen Wissenschaftszweig ansehen. Der Mensch ist noch weit davon entfernt glauben zu dürfen, die Fülle und Komplexität der Geschehnisse im „Millionen-Reich“ Boden erfaßt zu haben. Vieles liegt noch im Verborgenen und wartet darauf, erforscht zu werden.

Die Mehrzahl aller bodenmikrobiologischen Arbeiten beschäftigte sich mit Zählungen, systematischen Einordnungen isolierter Mikroorganismen und Aktivitätsmessungen. Es entstand dabei mehr unbewußt der Eindruck vom Bodenleben als einem statischen System, während wir heute geneigt sind, die feststellbare Stabilität im Bereich der Bodenmikroflora als Folge eines dynamischen Gleichgewichtszustandes zu sehen. Mehr als ein halbes Jahrhundert hat die Bodenmikrobiologie verdienstvolle Arbeit darauf verwendet, die sehr mannigfaltige Lebewelt des Bodens in Einzelkomponenten zu zerlegen. Die Einzelteile erneut zu einem Bild zusammenzufügen, erweist sich oft als schwierig. Aufgabe einer zukünftigen Bodenmikrobiologie wird es sein, diese Synthese zu vollziehen, um die Bodenlebewelt möglichst als Ganzes erfassen zu können. Widmen wir uns nun einigen ausgewählten Aspekten der Lebensgemeinschaft Boden.

Die Rhizosphäre

Der engste und offensichtlich für die Entwicklung der Pflanzen auch bedeutsamste Kontakt mit Mikroorganismen findet in der Rhizosphäre, d. h. in unmittelbarer Nähe der Pflanzenwurzeln statt. Was passiert nun in diesem Bereich? Die Wurzeln beeinflussen den Boden auf verschiedene Weise: durch Wurzelatmung wird der CO_2 -Spiegel angehoben, während die Sauerstoff-, Wasser- und Mineralkonzentrationen sinken. Die Wurzeln geben an den Boden organische Nährstoffe ab. Dazu zählen einerseits abgestorbene Wurzelrindenzellen und Zellen der Wurzelhaube, andererseits eine Vielzahl verschiedener Zucker, Aminosäuren, organische Säuren, Vitamine aber auch flüchtige Substanzen wie Äthanol, Azetaldehyd oder Isobutanol. Art der Pflanze, physiologische Bedingungen und Umweltfaktoren können sich auf die Qualität der Wurzelausscheidungen auswirken. Die Ausscheidungen wiederum be-

einflussen die Mikroflora in vielfältiger Weise: Die Gesamtzahl der Mikroorganismen wird stark erhöht. Die Bodenpopulation reagiert aber nicht einheitlich. Einige Gruppen bleiben wahrscheinlich völlig unbeeinflusst, so z. B. autotrophe Algen (autotroph = anorganische Ernährungsweise, z. B. von Salzen, CO_2 , Wasser u. a.). Die üblichste Reaktion der Bakterien ist allerdings eine zahlenmäßige Zunahme. Auch die Zahl der Pilze nimmt zu: Vertreter der sogenannten „Zucker-Pilze“ besonders in der unmittelbaren Ausscheidungszone und die Zellulose zersetzenden Pilze dort, wo Zellen abgestoßen werden. In unterschiedlichem Abstand von der Spitze der wachsenden Wurzel findet man auch unterschiedliche Populationen. Unter den Pilzarten auf der Wurzeloberfläche dominieren relativ wenige Formen wie *Fusarium* und *Rhizoctonia*.

Auch die Protozoenzahl nimmt in der Rhizosphäre zu, vermutlich als Reaktion auf die größere Dichte an Beute-Organismen. Erst wenn die Bakterienzahlen ansteigen, treten Protozoen in größerer Zahl auf.

Großen Einfluß hat das Alter der Pflanzen auf die Mikroorganismen-Zahlen, die während des frühen Blütstadiums ihr Maximum erreichen. Die folgende Tabelle soll eine Vorstellung über die Dimensionen mikrobiellen Lebens (Vergleich zwischen Rhizosphäre-Boden und nicht durchwurzeltem Kontrollboden) geben.

Mikroorganismen-Zahlen in der Rhizosphäre von Weizen im Vergleich mit wurzelfreiem Boden

Mikroorganismen	Anzahl pro Gramm Boden (Trockenmasse)	
	Boden aus Rhizosphäre	Kontrollboden
Bakterien	$1200 \cdot 10^6$	$50 \cdot 10^6$
Actinomyceten	$46 \cdot 10^6$	$7 \cdot 10^6$
Pilze	$12 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^5$
Protozoen	$24 \cdot 10^2$	$10 \cdot 10^2$
Algen	$5 \cdot 10^3$	$27 \cdot 10^3$

Die Ausdehnung der Rhizosphäre hängt nicht nur von den Ausscheidungen ab, sondern auch von den physikalischen und chemischen Faktoren im Boden, die die Diffusion beeinflussen, und von der Anzahl der vorhandenen Mikroorganismen. In einem Boden mit sehr geringem Gehalt an organischen Substanzen wird jede zusätzliche Substanz große Wirkung haben, während andererseits in einem Boden mit sehr viel organischer Substanz (hoher Humusgehalt) eine etwas vermehrte Wurzel Ausscheidung einen geringen Effekt haben wird. Ist die mikrobielle Population auf der Wurzeloberfläche sehr groß, so wird sie mehr oder weniger alle Ausscheidungen aufbrauchen. Eine Pflanze, die in reinem Sand mit wenigen Mikroorganismen wächst und viel ausscheidet, kann eine Rhizosphäre von mehreren Zentimetern Ausdehnung bilden. Wächst dagegen eine Pflanze mit mittleren oder geringen Ausscheidungsmengen in einem Boden, der reich an organischer Substanz ist, und hat sie zudem noch eine reiche Mikrobe-Population auf der Wurzeloberfläche, so kann ihre Rhizosphäre praktisch mit der Wurzeloberfläche zusammenfallen. Der Bereich der Rhizosphäre umfaßt dann nur Millimeterbruchteile oder sogar nur einige Mikrometer. Die größte Stimulation zur Vermehrung der Mikroorganismen erfolgt auf der Wurzeloberfläche; mit zunehmender Entfernung von der Wurzel sinkt sie auf normales Boden-Niveau.

Verschiedene Arten von Mikroben unterscheiden sich in ihrer Verteilung: einige beschränken sich auf die Wurzeloberfläche, andere zeigen eine gleichmäßigere Verteilung in der Rhizo-

sphäre und noch andere nehmen zahlenmäßig sogar ab. Worin können die Ursachen hierfür liegen?

Zum einen ist die Pflanze in der Lage, durch ihre Ausscheidungen direkt stimulierend (Vitamine) oder hemmend (Saponine, Glykoside) auf Vertreter der Rhizosphärengemeinschaft zu wirken oder aber indirekt durch Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Vertretern dieser Gemeinschaft selektiv auf ihre in Wurzelnähe lebende Mikrowelt Einfluß zu nehmen.

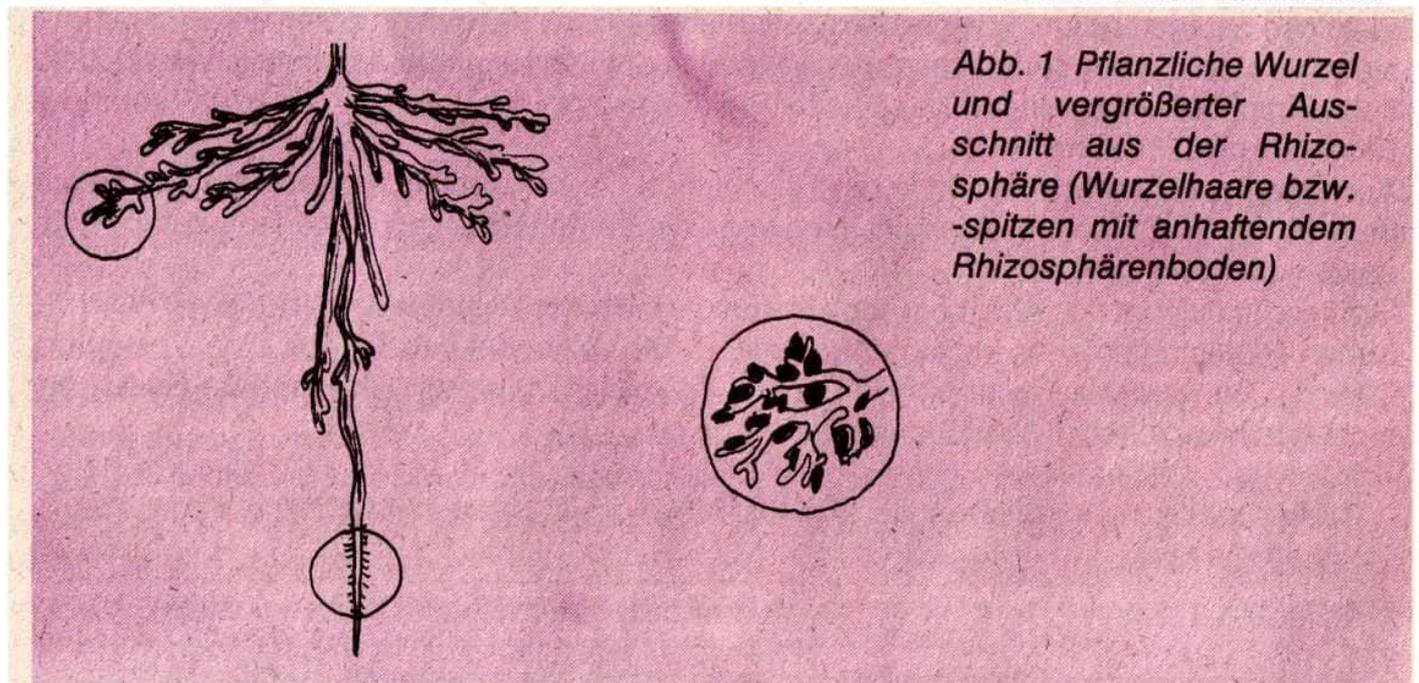


Abb. 1 Pflanzliche Wurzel und vergrößerter Ausschnitt aus der Rhizosphäre (Wurzelhaare bzw. -spitzen mit anhaftendem Rhizosphärenboden)

Dieses bisher gezeigte Bild wäre ein wenig einseitig, wollten wir vergessen, welchen Nutzen die Pflanzen aus der Gemeinschaft mit „ihren“ Rhizosphären-Bewohnern ziehen. Am besten untersucht sind die Symbiose-Beziehungen zwischen Pilzen und Pflanzen (Mykorrhiza) sowie zwischen Bakterien (Rhizobium) und Leguminosen (Hülsenfrüchte).

Die Mykorrhiza

Die Zahl der Pflanzen, deren Wurzeln in morphologischer Verbindung mit Pilzen leben, ist sehr groß (man schätzt ca. $\frac{3}{4}$ der mitteleuropäischen Flora). Lediglich bestimmten Pflanzenfamilien wie Cruciferen und Cyperaceen sowie Wasserpflanzen fehlen Mykorrhizapilze völlig. Wie kommen Pilz und Wurzel zueinander? Schon vor dem Treiben der ersten Wurzel sendet der Samen aktivierende Stoffe aus, die die Pilzsporen (Spore = Vermehrungs- und Überdauerungsform der Pilze) von der Hemmwirkung der allgemeinen Boden-Toxizität befreien und somit Keimen und Wachsen ermöglichen. Bei der starken Verbreitung in der Natur darf es daher nicht verwundern, daß auch eine Reihe verschiedener Erscheinungsformen von Mykorrhizen entstanden sind. Zumeist werden dabei die Mykorrhizen nach der Art und Stärke des Eindringens des Pilzes in das Wurzelrindengewebe gruppiert: den exotrophen, auch als ektotroph bezeichneten Mykorrhizen mit sehr auffälligem Pilzmantel und geringem Eindringungsvermögen stehen die endotrophen Mykorrhizen gegenüber, bei denen der Pilz fast vollständig innerhalb der Zellen der Wirtspflanze lebt. Eine strenge Untersuchung ist jedoch schwierig, da in der Natur fast alle nur denkbaren Übergänge zwischen beiden Typen existieren. Besonders gut erforschte Mykorrhizen stellen die unserer Waldbäume und Orchideen dar. Das Interesse an dem Auftreten der Mykorrhiza bei unseren Nutzpflanzen ist in dem Maß gewachsen, wie sich herausstellte, daß die Pilzverflechtungen der Wurzeln für das Gedeihen der höheren Pflanzen meist vorteilhaft sind. Dabei liegt die Bedeutung für

beide Partner wohl in erster Linie in einer Verbesserung der Ernährung begründet. Den Pilzen wird durchweg die Funktion der aktiven Stoffzuleitung (Nährstoffmobilisierung für N, P, K) bei gleichzeitig stark vergrößerter Wurzeloberfläche zugeschrieben, die Pflanze versorgt umgekehrt den Pilz mit ihren Assimilationsprodukten in Form von Kohlenhydraten. Möglicherweise arbeitet der Mykorrhiza-Pilz bei der Nährstoffaufnahme effizienter als die Wurzel. Schließlich leben die von Mykorrhiza umspinnenen Wurzeln länger und sind unempfindlicher gegen Krankheiten als nicht infizierte Wurzeln. Orchideen-Samen kommt nur in solcher Erde zum Keimen, die infektiöse Stadien bestimmter Mykorrhizapilze enthält.

Die Wurzelknöllchen

Eine zweite bedeutsame Form der Wechselwirkungen zwischen Mikroorganismen und Pflanzen ist die Symbiose zwischen Knöllchenbakterien (Rhizobium) und Leguminosen. Angelockt durch die Wurzelausscheidungen, reichern sich die im Boden vorkommenden Rhizobien in unmittelbarer Wurzelnähe (insbesondere Wurzelhaarzone) an und dringen in die Wurzel ein. Dies erfolgt artspezifisch, d. h. Luzerne oder Klee werden von verschiedenen Rhizobium-Arten infiziert. Dabei „erkennt“ das Bakterium die Wurzel seines Wirtes wahrscheinlich daran, daß auf der Wurzeloberfläche bestimmte Eiweiße (Lektine) sitzen, die zur Außenhülle der Bakterien passen „wie der Schlüssel zum Schloß“. Die Bakterienmenge, welche diesen Start der Injektion steuern, werden interessanterweise durch pflanzeneigene Substanzen aktiviert. Die eingedrungenen Bakterien werden von einer Membran des Wirtes umschlossen, vermehren sich und wachsen in einem Infektionsschlauch bis in die Rindenzellen der Wurzel hinein. Dort platzt der Schlauch auf, die Rhizobien ergießen sich in das Zellinnere und vermehren sich dort weiter. Gleichzeitig teilen sich die Rindenzellen der Leguminosenwurzel stark, und es entstehen die Wurzelknöllchen. Während dieser Prozesse verändern die Bakterien ihre ursprüngliche Form und werden durch eine pflanzeneigene Membran abgekapselt. Ein Wurzelknöllchen enthält etwa 35 000 Zellen mit je 10 000 oder mehr Kapseln, worin meist je 4 bis 6 solcher veränderter Bakterien (Baktroide) enthalten sind. Mit Hilfe des Enzyms Nitrogenase wandeln diese den molekularen Luftstickstoff um und geben lösliche N-Verbindungen an ihren Wirt ab, von dem sie wiederum mit Kohlenhydraten versorgt werden.

Die von den Pflanzenzellen gebildete Hüllsubstanz enthält eine dem roten Blutfarbstoff ähnliche Verbindung, das Leghämoglobin. Diese schützt die sehr sauerstoffempfindlichen Nitrogenase. Interessanterweise stammt die genetische Information für den Eiweißanteil des Leghämoglobins von der Wirtspflanze, diejenige für den übrigen Molekülanteil kommt von den Rhizobien.

Die von Knöllchenbakterien bewirkte N_2 -Fixierung kann zwischen 40–350 kg/ha und Jahr betragen. Die globale biologische N_2 -Fixierung beläuft sich auf die gewaltige Stickstoffmenge von jährlich ca. 200 Mio t (zum Vergleich: 80 Mio t werden bei dem Haber-Bosch-Verfahren industriell erzeugt).

Die Fähigkeit zur biologischen N_2 -Fixierung ist bisher nur in niederen Organismen gefunden worden; neben den Rhizobien auch bei anderen Bakterien (Azotobacter, Azospirillum) sowie blaugrüne Algen und Strahlenpilzen (in Symbiose mit Schwarzerle, Sanddorn beispielsweise). Dabei gibt es auch Vertreter, die nicht in Symbiose oder anderen Assoziationen sondern im Boden freilebend existieren (z.B. Klebsiella, Clostridium).

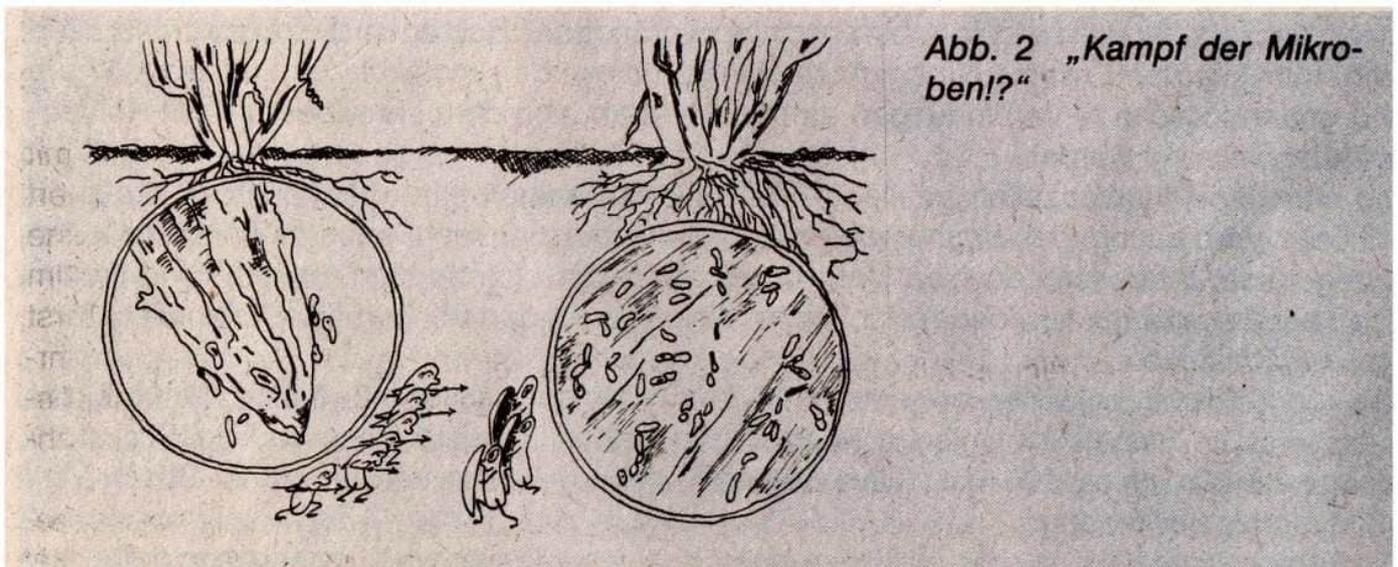
Weitere Wechselwirkungen

Auch für die Rhizosphären-Population ganz allgemein wurden ähnliche Wirkungen auf die

Nährstoffaufnahme wie wir sie bei der Mykorrhiza kennengelernt haben, berichtet. Doch ist der Beweis hierfür viel umstrittener.

Es ist gut vorstellbar, daß die Nährstoffaufnahme beeinflußt wird, da ja alles, was die Wurzel erreicht, zuvor durch die Rhizosphäre hindurchgehen muß. Außer für Phosphor und Stickstoff wurde eine Wirkung der Mikroorganismen der Rhizosphäre von verschiedenen Pflanzen für folgende Makro- oder Mikronährstoffe festgestellt: verstärkte Aufnahme von Kalium, Zink, Calcium, Magnesium, Mangan, Molybdän und Aluminium, verminderte Aufnahme von Rubidium und Strontium. Die wahrscheinlichen Mechanismen sind eine pH-Änderung, die Lösung zuvor unlöslicher Stoffe durch Säuren aus dem Stoffwechsel und die Freisetzung von Mineralien während der Zersetzung organischen Materials.

Unter den Mikroorganismen in der Rhizosphäre befinden sich auch die Erreger von Pflanzenkrankheiten, die das Pflanzenwachstum beeinträchtigen oder bedrohen. Solche Organismen, man bezeichnet sie als phytopathogen, können in der Landwirtschaft zu hohen Ertragsverlusten führen (z. B. Phytophthora als Erreger der Braunfäule von Kartoffeln). In einem „gesunden“ Boden existiert ein Gleichgewicht zwischen Krankheitserregern und ihren Gegenspielern (Vertreter der sogenannten saprophytischen Bodenflora). Dieses angesprochene Gleichgewicht, das sich zwischen den Mikroorganismen des Bodens im Laufe der Zeit herausgebildet hat ist maßgebend dafür, inwieweit sich pflanzenpathogene Mikroorganismen (im Boden insbesondere Pilze) in einer Mikroflora durchsetzen können. Pflanzliche Wurzeln können von einem Bakterien-Rasen (z. B. Vertreter der Pseudomonaden) regelrecht umhüllt werden und so vor pathogenen Mikroben (z. B. Pythium) geschützt sein. Von den Bakterien gebildete Antibiotika hemmen Keimung und Wachstum solcher für die Pflanzen schädlicher Organismen. Bestimmte Rhizosphären-Bakterien sind auch in der Lage, pflanzliche Wachstumsregulatoren (Wuchsstoffe) zu bilden und auf diese Weise Einfluß auf die Pflanzen zu nehmen.



Ein Blick voraus

Die bislang behandelten Kapitel können nur einen kleinen und begrenzten Einblick in die faszinierende Welt der Boden-Mikroben, des Ökosystems Boden schlechthin (mit besonderer Betonung der Rhizosphäre) geben.

In unendlicher Kleinarbeit konnten bereits viele Geheimnisse dieser uns verborgenen Sphäre gelüftet werden. Viele Details und Zusammenhänge sind noch unverstanden. Doch das und Bekannte und Verstandene gilt es bewußt zu nutzen; gerade in dieser Zeit öko-

logischer Katastrophen kleineren oder größeren Ausmaßes, in einer Zeit, in der sich oft ökonomische Erfordernisse und Verantwortung für die Umwelt scheinbar unvereinbar gegenüberstehen.

Auf der einen Seite ist ein stabiles ökologisches Gleichgewicht Grundvoraussetzung für die Existenz weiterer menschlicher Generationen, auf der anderen Seite steht die Forderung nach hohen Erträgen in der Landwirtschaft; ohne zusätzlichen Einsatz von Fremdstoffen (Pestizide, Düngemittel). Der einzig gangbare Weg ist in der Natur selbst zu suchen. Mögliche Lösungen können sich nur aus einem besseren Verständnis des Ökosystems Boden ergeben.

So sucht man heute weltweit intensiv nach Möglichkeiten, die biologische Stickstoffbindung stärker praktisch zu nutzen. Recht vielversprechende Denkansätze wären:

1. Die Erweiterung des Wirtspflanzenspektrums der Rhizobien,
 2. Die Übertragung der N_2 -Fixierungsfähigkeit auf höhere Pflanzen (Gentechnik!) und
 3. Die Optimierung der Assoziation zwischen N_2 -bindenden Mikroben und Nichtleguminosen.
- Gute Erfolge erzielte man bereits durch die Ausbringung von Rhizobium-Präparaten auf für Leguminosen-Anbau vorgesehenen Böden. Ähnliche auf die praktische Nutzung bezogene Überlegungen gibt es für die Mykorrhiza-Symbiosen. Ein weiteres Beispiel wäre die Einbringung, Anreicherung und Förderung solcher Mikroorganismen, die die Pflanze vor den Angriffen von Pathogenen schützt. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von biologischer Kontrolle. Ein gut bekannter Antagonist ist Trichoderma; ein Pilz, der helfen kann, das Wachstum zahlreicher pathogener Organismen zu verhindern. Ein nach wie vor ungelöstes Problem ist die Frage nach der Stabilität der vom Menschen in das System Boden eingeführten Mikroorganismen. Schon nach relativ kurzer Zeit sind diese oftmals kaum oder nicht mehr nachzuweisen, offensichtlich dem Konkurrenzdruck im Boden erlegen. Hierin zeigt sich wohl auch die Komplexität der Lebensgemeinschaft Boden, die bei allen Bemühungen des Menschen berücksichtigt werden muß. Im vorangehenden Abschnitt fiel die Bemerkung vom „gesunden Boden“, in dem ein Gleichgewicht zwischen den verschiedensten Boden-Mikroorganismen herrscht und somit auch der Pathogen „in Schach“ gehalten wird. Wie ist das zu verstehen?

Die Beantwortung dieser Frage führt uns zu einem neuen Kapitel, das man vielleicht mit „Bodenleben und Bodenfruchtbarkeit“ überschreiben könnte – einer Thematik, die es wert wäre, genauer erörtert zu werden. Nur so viel: ein „gesunder“ Boden gründet sich auf eine hohe Bodenfruchtbarkeit. Aller Reichtum der Bodenfruchtbarkeit liegt im wesentlichen im Gehalt an Humus (Mullhumus) begründet. Im Humus wiederum entfaltet sich ein äußerst vielfältiges und artenreiches Mikrobenleben, was neben dem ohnehin vorhandenen Nährstoffreichtum zusätzliche günstige Wirkungen auf das pflanzliche Gedeihen (z. B. Wachstumsstoffe, Aufschluß schwer löslicher Nährstoffe) hat. Letztlich beruhen Gesundheit und Ernährung der Pflanze auf dieser innigen Stabilität.

Andere wertvolle Eigenschaften humusreicher Böden liegen in ihrem hohen Wasserspeichervermögen, guter Strukturiertheit, ausreichender Bodenluft und hoher Filterkapazität für Fremdstoffe.

Um so ernster sollte man sich solchen Erscheinungen auf den Agrarböden wie Humuszehrung, zunehmender Bodenversauerung, Bodenverdichtung, chemische Schadstoffbelastung (durch wachsenden Pestizid- oder Kunstdüngereintrag, Schwermetalle, Öle und andere Kohlenwasserstoffe) stellen.

Jeglicher Eingriff des Menschen hat Folgen für die Lebewelt des Bodens wie für die ständige Reproduktion seiner Fruchtbarkeit, insbesondere auf lange Sicht. Eine ganzheitliche Be-

trachtung, d. h. Berücksichtigung aller Bodenfunktionen beginnt teilweise bereits zu einer Existenzfrage moderner Gesellschaften zu werden. Auftretende Schaderreger-Kalamitäten müssen als Zeichen nicht mehr bestehender Gleichgewicht im System Boden aufgefaßt werden.

Unsere durch erhöhten Energieeintrag (Pestizide, Düngemittel, mechanische Bearbeitung) gekennzeichneten Agro-Ökosysteme sind sehr instabil und sensibel. Im Wissen um die Zusammenhänge und vielfältigen Verflechtungen und Abhängigkeiten innerhalb der Lebensgemeinschaft Boden sollte der Mensch in Zukunft besser in der Lage sein, einen Weg mit der Natur nicht gegen sie zu gehen.

Im Heft 5 wollen wir uns mit einigen Fragen und Problemen der Düngung als einen wesentlichen Faktor der landwirtschaftlichen Produktion beschäftigen. Im Mittelpunkt des Beitrags soll die Düngung unter dem Aspekt der Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit sowie ihren vielfältigen Einflüssen auf Natur und Umwelt betrachtet werden.

Als weiterführende Literatur wird empfohlen:

Graf, D.: Unser Boden, Urania Verlag 1988

Dunger, W.: Unbekanntes Leben im Boden, Urania Verlag 1970

WISSENSWERTES

Fortsetzung von Seite 8

Gesichert ist demgegenüber die Beobachtung eines dritten Lichtechos mit einem Radius von 8", während die beiden bereits bekannten Anfang Februar mittlere Radien von 48" bzw. 80" aufwiesen. Neben diesen kreisförmigen Lichtechos sind auch drei bogenförmige nachgewiesen. Ursache für die Lichtechos ist die Streuung an Staubteilchen, die das Licht der Explosion in Richtung Erde umlenkt. Lichtechos erlauben die Ableitung der räumlichen Staubverteilung um eine Supernova nach dem Tomographie-Prinzip. *Peter Kroll*

Roboterarme mit Polymerfaser – „Muskeln“?

Sanfte fließende Bewegungen mit herkömmlichen mechanischen Greifwerkzeugen von Industrierobotern hervorzubringen ist problematisch.

An der britischen Universität Hull haben Forscher versucht, die sonst üblichen elektrischen oder hydraulischen Antriebe durch künstliche Muskeln in Form von Polymerfasernetzen zu ersetzen. Der von ihnen entwickelte Greifer kann mit ca. 30 N cm⁻² zupacken – das entspricht der Kraft eines natürlichen Muskels. Der Greifer wird, mit Hilfe von Seilzügen, durch zwei künstliche Muskeln bedient. Ein solcher „Muskel“ besteht aus parallel angeordneten Polyacrylnitrilfasern, zwischen denen es Querverbindungen aus Polyvinylalkohol gibt. Sobald Wasser zwischen die Fasern dieses Netzes eindringt, schwillt der „Muskel“ an. Ein organisches Lösungsmittel wie Aceton hingegen verdrängt das Wasser aus den Zwischenräumen – der „Muskel“ zieht sich zusammen. Diese Eigenschaft nutzt man zum Steuern der „Muskelkontraktion“.

(aus WiFo 4/89)

Physikalische Gesellschaft der DDR – Arbeitsgruppe Junge Physiker

Auf der Jahreshaupttagung der Physikalischen Gesellschaft 1988 wurde beschlossen, im Rahmen dieser traditionsreichen Gesellschaft eine Arbeitsgruppe Junge Physiker zu gründen. Dieser Schritt war notwendig geworden, um die Jugendarbeit der Physikalischen Gesellschaft zu aktivieren. Obwohl nämlich unsere Gesellschaft laut Statut jedem physikalisch interessierten Bürger der DDR offensteht, ist der Anteil der Mitglieder im Alter unter 30 Jahren außerordentlich gering.

Anfang 1989 hat die Arbeitsgruppe Junge Physiker ihre Tätigkeit aufgenommen. Junge Physiker und Physikstudenten der Humboldt-Universität Berlin, der Akademie der Wissenschaften, der Martin-Luther-Universität Halle und der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald arbeiten derzeit in dieser Arbeitsgruppe zusammen. Folgende Aufgaben haben wir uns gestellt:

1. Organisierung von lokalen wissenschaftlichen Kolloquien (in diesem Jahr z. B. in Berlin zu Perspektiven der Kernenergie, zu neuen Erkenntnissen über die Entstehung des Universums und zur aktuellen Friedensforschung unter physikalischen Aspekten sowie in Greifswald zu bisher wenig beachteten Effekten aus der klassischen Optik und zur Spezifik der Tätigkeit eines Physikers in der Industrie)
2. Informationsaustausch über die stattfindenden wissenschaftlichen Veranstaltungen
3. Schaffung von Möglichkeiten der Teilnahme junger Mitglieder der Physikalischen Gesellschaft an wissenschaftlichen Veranstaltungen im Ausland auf der Grundlage von Austauschabkommen mit anderen Physikalischen Gesellschaften
4. Exkursionen zur Besichtigung nationaler wissenschaftlicher Zentren
5. Beratende Unterstützung von Absolventen des Physikstudiums bei der Auswahl eines Arbeitsplatzes

Da wir als Arbeitsgruppe Junge Physiker uns in besonderer Weise auch für eine Zusammenarbeit mit physikalisch interessierten Oberschülern, speziell den zukünftigen Physikstudenten, verantwortlich fühlen, rufen wir hiermit diejenigen unter Euch, die an solcher Zusammenarbeit interessiert sind, auf, sich mit uns in Verbindung zu setzen. Am besten, Ihr schreibt an das

Sekretariat der Physikalischen Gesellschaft der DDR
Arbeitsgruppe Junge Physiker
Am Kupfergraben 7, Berlin – 1080

oder wendet Euch an die Vertreter unserer Arbeitsgruppe in den oben aufgeführten Einrichtungen. Die Mitgliedschaft in der Physikalischen Gesellschaft der DDR ist für Schüler beitragsfrei.

Studentenklubs vorgestellt:

FDJ-Studentenklub „Musik im Hörsaal“

Abends, pünktlich um halb acht, gehen die Lichter aus und die Formeln werden verdrängt. Die Spannung im ehrwürdigen Physik-Hörsaal steigt. Doch das Publikum ist nicht gekommen, um den Experimenten des Herrn Professor zu folgen – heute wird Rockmusik gemacht.

Aber auch andere Töne sind hier heimisch geworden: Jazz, Chanson, Klassik, auch Kabarett und Theater. Selbst das Krachen von Dachziegeln, untermauert von kraftvollen Karate-Schreien, war hier schon zu vernehmen. Wer dieses Fluidum noch nicht miterlebt hat, war noch nie Gast bei „Musik im Hörsaal“.

MiH ist einer der traditionsreichsten Jenaer Studentenklubs, mittlerweile schon 18 Jahre alt. Getragen von der Sektion Physik wurde unser Klub 1971 ins Leben gerufen, um die heimische Rockmusik auch nach Jena zu holen. Mittlerweile ist unsere kulturelle Palette wesentlich bunter geworden. Dafür gibt es mehrere Gründe. Der Trend in der DDR-Rockmusik ging von der Konzertatmosphäre der 70er Jahre hin zur Musik, die in die Beine geht. Dafür bietet der Hörsaal nur begrenzte Möglichkeiten, obwohl er auch schon Temperamentausbrüche erlebt hat. Zum anderen eignet er sich aufgrund seiner guten Akustik und Sicht auch für Kabarett und Theater.

Aber auch sinfonische Musik fand im Hörsaal ihr Publikum. Die Jenaer Philharmonie gastierte mit einer Aufführung der Brandenburgischen Konzerte. Ein Abend mit alter Musik fand im Rahmen der Heinrich-Schütz-Ehrung statt.

Auch in Zukunft soll unser Programm vielseitig und interessant bleiben. Studenten und junge Mitarbeiter der Sektion Physik engagieren sich deshalb gerne für unseren Klub. Die Möglichkeiten dazu sind vielfältig. So werden z. B. bei jeder Veranstaltung zahlreiche Ordnungskräfte gebraucht, die für die Sicherheit des Sektionsgebäudes sorgen. Auch künstlerisch begabte Studenten kommen bei uns zum Zuge. Zu den Konzerten müssen ansprechende Plakate gefertigt werden, um ein zahlreiches Publikum zu gewährleisten. Leider läuft auch unsere Klubarbeit nicht ganz ohne Probleme ab. Möchte man heute eine der guten Musikgruppen engagieren, so muß man schon recht tief in die Tasche greifen. Um Eintrittspreise in vernünftigen Grenzen halten zu können, sind wir deshalb auf finanzielle Stützungen angewiesen, die wir aus ehrenamtlich erarbeiteten Einnahmen der Jenaer Studentenklubs „Schmiede“ und „Rose“ erhalten. Bedauerlich ist, daß wir bisher keinerlei finanzielle Unterstützung vom Rat der Stadt Jena bekommen, obwohl unsere Veranstaltungen nicht nur von Studenten, sondern zum großen Teil von der Stadtbevölkerung besucht werden.

Auch die Bürokratie macht vor unseren Toren nicht halt. Eine Künstlervermittlung über die Konzert- und Gastspieldirektion Gera ist langwierig und aufreibend. Außerdem gibt man uns keine Möglichkeit, einmal international bekannte Rockgruppen auftreten zu lassen, deren Gastspiele in anderen Städten wie Gera oder Weimar bereits selbstverständlich sind.

Trotzdem macht die Arbeit Spaß, und wir freuen uns über jedes anerkennende Wort, aber auch über angebrachte Kritik aus dem Publikum.

R. Köttitz, F. Gießler, T. Richter

BUCHBESPRECHUNG

Jürgen Hamel: „Friedrich Wilhelm Herschel“

Biographien hervorragender Naturwissenschaftler, Techniker und Mediziner,
Band 89 (6,80 Mark), 104 Seiten

„Die Astronomiegeschichte kennt viele Gelehrte, die sich mit bleibenden Leistungen in ihr verewigt haben, obwohl die Astronomie niemals ihr Hauptberuf war, sie keine astronomische Ausbildung erfuhren und zum Teil ohne höhere Schulbildung waren. Heute würde man sie als Amateure bezeichnen, die sich autodidaktisch bildeten.“ /S. 6/

Mit diesen Worten beginnt der Autor seine Biographie über jenen herausragenden Astronomen Ende des 18./Anfang des 19. Jahrhunderts, der als Deutscher in England die Astronomie in seiner Zeit und über diese hinaus entscheidend mitgeprägt hat. Auf den folgenden Seiten zeichnet J. Hamel dann den interessanten Lebensweg dieses Menschen, der ihn vom Berufsmusiker in einer Militärkapelle über den Amateur-Astronomen zum anerkannten Wissenschaftler führte.

Friedrich Wilhelm Herschel (1738–1822) wird auch im Astronomieunterricht der 10. Klasse erwähnt, wobei in erster Linie auf seine Entdeckung des Planeten Uranus im Jahre 1781, auf seine Gedanken zur Sternentwicklung und seine systematischen Himmelsdurchmusterungen, die als empirische Grundlage für seine Theorie vom Aufbau des Milchstraßensystems dienten, eingegangen wird. Dem Autor des kleinen Buches über Herschel ist es nun gelungen, alle wissenschaftlichen Leistungen, zu denen noch weit aus mehr als nur die drei genannten gehören, in leichtverständlicher Art systematisch darzulegen und Zusammenhänge erkennen zu lassen, wobei sowohl auf die Bedeutung dieser Erkenntnisse zu Lebzeiten von Herschel als auch auf ihre Richtigkeit aus heutiger Sicht eingegangen wird. So beeinflussten z. B. Herschels „Forschungsergebnisse über den Bau des Himmels . . . das gesamte Weltbild und Denken dieser Zeit“ /S. 71/, doch „blieb man seiner Entwicklungstheorie gegenüber ohne Verständnis“ /S. 72/, denn diese Theorie forderte z. B. die Veränderung von Sternen, Sternsystemen und auch Planeten (also auch der Erde) in großen Zeiträumen. Bei diesen Ideen „war der Bruch mit überliefertem und bis dahin bewährtem Denken so extrem, daß kaum ein Fachkollege seinen Erkenntnissen zu folgen vermochte.“ /S. 72/ Der Autor erhellt hierbei wissenschaftliche, weltanschauliche und gesellschaftliche Hintergründe und Zusammenhänge, die auch für heutige Verhältnisse noch interessant und zu beachten sind.

Von besonderem Interesse für junge Leser könnten auch die Umstände in Herschels Leben sein, die ihn eigentlich erst zur Wissenschaft Astronomie brachten. Wichtig hierbei war u. a. das Elternhaus, da er ein „waches Interesse für alle Dinge der Welt . . . schon von seinem Vater mit auf den Lebensweg bekommen“ hat /S. 11/, wozu auch der Sternenhimmel und die Planeten gehörten. Aber auch die Gedanken des großen englischen Philosophen John Locke (1632–1704) beeinflussten das Denken von Herschel seit seiner Jugend. Wünschenswert in diesem Zusammenhang wäre gewesen, hätte der Autor die Lebensumstände und die Gedankenwelt von Herschel als Kind und Jugendlicher etwas ausführlicher dargestellt. Das würde einen detaillierteren Blick auf die Ausbildung von Charaktereigenschaften und Fähigkeiten eröffnen, was im Vergleich zur heutigen Situation für viele Menschen, jüngere und ältere, Schüler, Eltern und Lehrer interessant und anregend sein könnte.

Klaus-Dieter Herbst

Anna Liwanowa: „Lew Landau“

Verlag Mir, Moskau und BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft Leipzig, 1982

1. Auflage, Paperback, 216 S., 14 Abb. Preis 12,00 M

Bestell-Nr. 666 082 1

Das vorliegende Buch „Lew Landau“ von Anna Liwanowa ist die erste deutschsprachige Publikation über Leben und Werk des sowjetischen Physikers und Nobelpreisträgers Lew Dawidowitsch Landau. Der erste Teil des Buches ist biographischer Natur, er beschäftigt sich mit dem Leben Landaus, dabei beschränkt sich die Autorin im wesentlichen auf die Zeit

zwischen seinen Studien und dem schweren Autounfall 1962. Der zweite Teil ist eine populärwissenschaftliche Darstellung der Theorie der Suprafluidität, der wohl größten Leistung Landaus. Das Buch ist erfreulich subjektiv geschrieben, es ist keine bloße Aneinanderreihung von Fakten. Es wird ein detailliertes Bild des Wissenschaftlers Lew Landau gezeichnet, die Autorin stützt sich dabei auf eigenes Erleben, aber auch auf Gespräche mit Landaus Freunden und Schülern.

Trotzdem bleibt das Buch bei der Darstellung problematischer Lebensabschnitte Landaus nur an der Oberfläche. Obwohl bereits im deutschen Vorwort bemerkt wird, daß dieses Buch nicht den Anspruch einer „Biographie im strengen Sinne“ erhebt, wäre es gut, wenn zu einigen Punkten in Landaus Leben, wie seiner Übersiedlung von Charkow nach Moskau, mehr als nur Andeutungen in diesem Buch zu finden wären. Die schwierigste Zeit in Landaus Leben, die Zeit von seinem schweren Autounfall bis zu seinem Tode fehlt fast vollständig. Gut ist, daß der populärwissenschaftliche Teil vollständig auf Mathematik verzichtet. Es wird versucht, ohne auf Vorkenntnisse des Lesers zurückzugreifen, eine anschauliche Darstellung der quantenmechanischen Effekte, die zur Suprafluidität führen, zu geben. Dies ist nicht immer gelungen, es sind auch weitere Unzulänglichkeiten, wie z. B. unvollständig beschriftete Koordinatenachsen an graphischen Darstellungen zu finden. Insgesamt gesehen ein bemerkenswertes Buch, welches nicht nur für physikalisch interessierte Leser zu empfehlen ist. *Wolfram Meinhardt*

Fortsetzung von S. 21

Das Buch gliedert sich in folgende Kapitel: Atom (im wesentlichen Quantenmechanik der Atomhülle), Kernphysik, Elementarteilchen, Molekülphysik, Festkörperphysik, Flüssigkeiten und Polymere, Plasma und Astrophysik.

Das Spektrum ist also weit gefächert und es wird daher niemanden verwundern, wenn die Autoren der jeweiligen Themengebiete den Stoff nur äußerst knapp darstellen konnten. So wird manchmal der Wunsch, hier und da etwas tiefer nachlesen zu können, nicht erfüllt. Das den Autoren vorzuhalten wäre aber ungerecht, denn die Übersichtlichkeit und die zahlreichen Abbildungen sind wirklich lobenswert.

Am Ende eines jeden Kapitels sind schließlich Hinweise auf weiterführende Literatur angefügt, die aber nicht in allen Fällen befriedigen können. Vor allem zu den Kapiteln 1, 7 und 8 sind weder ein repräsentativer Querschnitt angegeben worden noch sind Literaturhinweise zu allen Unterabschnitten enthalten. Es ist auch nicht ganz klar, warum vornehmlich nur auf DDR-Literatur verwiesen wird. Der mit dem Buch arbeitende Student wird ohnehin in den ihm zugänglichen Bibliotheken auch auf andere weiterführende Literatur zurückgreifen können.

Es ist ein bißchen verfehlt, in einer Schülerzeitschrift für den „Grimsehl“ Werbung zu machen, da das Buch für Schüler ohnehin zu teuer ist (verglichen mit den Buchpreisen völlig neuer Bücher ist es freilich noch sehr preiswert). Wer aber vor hat Physik zu studieren und nicht gerade Theoretiker werden will oder Physik als wichtiges Haupt- oder Nebenfach hat und dafür gleichsam ein Lehr- wie auch Nachschlagewerk sucht, dem kann der „Grimsehl“ empfohlen werden. *Peter Kroll*

impuls 68

Schülerzeitschrift
für Physik, Chemie
und Biologie

INDEX 322004 · ISSN 0232-9220 · 23. JAHRGANG · PREIS: 0,60 M



Digitale
Bildverarbeitung

5/89

impuls 68



<i>Dr. sc. techn. G. Sommer</i> Digitale Bildverarbeitung	3
<i>Peter Kulle</i> Ernährung – Düngung – Umwelt	10
<i>Matthias Mann</i> Selbstorganisation (Teil 5)	16
Drei mal sieben – unsere Erklärungen	23
<i>Holger Sack</i> Dem Kraftwerk der Natur auf der Spur	24
<i>Olaf Fischer</i> Eindrücke	27
<i>Sabine Köhler</i> Orchideen – Kleinodien unserer Heimat	28
Wissenswertes, Buchbesprechung	29

impuls 68 – Schülerzeitschrift für Physik, Chemie und Biologie

Herausgeber: FDJ-Aktiv der Friedrich-Schiller-Universität Jena

Die Zeitschrift erscheint im Eigenverlag der Redaktion **impuls 68**

Anschrift der Redaktion: Max-Wien-Platz 1, Jena, 6900, Telefon 82-25293

Veröffentlicht unter der Lizenznummer 1570 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der DDR.

Erscheinungsweise: zweimonatlich

Heftpreis: 0,60 M

Bezugsmöglichkeiten: durch den Postzeitungsvertrieb

Textfassung: **impuls 68**

Textverarbeitung und Rollenoffsetdruck: Druckerei Volkswacht Gera, AN (EDV) 13228

Chefredakteur: Andreas Erdmann; stellv. Chefredakteur: Karsten König

Redaktionsmitglieder: Dr. Bringfried Stecklum, Petra Richter, Peter Kroll, Alexander Niehardt, Rainer Strobel, Wolfram Meinhardt, Jens Thole, Andreas Chwala, Klaus-Dieter Herbst, Gustavo Rodriguez Zurita, Matthias Müller, Beate Sidlo, Steffen Steinberg, Kay Sonntag

Gestaltung: **impuls 68**; Steffen Wolf

Redaktionsschluß: 3. 8. 1989

Titelfoto: Computergraphik

Dr. sc. techn. G. Sommer
Friedrich-Schiller-Universität Jena
Sektion Technologie

Digitale Bildverarbeitung

Im Herbst 1988 wurden an der Sektion Technologie der Friedrich-Schiller-Universität Jena die ersten Studenten immatrikuliert, die eine ingenieurtechnische Ausbildung mit einer Spezialisierung im Fach „Digitale Bildverarbeitung“ erhalten. Was ist unter diesem Begriff zu verstehen?

Digitale Bildverarbeitung ist die Verarbeitung bildhafter Information auf Rechnern. Dabei steht „bildhaft“ als Synonym für mehrdimensional und wird meist als räumlich oder raumzeitlich gesehen. Ebenso ist der Begriff „Bild“ verallgemeinerbar. Während gewöhnlich Bildinhalte durch Helligkeits- oder Farbunterschiede im sichtbaren Bereich des

Lichts erkennbar werden, sollen Bilder in dem hier gemeinten Sinn irgendwelche physikalische Meßgrößen (z. B. Magnetfeldstärke, Geschwindigkeit der Schallausbreitung usw.) darstellen. Die digitale Bildverarbeitung ist inhaltlich eng mit einem anderen Begriff, der Mustererkennung (Pattern Recognition) verbunden. Sie kann als Teilgebiet der Informatik aufgefaßt werden, hat mit ihr einen gemeinsamen Schnitt, erfaßt aber noch andere Disziplinen wie Mathematik, Physik, Künstliche Intelligenz, Psychologie, Neurophysiologie oder Biologie.

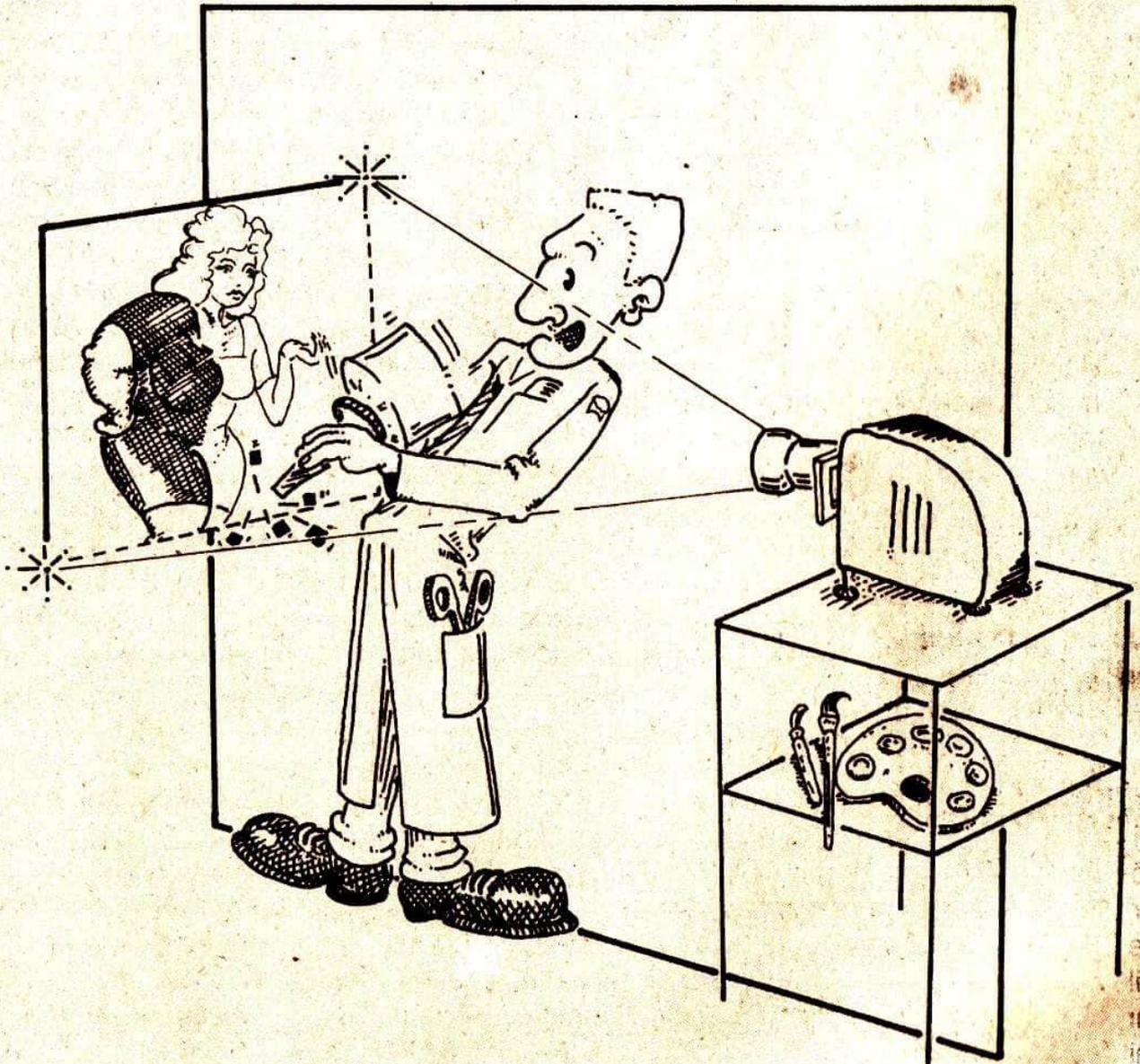
Auf den interdisziplinären Charakter der digitalen Bildverarbeitung komme ich noch zurück. Zunächst möchte ich mich den Möglichkeiten der Anwendung zuwenden, um damit ihr Wesen phänomenologisch, d. h. durch die Beschreibung ihrer Erscheinungsweisen, zu erschließen.

Insgesamt erwartet man von der digitalen Bildverarbeitung einen hohen Innovationseffekt auf dem technischen Sektor. Das heißt, es werden neuartige und leistungsfähige Lösungen für eine Reihe von Problemen gesehen, die im Zusammenhang mit der Automatisierung und Objektivierung von industriellen Prozessen stehen.

- Im Spezialgebiet „Robot Vision“ geht es darum, zukünftige Generationen von Robotern mit der Fähigkeit auszustatten, visuelle Informationen auszuwerten. Maschinen sollen Gegenstände oder Objekte erkennen können, um sie zu manipulieren, zu vermessen, zu sortieren oder um die Bewegung der Maschinen planen zu können.
- Bei der mikroelektronischen Höchstintegration fallen in einer Kette technologisch äußerst komplizierter Vorgänge viele Kontrollaufgaben an, zu deren Realisierung sehr große Datenmengen analysiert werden müssen. Die visuelle Inspektion erfordert in diesem Zusammenhang, daß der Mensch zunehmend in den Hintergrund tritt. Maschinen übernehmen die Aufgaben, Strukturen auf Vollständigkeit oder Fehler zu kontrollieren und zu vermessen.
- In der Erdfernerkundung und Meteorologie kommen Satelliten zum Einsatz, die ständig mit einer Rate von 50 Millionen Informationseinheiten pro Sekunde (Mbit/sec) Daten über die Beobachtung der Erdoberfläche zum Empfänger senden. Die Auswertung derartiger Bilder erfordert einen hohen Automatisierungsgrad.
- Viele Planungsaufgaben der Volkswirtschaft erfordern thematische Landkarten. Hierfür werden „elektronische Landkarten“ entwickelt, weil die Geschwindigkeit der Aktualisie-

runge nach herkömmlichen Verfahren nicht mehr Schritt hält mit der Geschwindigkeit der Änderung ihrer Ausgangsdaten.

In allen hochindustrialisierten Ländern wird intensiv daran gearbeitet, Maschinen zum Sehen zu befähigen. Viele Entwicklungen haben die Forschungslabors noch nicht verlassen. „Sehen“ hat sich als schwierigere Aufgabe herausgestellt, als ursprünglich vermutet. Reduziert man aber die Aufgabenstellung stark, so lassen sich bereits jetzt bedeutende wirtschaftliche Effekte erzielen.



Ihren Innovationscharakter hat die digitale Bildverarbeitung auf dem Gebiet der medizinischen bildgebenden Diagnostik längst unter Beweis gestellt. Dabei wurde die Aufgabenstellung aber auch so weit reduziert, daß es „lediglich“ um die Erzeugung digitaler Bilder geht. Der Erfolg beruht darauf, daß einerseits neue physikalische Wirkprinzipien genutzt werden, um Auskunft über die Struktur und Funktion des menschlichen Körpers zu erhalten. Dies betrifft z. B. die Nuklearmedizin, die Ultraschalldiagnostik oder die Kernspintomographie. Die hierfür eingesetzten Kameras sind Produkte der Hochtechnologie. Andererseits wurde mit der Computertomographie ein geniales mathematisches und meßtechnisches Verfahren

in die Medizin getragen, das es gestattet, völlig neue Ansichten von und Einsichten in den menschlichen Körper zu gewinnen. In den letzten Jahren wurden Methoden entwickelt, um in einer Reihe computertomographischer Querschnittsbilder einzelne Organe abzugrenzen, diese in ihrer dreidimensionalen Gestalt zu rekonstruieren und auf dem Bildschirm dem Arzt zur Befundung zu präsentieren.

Hier wird deutlich, daß zur digitalen Bildverarbeitung die Bilderzeugung, die Bildanalyse und die Synthese neuer Bilder gehören. Die Bildsynthese ist Gegenstand der Computergraphik, die besonders im Zusammenhang mit dem Begriff Computer Aided Design (CAD) populär wurde. Hat man aber erst einmal die Datenstruktur für ein computergraphisches Objekt im Rechner erzeugt, ist der Schritt (zumindest gedanklich) nicht mehr weit, diese Daten in eine numerisch gesteuerte Maschine einfließen zu lassen, um die Objekte aus einem geeigneten Material zu fertigen (Computer Aided Manufacturing – CAM). In der Medizin wird diese Methode bereits zur Herstellung von Prothesen genutzt. Damit schließt sich aber der Kreis zur Industrie, weil auch dort der Schwerpunkt der Forschungsarbeiten in der Bewältigung der dritten (räumlichen) Dimension liegt.

Was ist die technische Basis der digitalen Bildverarbeitung? Zuerst muß das Bild erzeugt werden. Vielfach kommen hierfür Fernsehkameras oder Halbleiterkameras zum Einsatz. Die Kameras der medizinischen Diagnostik sind weitaus komplizierter und voluminöser. Sie dienen aber dem gleichen Zweck, physikalische Größen wie z. B. Lichtintensität, Absorption von Röntgenstrahlen oder Protonenkonzentration zu messen und in einen Bildspeicher, eine meist quadratische Matrix von Bildpunkten, einzulesen. Dieser Bildspeicher hat oft eine Größe bis zu 1024×1024 Bildpunkten. Jeder Bildpunkt ist Träger eines Meßwertes. Diese Meßwerte sind diskret und umfassen beispielsweise die Werte $0, 1, \dots, 255$. Man bezeichnet sie oft als Grauwerte. Der Informationsgehalt eines derartigen Bildes ist also beispielsweise in einer von $(1024 \times 1024)^{256} = 2^{5120} = 10^{1550}$ Kombinationsmöglichkeiten der Grauwerte kodiert. Der Rechner vermag auf einen Bildpunkt mit den Koordinaten (x, y) zuzugreifen, den entsprechenden Grauwert $g(x, y)$ zu lesen oder zu schreiben und ihn mit den Grauwerten $g(X, Y)$ anderer Bildpunkte (X, Y) in Beziehung zu setzen. Auf diese Weise wird der Versuch unternommen, die Struktur eines Bildes zu erfassen. Meist unterstützt den Rechner ein Mensch, der in einer Art Dialog den Analyseprozeß über kritische Stellen der Entscheidungsfindung hinwegführt. Dazu ist es notwendig, daß das Bild auf einem Monitor dargestellt wird und vom Nutzer ebenfalls Bildpunkte auf dem Monitor angesprochen werden können. Dies leisten technische Hilfsmittel, mit denen auf dem Bildschirm Bildpunkte markiert werden können. Hiermit lassen sich z. B. Kurven zeichnen oder Flächen einfärben. Eine solche Arbeitsweise bezeichnet man als interaktiv. Wird auf die Unterstützung durch den Nutzer bei der Realisierung einer Bildanalyseaufgabe verzichtet, so spricht man von automatischer Bildverarbeitung. Es gibt verschiedene Aufgabenklassen, die derart zeitaufwendig sind, daß für den Echtzeiteinsatz der Bildverarbeitung die Unterstützung durch Spezialrechentechnik mit hohem Grad der Parallelverarbeitung notwendig ist.

Digitale Bildverarbeitung ist also als eine spezielle Art von Signalverarbeitung zu verstehen. Welche Art Fragen kann man an ein bildhaftes Signal stellen? Dies sind Fragen nach Strukturen in der gemessenen Anordnung von Grauwerten, also nach Ähnlichkeiten oder Unterschieden der Grauwerte in irgendwie benachbarten Bildpunkten, nach der Art und Weise, in der Bildpunkte mit ähnlichen Grauwerten zueinander organisiert sind. Es lassen sich grob die Teilprobleme Bildbearbeitung, Bildanalyse, Bildverstehen und Bildsynthese als die Säulen der digitalen Bildverarbeitung verstehen, die nun kurz zu erläutern sind.

BILDBEARBEITUNG: Aus Bildern werden Bilder erzeugt.

„Wie sieht das Bild tatsächlich aus, wenn die Einflüsse des Abbildungssystems auf das Bild beschrieben und folglich ‚herausgerechnet‘ werden können?“

Die neuen Bilder sind besser geeignet für eine visuelle Interpretation durch den Betrachter oder für eine maschinelle Weiterverarbeitung. Beispielsweise erzeugt ein photoelektronisches Abbildungssystem zwangsläufig eine Unsicherheit für den Grauwert eines Bildpunktes (Bildrauschen), die sich auf die Interpretation sehr störend auswirken kann. So zeigt Bild 1a ein sehr verschwommenes und verrauschtes Abbild des menschlichen Herzens, wie es sich dem Arzt in der Nuklearmedizinischen Herzdiagnostik unmittelbar nach der Aufnahme bietet. Das Herz wird indirekt durch das in ihm enthaltene Blut dadurch sichtbar gemacht, daß dem Blut radioaktiv strahlende Isotope geringster Konzentration beigemischt werden und die Verteilung der Strahlungsdichte gemessen wird. In Bild 1b wurden die Einflüsse des Kameraspektrums auf die Abbildung „herausgerechnet“, wodurch die Struktur des Herzens (die unterschiedlichen Herzkammern und die sie trennenden Scheidewände) deutlicher sichtbar wird.

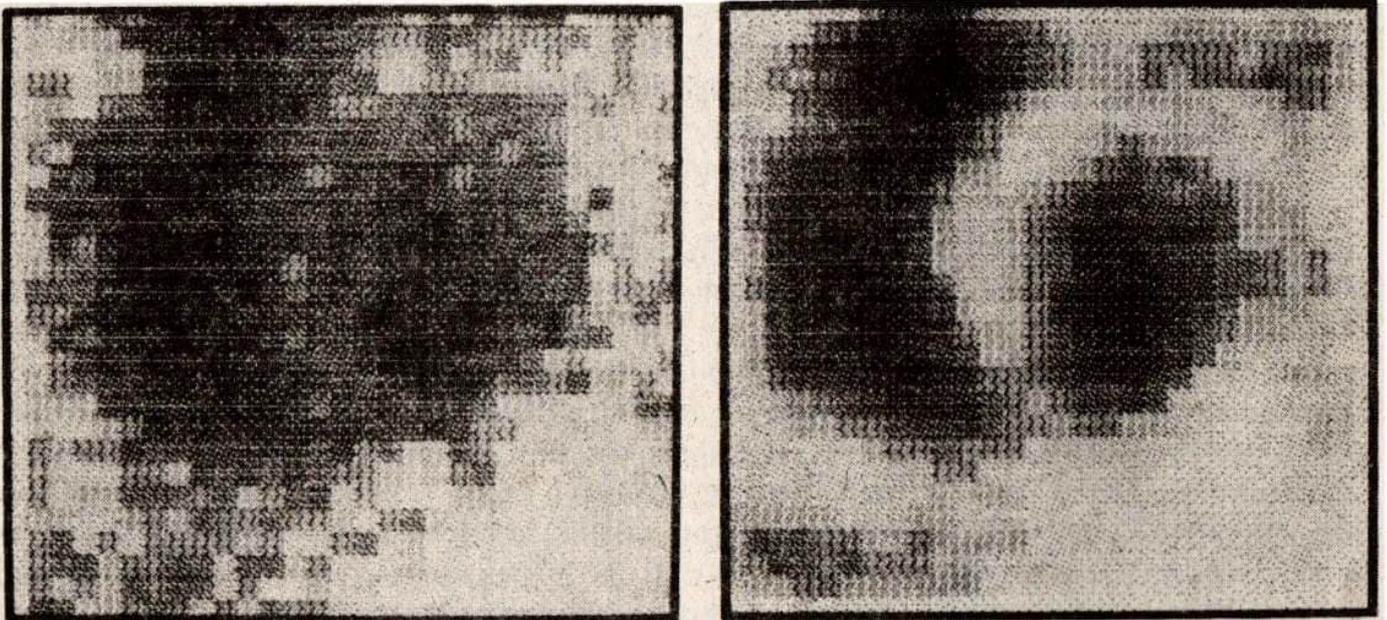


Abb. 1a und 1b

BILDANALYSE: Aus Bildern werden Daten erzeugt.

„Wie ist die Verteilung der Radien der kreisförmigen Objekte?“

Ein Bild wird in eine Menge von Komponenten zerlegt. Diese Komponenten werden mit einer Reihe von Merkmalen beschrieben, um ihre Identifizierung zu ermöglichen, d. h., sie erwarteten Bildinhalten zuzuordnen. Außerdem werden die Beziehungen der Komponenten untereinander ermittelt. Zur Erkennung räumlicher Tiefe lassen sich Gestaltsunterschiede aus verschiedenen Blickwinkeln (z. B. Stereosehen) oder Lageänderungen bei Bewegung ausnutzen. Dazu werden einzelne Objekte in verschiedenen Bildern einer Bildfolge bildpunktweise in Korrespondenz gesetzt. Dies ist auch eine Methode, um Bewegungen zu erkennen. Wie in Bild 2a dargestellt, werden menschliche Nieren in Bildern der Nuklearmedizin dadurch gefunden, daß ein Programm innerhalb eines Blickfensters von einigen Bildpunkten Durchmesser Änderungen der Intensitätsverteilung mißt. Die Umrandungen kennzeichnen jeweils

Linien stärkster Intensitätsänderung. Diese Konturen charakterisieren auch die Gestalt der Nieren. Ein weiteres Programm vermisst diese Gestalt in die Richtungen größter und kleinster Ausdehnungen (Bild 2b).

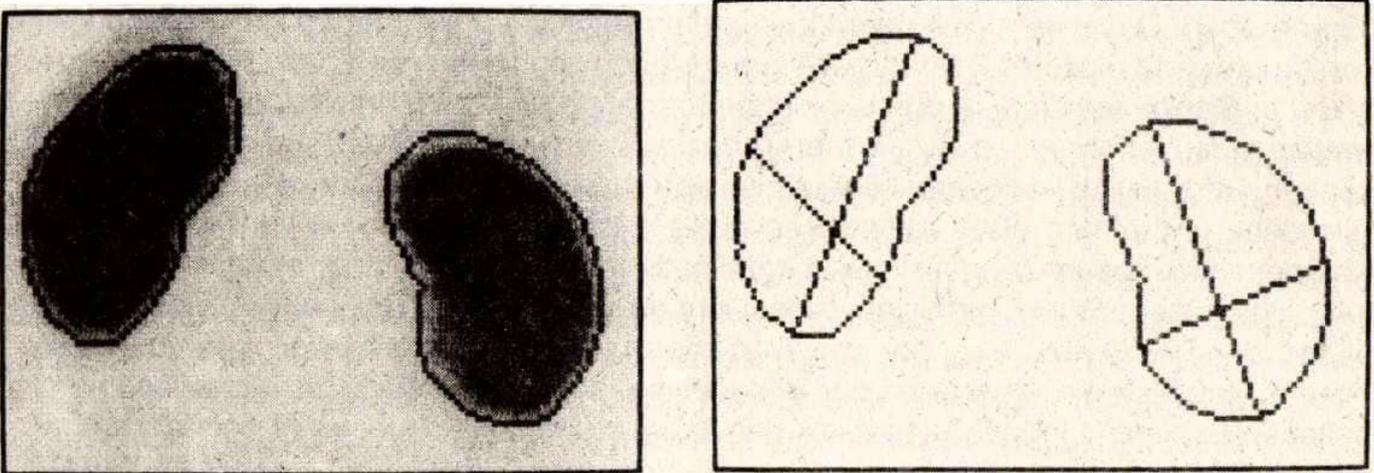


Abb. 2a und 2b

BILDVERSTEHEN: Aus Bildern werden Aussagen erzeugt.

„Wieviele Personen sind zu sehen?“

„Ist das vorbeigleitende Werkstück das erwartete?“

„Ist dies ein anderes Objekt oder sind es nur zwei sich teilweise überdeckende Objekte der bekannten Art?“

Den Nutzer interessieren oft nicht Daten, um sie selbst zu interpretieren (Bildanalyse), sondern Antworten auf seine Fragen, die qualitativer Natur sind. Die Analyse der gewonnenen Daten unter dem Blickwinkel der Problemstellung und die Formulierung von Aussagen der Art

„Um den Tisch stehen vier Stühle.“ oder

„Es liegt eine verminderte Leistung der linken Niere vor.“

erfordern Methoden der Künstlichen Intelligenz. Hierfür werden Expertensysteme entwickelt. Dies sind Programme, die Schlußfolgerungen auf der Grundlage einer Wissensbasis des Problemkreises aus den gewonnenen Daten ziehen können. Die Synthese verbaler Bildbeschreibungen stellt einen Weg dar, dem Fragenden die Antwort mitzuteilen. Einen anderen Weg liefert die

BILDSYNTHESE: Aus Daten werden Bilder erzeugt.

„Wie sieht der Tumor aus?“

Dazu wird das Objekt in (mehreren Aufnahmen) der Szene erkannt und in eine Datenstruktur umgewandelt, um anschließend aus dieser Datenstruktur das räumliche Objekt in einer gewünschten Projektion darzustellen.

Die Synthese verbaler und bildhafter Beschreibungen von Szenen macht deutlich, daß das geflügelte Wort „Ein Bild sagt mehr als tausend Worte“ unbedingt ergänzt werden muß durch die Umkehrung „Ein Wort sagt mehr als tausend Bilder“.

Worin liegen nun die Probleme der Bildanalyse? Sie sind im Begriff Information selbst zu suchen. Es ist Information, die ein Fragender im Bild zu finden hofft. Die Definition des Gegenstandes der Informatik (und damit auch der Bildverarbeitung) bereitet indes den Fach-

wissenschaftlern einige Probleme. Ich will deshalb auch nicht erst den Versuch unternehmen, die gewiß unterschiedlichen Vorstellungen der Leser von **impuls 68** vom Begriff Information korrigieren zu wollen.

Die strukturellen und semantischen Aspekte der Information muß ich dennoch besonders hervorheben. Dabei sei unter dem strukturellen Aspekt der Information die Art und Weise verstanden, wie einzelne Bestandteile einer Menge von Daten (auch von Bilddaten) zueinander in Beziehung stehen, ob sie sich meßbar ähneln oder unterscheiden. Die Frage ist, welche „Meßverfahren“, d. h. Verfahren der Auswertung von Daten angewendet werden können. Information ist in einer Hierarchie kodiert. So besteht ein Stuhl aus 4 Beinen, einer Sitzfläche und einer Lehne. Diese Bestandteile selbst setzen sich wieder aus einzelnen Komponenten zusammen. Welches Organisationsprinzip macht aber eine Reihe bearbeiteter Hölzer zum Stuhl? Vielleicht verdeutlicht dieses Gedankenspiel etwas, worin die Probleme der Bildverarbeitung bei der Extraktion von Strukturinformation bestehen. Hinzu kommt, daß sich ein Programm der Bildanalyse in der Rolle eines Schlüssellochguckers befindet. Es wird in jedem Augenblick der Abarbeitung nur ein kleiner Ausschnitt aus dem Bild „gesehen“.

Eigentlich habe ich etwas gemogelt, denn eine Sitzfläche wird zunächst nicht als solche erkannt, sondern als Quader im Raum mit geringer Höhe. Dies ist die eigentliche Strukturinformation, welche zunächst völlig wertfrei ist. Der Begriff „Sitzfläche“ impliziert einen Verwendungszweck und ist Träger semantischer Information. Unter dem semantischen Aspekt der Information sei der Wert oder die Bedeutung einer strukturellen Information unter dem Blickwinkel irgend einer Problemstellung verstanden. Der Betrachter muß den richtigen Schlüssel zum Erkennen (dekodieren) der semantischen Information besitzen und anwenden; sonst bleibt ihm die Semantik bildhafter Struktur verschlossen. Das heißt aber auch, daß das, was für einen Betrachter wesentlich ist, für einen anderen völlig bedeutungslos sein kann. Auch für die Semantik gibt es eine Hierarchie von Bedeutungsebenen.

Der Mensch stellt gewöhnlich seine Fragen an die Umwelt auf einer semantischen Ebene. Die Aufgabe des Informatikers ist es, eine Abbildung aus der semantischen Ebene auf die strukturelle Ebene der Information (und umgekehrt) zu realisieren und für die Lösungen entsprechende Software-Werkzeuge, d. h. Programme zur Bildanalyse zur Verfügung zu stellen. Dies ist oft sehr schwierig. Beispielsweise ist es zur Zeit nicht möglich, die Arbeit eines Radiologen, der Röntgenbilder befundet, auf dem Rechner zu simulieren. Es fehlen die Schlüssel zur Erfassung der Bildstrukturen, die diesen Arzt interessieren.

Um Antworten auf solche Fragen mit Hilfe der Datenanalyse finden zu können, muß man Modelle des erfragten Prozesses im Rechner verfügbar haben. Diese Modelle betreffen nicht nur strukturelle und semantische Information, sondern auch die Abbildungen zwischen diesen und die Strategien des Analyseprozesses. Es ist nicht nur notwendig, daß man gute Algorithmen für Teillösungen hat. Vielmehr kommt es auf die sinnvolle Verknüpfung der Lösungsbestandteile an. Es steht fest, daß wir bezüglich der Strategien viel von der visuellen Wahrnehmung des Menschen und der Wirbeltiere lernen können. Wir vermögen unsere Aufgaben eigentlich nur befriedigend zu lösen, wenn wir gleichzeitig mehr über die Wahrnehmungsprinzipien des Menschen kennen. Sehen ist nicht nur die Summe der Reize auf der Netzhaut, sondern Sehen heißt gleichzeitig Verstehen und umfaßt damit auch den Kognitionsprozeß, der uns bis heute noch weitgehend verschlossen ist. Dabei sollte man nicht meinen, es bestände der Wunsch nach einem „elektronischen Golem“, d. h. einem künstlichen Menschen ähnlich dem der Sage nach von einem Prager Rabbi vor Jahrhunderten gebauten Golem aus Lehm. Flugzeuge sind ja auch keine Vögel und können dennoch fliegen.

Hier schlieÙe ich den Bogen zum Anfang des Artikels, als ich den interdisziplinären Charakter der Arbeiten auf diesem Gebiet erwähnte. Aus eben diesen Gründen der Komplexität und Vielschichtigkeit der Aufgaben arbeiten in unserem Kollektiv Mathematiker, Physiker, Ingenieure und Psychologen, kooperieren wir mit Biologen und versuchen, Denkweisen und Denkinhalte von Medizinern zu verstehen, um fachspezifische Probleme lösen zu können. Es macht aber gerade den Reiz moderner wissenschaftlicher Arbeit aus, daß die Problemstellungen unserer Tage nicht mehr durch nur eine einzige Wissenschaftsdisziplin gelöst werden können. Die Spezialisierung des Individuums wird ergänzt durch die Universalität des Kollektivs. Der Einzelne kann im Verlauf seiner beruflichen Entwicklung eine weite, interessante Wanderung durch die Disziplinen vornehmen, ohne streng an seine ehemals gewählte Berufsausbildung gebunden zu bleiben. Ich schreibe dies aus eigener Erfahrung. Während meiner Schülerjahre an der Oberschule interessierte mich die Astronomie. Deshalb studierte ich Physik. Nach einigen Jahren der Arbeit auf dem Feld der „reinen Physik“ wandte ich mich über ein Jahrzehnt der Medizin zu. Dort lernte ich den Reiz der Bildverarbeitung kennen. Heute arbeite ich als Informatiker auf dem technischen Sektor. Mit dieser persönlichen Schlußbemerkung möchte ich all jenen Lesern, die sich unsicher in der Wahl ihres Berufes fühlen oder meinen, das falsche Fach zu studieren, Mut machen. Sie werden in der Praxis sicher das Feld finden, das einen ihrer Resonatoren zum Schwingen bringt. Denjenigen Lesern, die Interesse haben, mehr über die digitale Bildverarbeitung zu erfahren, möchte ich noch zwei Literaturstellen empfehlen. Die über den Postzeitungsvertrieb zu beziehende Zeitschrift *BILD UND TON* vom VEB Fotokinoverlag Leipzig bringt monatlich einige interessante Beiträge zu diesem Fachgebiet. Im vorigen Jahr erschien ein interessantes populärwissenschaftliches Buch:

HUTH, ANDREAS: COMPUTERVISIONEN vom VEB Fachbuchverlag Leipzig (1988).

„Vorsicht, deutsche Luft“

Die Wissenschaft brachte im Verlaufe ihrer langen Geschichte bedeutende Erkenntnisse über die Natur und die menschliche Gesellschaft hervor. Aber nicht nur diese ernste Seite kann als ihre Frucht bezeichnet werden. So werden auch nach wie vor amüsante Anekdoten über die großen Wissenschaftlerpersönlichkeiten erzählt. Zwei von diesen sind der deutsche Gelehrte und Weltreisende *Alexander von Humboldt* (1769–1859) und der französische Chemiker und Physiker *Joseph Louis Gay-Lussac* (1778–1850).

Beide beschäftigten sich um 1800 mit Forschungen zur Ausdehnung der Gase, die u. a. zu dem Gesetz der Volumenänderung von Gay-Lussac (1802) führten. Für diese Experimente benötigten sie sehr dünnwandige Reagenzgläschen, die sie aus Deutschland beziehen mußten, wofür sie aber einen hohen Zoll hätten zahlen müssen. Humboldt bestellte die Gläser in Deutschland und gab nun aber der Firma den Auftrag, die Gläser am offenen Ende zuzuschmelzen und mit dem Vermerk zu versehen: „Vorsicht, deutsche Luft!“

Auf dem französischen Zollamt wurden die Zolltarife nach allen Seiten durchforscht, aber ein Zoll für „deutsche Luft“ war nicht vorgesehen. Die Sendung mußte also zollfrei durchgehen. Im Laboratorium haben die Gelehrten dann die „Luftbehälter“ aufgeschnitten und wieder in Reagenzgläschen verwandelt. Diese kleine Begebenheit scheint nun wieder ein Beleg für die alte Weisheit zu sein, daß man sich nur zu helfen wissen müsse.

K.-D. Herbst

Peter Kulle
Friedrich-Schiller-Universität Jena
Sektion Biologie

Ernährung – Düngung – Umwelt

Die Existenz weiterer menschlicher Generationen ist bedroht. Der Umgang des Menschen mit „seinen“ natürlichen Lebensgrundlagen mündet mittlerweile in ein breites Spektrum regionaler und globaler Probleme. Eines der globalen Probleme resultiert aus der rasanten zahlenmäßigen Entwicklung der Weltbevölkerung: Sicherung der Ernährung der Menschen. Zu Ende des 1. Jahrtausends unserer Zeitrechnung lebten auf der Erde nur 350 Millionen Menschen. Im Jahre 1800 waren es bereits 900 Millionen, und seit Beginn des 20. Jahrhunderts ist die Weltbevölkerung von 1,5 auf 5,1 Milliarden gewachsen. Die Zunahme beträgt derzeit 80

bis 90 Millionen pro Jahr, so daß zur Jahrtausendwende mit über 6 Milliarden Menschen gerechnet werden muß. Noch heute zählen Hunger und Unterernährung zum Alltag der Menschen in der sogenannten dritten und vierten Welt, aber auch in den Slums und Vorstädten entwickelter Länder. Tagtäglich erreichen uns Katastrophenmeldungen aus allen Teilen der Erde. In vielen Ländern der Tropen und Subtropen wurde und wird Waldvegetation zugunsten ackerbaulicher Nutzung, aber auch aus verschiedenen anderen Gründen vernichtet. Die Folgen sind Bodenzerstörungen und nicht zuletzt schwer überschaubare Beeinflussungen des Weltklimas. Mit ca. 8 Millionen km² ist nahezu ein Drittel der Landfläche der Erde bereits versteppt. Um jährlich 60 000 km² wachsen die Wüsten und Steppen unseres Globus. Allein angesichts dieser Zahlen ist die Frage erlaubt: Kann das Welternährungsproblem überhaupt und auf lange Sicht gelöst werden?

Optimistische Prognosen gehen davon aus, daß Mutter Erde maximal 12 bis 14 Milliarden Menschen ernähren könne. Zunächst bleibt dies jedoch eine rein theoretische Überlegung, der wir auch nicht weiter nachgehen wollen. Nicht zuletzt wäre ein weiteres Aufeinanderzugehen der Völker, ein kollegiales wirtschaftliches Miteinander vonnöten. Agrar-Ökosystemen fehlt ein wesentliches Kennzeichen natürlicher Ökosysteme, das Vermögen der Selbstregulation. Der Mensch allein entscheidet über die anzubauenden Pflanzen und greift in den Naturhaushalt ein (Düngung, Bodenbearbeitung, Pestizideinsatz, Fruchtfolge).

Dennoch ist er darauf angewiesen, daß Teile der Biozönose, nämlich das Edaphon, weiterhin funktionieren. Unter Edaphon versteht man die Gesamtheit der im Boden vorkommenden Lebewesen, also Mikroorganismen (Bakterien, Pilze, Protozoen, Bodenalgae) und Bodentiere. Durchschnittlich 75 bis 95 % der Biomasse des Edaphons entfallen auf die Mikroflora. 1 g Boden beherbergt mehrere Milliarden Bakterien. Das pilzliche Wachstum kann sich auf bis zu 1000 Meter Länge erstrecken. In der mikrobiellen Biomasse sind 2 bis 3 % des organischen Kohlenstoffs des Bodens gebunden. Ihre Trockenmasse wird im Ackerboden auf 0,7 Tonnen pro Hektar veranschlagt. Tiere kommen im Boden in außerordentlich vielen Formen, Größen und Arten vor, doch haben allein die Regenwürmer ca. 95 % Gewichtsanteil.

Die Bodenlebewesen spielen im Stoffkreislauf vor allem als Konsumenten und Zersetzer eine Rolle. Sie sind damit für das Recycling der in und auf den Boden gelangenden pflanzlichen und tierischen Rückstände verantwortlich. Diese werden in engem Zusammenwirken von Bodenfauna und Mikroflora in fein abgestufter Reihenfolge zerkleinert, mit dem Boden

vermischt und umgesetzt. Etwa 70 % der Rückstände werden zu Kohlendioxid und Mineralstoffen abgebaut. Der Rest wird in zunehmend stabilere Huminstoffe (chemisch äußerst vielfältige Verbindungen) überführt. Humus, notwendiger organischer Bestandteil jeden Bodens, entsteht also unter Mitwirkung des Edaphons. Humus- und Tonteilchen, die sich zu Ton-Humus-Komplexen verbinden, verdankt der Boden sein inneres Gefüge. Bodenorganismen sind wesentlich an der Entstehung und Stabilität der Hohlräume – Speicher für Luft und Wasser – beteiligt. Hervorzuheben ist die Tätigkeit der Regenwürmer, deren Röhren eine gute Drainage ermöglicht. Für die Stabilität der Bodenkrümel ist die sogenannte Lebendverbauung durch Bakterien und Pilzfäden wichtig. Wenn auch in agrarischen Ökosystemen eine Selbstregulation nicht existiert, so besteht doch – eine gute Bewirtschaftung vorausgesetzt – ein dynamisches biozönotisches Gleichgewicht zwischen den Mitgliedern der Bodenlebensgemeinschaft. Die Aufeinanderfolge von Organismen beim Abbau von Pflanzenrückständen funktioniert, und Pflanzenpathogene (krankmachende Organismen) bleiben auf einem niedrigen Niveau. Die Düngung der Kulturpflanzen spielt neben Pflanzenschutz und Pflanzenzüchtung eine entscheidende Rolle in der modernen Landwirtschaft. Die dem Boden alljährlich durch Ernte entzogenen Mineralstoffe müssen regelmäßig ersetzt werden, um gleichbleibend optimale Pflanzenerträge zu gewährleisten. Offenbar schon frühzeitig machte der Mensch die Erfahrung, daß Düngung und Ertragsbildung eng miteinander verflochten sind, denn im Verlaufe der Entwicklung des Ackerbaus trifft man bald auf verschiedene Formen der Düngung. Wohl eine der ältesten Methoden besteht darin, die ursprüngliche Vegetation abzubrennen und die Samen der Kulturpflanzen in die Asche zu legen. Bei der mittelalterlichen Art des Getreidebaus benutzte man die Getreidefelder bis zum Zeitpunkt des Schossens als Viehweide und konnte damit die Fäkalien der Tiere als Düngung verwenden. Über Jahrhunderte hinweg war es dann üblich, Mist und Gülle aus der Tierhaltung möglichst gleichmäßig auf den Äckern auszubringen. Die von England um 1700 ausgehende sog. Gründüngung zur Verbesserung der damals üblichen Dreifelderwirtschaft, die vor allem durch die Einführung des Kleeanbaus aus Übersee die Humus- und Stickstoffversorgung der Böden an hob, fand in Deutschland und Frankreich rasch Unterstützung. Justus von Liebig (1803–1873) stellte fest, daß der Pflanzenertrag von demjenigen Nährstoff begrenzt wird, der am geringsten im Boden enthalten ist (Liebig'sches Minimumgesetz). Seitdem versucht der Mensch, die für die Pflanzenernährung wichtigen, reinen Mineralsalze anzuwenden, weil man sie am genauesten dosieren und dem Boden in der Form zuführen kann, in der sie von den Pflanzen am leichtesten aufgenommen werden.

Neben seinen Funktionen wie Reservoir für Wasser, Nährstoffe und Luft, Festhalten leichtlöslicher Mineralsalze und damit Bewahrung vor Ausspülung durch Regenwasser müssen dem Boden weitere wichtige Funktionen zugesprochen werden die eng mit der ihm innewohnenden Lebewelt verknüpft sind.

Wir wollen im folgenden die beiden Hauptformen der Düngung – auch in ihren Auswirkungen auf die Bodenlebewelt – etwas näher betrachten.

1. Mineralische Düngung

In der landwirtschaftlichen Praxis hat die Notwendigkeit einer Ertragssteigerung zu einer Zunahme des Verbrauchs an Mineralstoffdüngern geführt. Von den drei Hauptnährstoffen, die unter den Düngemitteln dominieren – Stickstoff, Phosphor, Kalium – wurde der Verbrauch für das Jahr 1973 (FAO 1974) auf 38,5 Millionen Tonnen Stickstoff, 25,2 Millionen Tonnen P_2O_5 und 22,2 Millionen Tonnen Kalium geschätzt. Je nach Pflanzenart, nach Struktur und Chemismus der Böden und der erhofften Erträge werden maximale Düngungs-

empfehlungen gegeben, die bis zu 300 kg Stickstoff, 115 kg Phosphor und 375 kg Kalium pro Hektar reichen.

In der DDR konnten die Hektarerträge an Getreide von 24,7 dt/ha (1960) auf mittlerweile 45 bis 50 dt/ha (und z. T. darüber) gesteigert werden! Der Phosphor-Einsatz verdoppelte sich, der Stickstoffverbrauch stieg auf das 3- bis 4fache im gleichen Zeitraum an.

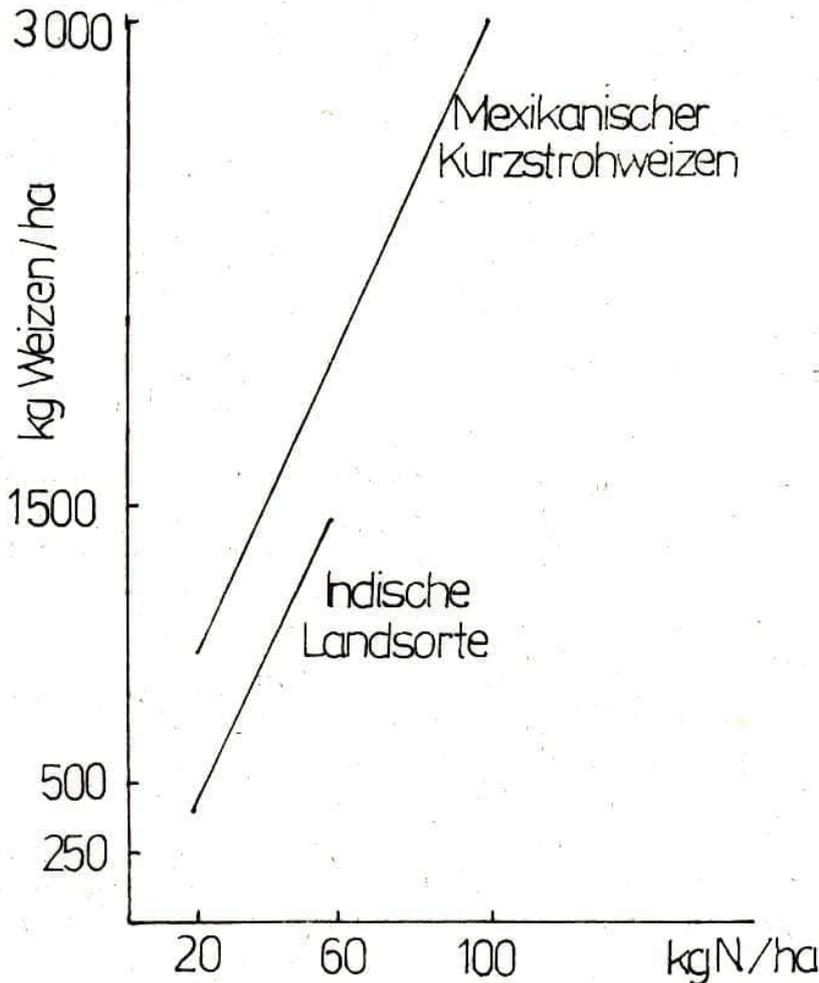


Abb. 1 Abhängigkeit der Ertragsbildung moderner Hochzuchtsorten von der Düngemittelzufuhr.

Obwohl das Düngeproblem in den Ländern mit intensivierter Landwirtschaft offenbar optimal gelöst ist, bleibt die Frage nach der richtigen Düngung umstritten. Ein Argument gegen die Mineraldüngung rührt aus der Angst, man könnte über die so behandelten Pflanzen etwas künstliches, unnatürliches und damit schädliches aufnehmen. Hierbei handelt es sich im wesentlichen um ein Scheinproblem. Denn die gleichen Elemente, die mit dem Mineraldünger den Pflanzen zugeführt werden, gibt man den Pflanzen auch mit natürlichen Düngemitteln. Der Unterschied besteht vor allem darin, daß in natürlichen Düngemitteln die Pflanzennährstoffe in anderer chemischer Bindung vorliegen (z. B. in Form von Proteinen, Nucleinsäuren, Polysacchariden usw.), die im Boden mit Hilfe von Mikroorganismen erst in Mineralstoffe zerlegt werden müssen.

Eine andere Frage ist die, ob mit dem künstlich hergestellten Mineraldünger Fremdstoffe in den Boden gebracht werden. Tatsächlich enthalten z. B. Phosphatdünger Spuren giftiger Schwermetalle (wie Cadmium). Bis zum heutigen Tag läßt sich jedoch nicht feststellen, ob damit langfristig diese Metalle im Boden angereichert werden.

Außer Frage steht dagegen, daß billiger Mineraldünger zum Überdüngen der Felder, Wiesen und Gärten verführen kann. Dies gilt besonders für Nitrate (Salpeter-Dünger), von dem die

größten Mengen dem Boden zugeführt werden müssen, um optimale Erträge zu erzielen. Bei zu reichlichem Nitratangebot neigen eine Reihe von Pflanzen dazu, überschüssiges Nitrat aufzunehmen und in unveränderter Form zu speichern (z. B. zahlreiche Blatt-Gemüse). Bei längerer Gemüselagerung oder wenn das Nitrat mit der Nahrung in den menschlichen Darm gelangt, kann es durch Mikroorganismen in Nitrit überführt werden, was den Sauerstofftransport im Blut reduziert. Die Bildung krebserregender Nitrosamine wird begünstigt. Neben der Gefahr der Nitratspeicherung in Nahrungsmittelpflanzen kann Nitrat-überdüngung dazu führen, daß diese Ionen (NO_3^-), soweit sie nicht von den Pflanzen aufgenommen werden, mit dem Regenwasser aus dem Boden ausgewaschen werden. Die Gefahr des Auswaschens wächst mit sinkender Adsorptionskraft des Bodens, d. h. besonders bei Verarmung an Humus und Tonmineralien. Gelangt ausgewaschenes Nitrat in Oberflächengewässer, dann steigert es dessen Eutrophiegrad (Nährstoffreichtum). Die Folgen sind massenhaftes Algenwachstum (auch im Zusammenhang mit verstärktem Phosphat-eintrag). Mit dem Abbau und der Fäulnis toter Algenmassen insbesondere durch Bakterien tritt ein enormer Sauerstoff-Entzug für das Gewässer auf – sein ökologisches Gleichgewicht ist gestört. Krasse Nebenwirkungen für Tier- und Pflanzenwelt des Gewässers bleiben nicht aus.

Gelangt das Nitrat über das Grundwasser ins Trinkwasser, ergeben sich die gleichen Gesundheitsprobleme für den Menschen wie bei der Nitratspeicherung im Gemüse.

Überdüngung des Bodens mit Phosphat kommt viel seltener vor, weil das Phosphatbedürfnis der Pflanzen viel geringer ist als das Nitratbedürfnis. Phosphat zeigt keine spezifisch toxischen (giftigen) Wirkungen gegenüber Menschen und Tieren.

Ein anderer Nachteil kann sich aus sehr langfristiger, ausschließlicher Mineralstoffdüngung ergeben, wenn bei der Ernte bzw. in erosionsgefährdeten Lagen regelmäßig Bodenverluste auftreten (insbesondere beim Hackfruchtanbau). Diese Verluste werden bei ausschließlicher Mineralstoffdüngung nicht ausgeglichen. Da die Tätigkeit der Mikroorganismen kontinuierlich weiterläuft, nimmt der Humusgehalt des Bodens ständig ab. Gleichzeitig sinkt notwendigerweise seine Adsorptionskapazität für Wasser und Nährstoffionen, die Erodierbarkeit nimmt zu und Bodenstruktur und Durchlüftung werden schlechter. Schließlich können sich Erscheinungen der sogenannten Bodenmüdigkeit einstellen, der Boden verarmt an Spurenelementen. Die Bodenfruchtbarkeit nimmt ab.

Durch erhöhte Eintragung von Stickstoff in Ökosysteme kommt es auch zu Veränderungen bzw. Störungen von Biozönose-Strukturen. Sie äußern sich z. B. in der Phytozönose (Pflanzengemeinschaft) durch Förderung stickstoffanspruchsvoller Arten (auf einer Wiese zahlreiche wenig wertvolle Gräser), die entsprechend konkurrenzschwächere Arten zurückdrängen (viele Kräuter und Heilpflanzen). Bisher nur ungenügend bekannt sind die Wirkungen auf die Bodenmikroorganismen. Sicher ist, daß auch hier Änderungen in der Artenzusammensetzung erfolgen. Zahlreiche phytopathogene Pilze werden durch Stickstoff-Düngung gefördert. Andererseits hat die mineralische Düngung indirekt günstige Wirkungen. Vermehrtes Pflanzen-, insbesondere Wurzelwachstum, bringt mehr organische Stoffe in den Boden und regt zunächst die Rhizosphären-Organismen, dann aber auch die übrigen Glieder der Bodenbiozönose an.

2. Organische Düngung

Nachteilige Auswirkungen einer langfristigen, ausschließlichen Mineralstoffdüngung des modernen Landbaus, versuchen biologische Anbauverfahren entgegenzuwirken. Wesentliche Merkmale dieser alternativen Bewirtschaftung sind u. a. die Verwendung organischer

Düngemittel wie Stallmist, Kompost und Hornspäne. Ferner werden viel Leguminosen zur Gründüngung angebaut. Auch künstliche Pflanzenschutzmittel werden verschmätzt und höchstens durch einige Naturstoffe ersetzt. Damit will man vermeiden, die Umwelt und vor allem die Nahrung des Menschen mit Giftstoffen zu belasten.

Es ist jedoch unmöglich, das durch Ernte für den Boden entstehende Nährstoffdefizit – bei gleichbleibend hohen Erträgen – ausschließlich durch organische Düngung (Gülle oder Stallmist) zu kompensieren.

Aus nicht nur ökologischen Gründen sollte die mineralische Düngung als Ergänzung zur organischen Düngung erfolgen: Die organische Düngung wirkt sich fast immer günstig aus, wenn sie nicht aus überwiegend leichtabbaubaren Stoffen besteht, bei deren Zersetzung auch Dauerhumus mit abgebaut werden kann. Sie muß so in den Boden eingearbeitet werden, daß kein Luftabschluß eintritt und anaerobe Prozesse (ohne Sauerstoff) vermieden werden. Die positive Wirkung der organischen Düngung beruht auf einer Anregung des Bodenlebens, was sich in einem Ansteigen ihrer Aktivität und Zunahme ihrer Zahl zeigt. Damit verbessert sich die Krümelbildung und -stabilität. Durchlüftung, Wasserspeicherung und Drainagen werden verbessert, die Erosionsgefahr nimmt ab.

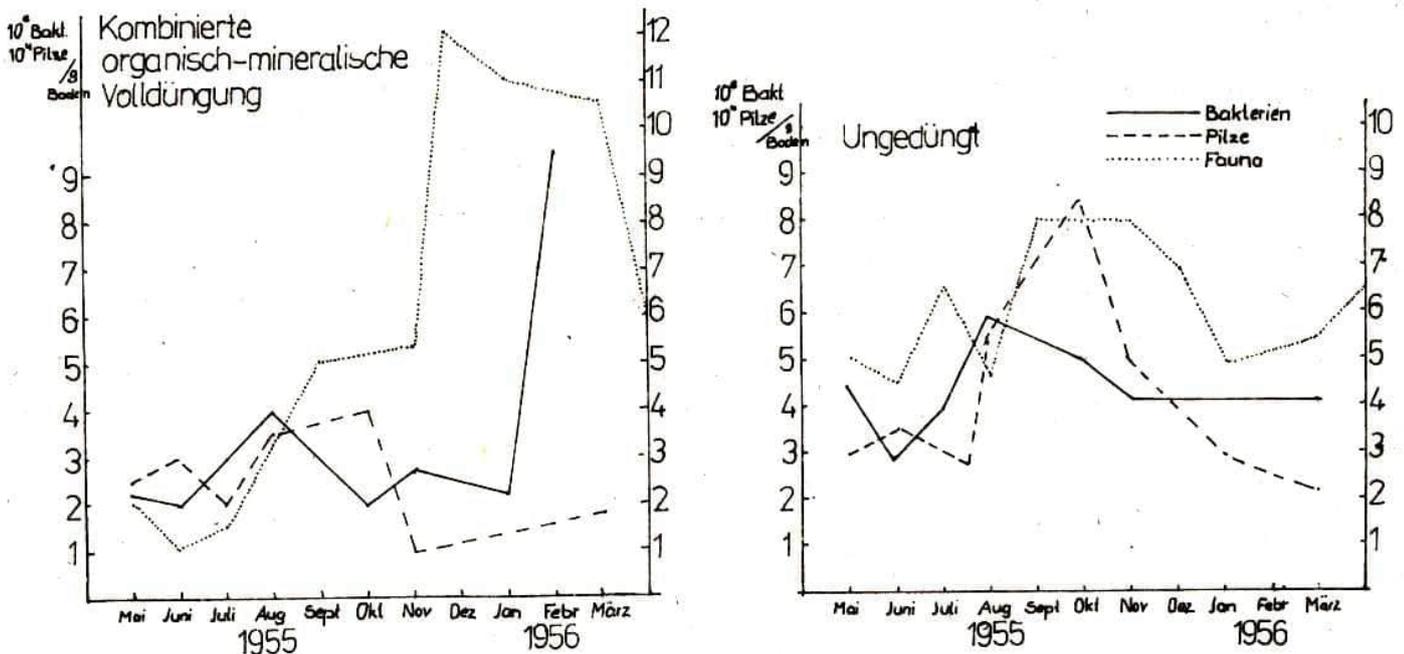


Abb. 2 Einfluß einer erstmaligen organisch-mineralischen Volldüngung auf den Mikroorganismenbesatz eines lange Zeit ungedüngten Wiesenbodens in Abhängigkeit von den jahreszeitlichen Dichteschwankungen.

Die sich nach organischer Düngung im Boden einstellende Mikroorganismen-Population ist der Mikroorganismen-Gemeinschaft, die im engeren Wurzelbereich der Kulturpflanzen (= Rhizosphäre; siehe auch Artikel im letzten Heft) auftritt, sehr ähnlich. Im Wissen um die Bedeutung der Rhizosphären-Population für die Kulturpflanze – u. a. Schutz vor Pathogenen – muß somit der organischen Düngung eine für die Pflanzen gesundheitsfördernde Wirkung zugeschrieben werden!

Wie für den Stallmist schon früher, ist auch für die Gülle nachgewiesen worden, daß sie im Boden gut mineralisiert wird und neue organische Verbindungen entstehen. Dabei dürfte jedoch nicht unbedeutend sein, welche Eigenschaften und Qualität der mit Gülle behandelte Boden besitzt und welche Mengen an Gülle ausgebracht werden.

Das für die Abbauintensität der eingebrachten Substanzen entscheidende Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis liegt bei Gülle gegenüber Stallmist wesentlich ungünstiger.

Übermäßige Gülleanwendung kann anaerobe Verhältnisse für die Bodenlebewesen schaffen und über die Nitratverlagerung eine große Gefahr für Oberflächen- und Grundwasser darstellen. Daneben dürfen Fragen der Hygiene nicht außer acht gelassen werden.

In großen Mengen entweichendes Ammoniak – typisch für Gebiete mit ausgeprägter Massentierhaltung – wird als Umweltgift in Zusammenhang mit dem sogenannten „neuartigen“ Waldsterben gebracht.

Weitere Möglichkeiten organischer Düngung sind die Ausbringung von verkompostiertem städtischem Müll und Müll-Klärschlamm, die Verrieselung von Abwässern sowie der Einsatz von Torfen.

Müll, Klärschlämme und Abwässer sind jedoch toxikologisch bedenklich, da ihre Zusammensetzung oft nicht genau oder nur unzureichend bekannt ist. Die Gefahr einer Akkumulation von Giftstoffen im Boden (z. B. Schwermetalle) ist in jedem Fall gegeben.

Um den gegenwärtigen wie zukünftigen Anforderungen gerecht zu werden steht vor der modernen Landwirtschaft die Aufgabe, mineralische und organische Düngung im Interesse einer langfristigen Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit – unter Berücksichtigung ökologischer Zusammenhänge – sinnvoll zu kombinieren.

Das gewaltige Bevölkerungswachstum in weiten Teilen Lateinamerikas, Afrikas und Asiens scheint zum größten nationalen Problem dieser Länder zu werden. Eine national geregelte Geburtenkontrolle könnte hier entscheidend helfen. Andererseits wachsen die sozialen Mißstände in den Ländern der sogenannten dritten und vierten Welt, die Kluft zwischen Arm und Reich wird immer tiefer. Aus eigener Kraft sind die Staaten kaum in der Lage, akzeptable Wege zur Lösung ihrer Probleme zu gehen. Starke internationale Abhängigkeiten erschweren den Prozeß, machen es schier unmöglich.

Neue Formen einer kollegialen internationalen Zusammenarbeit und Kooperation müssen gefunden werden, um zukünftig allen Menschen das tägliche Brot zu sichern. Aus der gemeinsamen Verantwortung heraus, daß alle Staaten und Gesellschaften die Verpflichtung haben, die Umwelt für uns und die kommenden Generationen zu erhalten, sollten neue Wege beschritten werden können. Zahlreiche Anstrengungen werden bereits unternommen, seien es die gemeinsame Erarbeitung und der Austausch von Öko-Technologien, Versuche der Rekultivierung bereits versteppter Gebiete in vielen Teilen der Erde, bilaterale und multilaterale Abkommen im Sinne eines Umweltschutzes bzw. einer Umweltkontrolle u. v. a.

Die langfristige Erhaltung der Lebensbedingungen für die Menschheit erfordert die intensive und umfassende Erarbeitung eines globalen Programms und dessen konsequente Durchführung, denn nachteilige Veränderungen der Lebensbedingungen von globalem Ausmaß können nicht kurzfristig wieder beseitigt werden.

Literaturtip: Spektrum, Heft 6/89

Matthias Mann
Friedrich-Schiller-Universität Jena
Sektion Physik

Selbstorganisation **(Teil 5)**

Die bisherigen Folgen der Artikelserie erschienen in den Heften 1/88, 2/88, 4/88 und 1/89. Nach einem kleinen Überblick über die Geschichte und Prinzipien der Evolution beschäftigten wir uns am Anfang mit so grundlegenden Begriffen wie z. B. Struktur und Entropie. Darauf aufbauend konnten wir uns erklären, wie in Übereinstimmung mit den thermodynamischen Gesetzen eine Bildung geordneter Strukturen in Systemen unserer Umwelt prinzipiell möglich ist. Danach betrachteten wir spezielle Systeme, die der Physik (Strömungslehre, Optik, ...) und Chemie entlehnt waren und untersuchten dort die Gesetzmäßigkeiten der Strukturbildung.

In diesem, die Artikelserie vorerst abschließenden Beitrag wollen wir uns sehr komplexen Systemen zuwenden, nämlich dem Kosmos, unserer Erde sowie lebenden Organismen. In einer sehr vereinfachten Darstellung untersuchen wir, auf welcher Grundlage sich hier Strukturen ausbilden können.

3.3. Thermodynamik der Evolution der Metagalaxis und der Erde

Auch das Weltall im Großen weist Strukturen auf. Das zeigt sich in der Existenz von Sternen, Galaxien, Galaxienhaufen, Planetensystem usw. Wie kommt es zur Entstehung von Strukturen im Weltall? Was ist die tiefere Ursache dafür?

Allgemein geht man davon aus, daß alle Materie im Weltall vor 15–20 Mrd. Jahren in einem extrem heißen Gasplasmazustand auf unmeßbar kleinem Raum zusammengepreßt war und rasch expandierte.

Nach dem sogenannten Hubbleschen Gesetz entfernen sich im Weltall zwei Objekte im Abstand R mit der Geschwindigkeit $v = H \cdot R$ (H ... Hubblesche Konstante) voneinander. Zur Zeit $t_0 = 0$ waren rein formal sämtliche Abstände gleich Null. Das Weltall war auf einen Punkt konzentriert. Wie dieser Zustand zu verstehen ist, ist noch völlig ungeklärt, ihn wollen wir in die folgenden Betrachtungen auch nicht einschließen. Mit der Expansion des Kosmos nimmt also der Abstand zweier Punkte gemäß einer Funktion $R = R(t)$ zu. Die konkrete Gestalt dieser Funktion ist hier unwesentlich, uns soll genügen, daß es eine monoton wachsende Funktion ist. Mit der Expansion vermindert sich auch die mittlere Materiedichte, die proportional $R^{-3}(t)$ ist.

Das heute unüberschaubare Weltall besteht aus einem relativ homogenen Photonengas (ca. $5 \cdot 10^8$ pro m^3) und der sich darin befindlichen stofflichen Materie. Das Verhältnis zwischen Photonen- und Atomdichte beträgt etwa $5 \cdot 10^9 : 1$.

Aus diesen Tatsachen folgen die Entwicklungsgesetze für die mittlere Dichte der Photonen und Atome:

$$\begin{aligned} n_P(t) &\approx 5 \cdot 10^8 \text{ m}^{-3} [R_1/R(t)]^3 \\ n_A(t) &\approx 1 \text{ m}^{-3} [R_1/R(t)]^3 \end{aligned} \quad (3.15)$$

(R_1 bezeichnet den Abstand zweier Objekte zu einer festen Zeit t_1).

Wir wollen nun das Weltall als ein Gas betrachten, das sich adiabatisch ausdehnt. (Adiabatisch: ohne Wärmeabgabe und -zufuhr). Man ordnet nun den verschiedenen Kompo-

nennten unseres „Gases“ (Atomen und Photonen) eine Temperatur zu. Aus der statistischen Physik erhält man eine Beziehung zwischen der Dichte und der Temperatur. Für die atomaren Gase gilt

$$n_A \sim T_A^{3/2} \quad (3.16)$$

für das Photonengas dagegen erhält man

$$n_P \sim T_P^3 \quad (3.17)$$

Aus 3.15–3.17 erhält man dann eine Beziehung, wie diese Temperaturen mit der Ausdehnung des Weltalls im Zusammenhang stehen. Es folgt:

$$T_A(t) \sim R(t)^{-2} \quad (3.18)$$

und

$$T_P(t) \sim R(t)^{-1} \quad (3.19)$$

Ähnlich folgt für die Entropiedichte beider Komponenten der Zusammenhang:

$$s_A = S_A(t)/V(t) \sim R^{-3}(t)$$

$$s_P \sim T_P^3(t) \sim R^{-3}(t)$$

Das heißt: In einem expandierenden Kosmos nehmen die Temperatur und die Entropiedichte im räumlichen Mittel ständig ab. Diese Tatsache bildet die eigentliche Grundlage für die Entwicklung komplexer Strukturen im Weltall. Das heißt, die entscheidende thermodynamische Ursache der Selbstorganisation und Evolution in unserer Welt ist letztlich die Expansion des Weltalls.

Ein Teilsystem des expandierenden Kosmos ist ein offenes thermodynamisches System, das ständig Entropie exportiert und damit zur Bildung von Strukturen in der Lage ist. Betrachten wir das etwas genauer. Wir wollen eine Bedingung für eine mittlere Strukturbildung im Weltall finden. Dazu betrachten wir die Entropiedichte $s(t) = S(t)/V(t)$ für einen Teilraum mit mitbewegten Wänden im Kosmos. Dessen Volumen soll nach einem R^3 -Gesetz zunehmen. Unter der Annahme, daß es für diesen Teilraum im Mittel keinen Entropieaustausch gibt, gilt $dS(t) = d_i S$.

Es kann aber im Innern Entropie erzeugt werden. Für die Entropiedichte folgt also

$$\begin{aligned} ds(t)/dt &= 1/V(t) \cdot d_i S/dt - S(t)/V^2(t) \cdot dV(t)/dt \\ &= \sigma - 3s(t) \cdot d/dt [\ln R(t)] \end{aligned} \quad (3.20)$$

Nach unserer Gleichung (2.14) bedeutete $d_i/dt = P$ die Entropieproduktion im Inneren des Systems. $\sigma = P/V$ ist eben diese Größe, bezogen auf das Volumen. Man nennt σ Entropieproduktionsdichte. Wegen dem grundlegenden zweiten Hauptsatz der Thermodynamik (2.6) gilt aber stets $d_i S \geq 0$. Hieraus folgt, daß auch $\sigma \geq 0$ sein muß. Zur Strukturbildung muß sich nach unseren allgemeinen Betrachtungen im Abschnitt 3.1 die Gesamtentropie eines Systems verringern. Das heißt:

$$dS(t)/dt < 0$$

Hieraus folgt für das kosmische Teilsystem

$$\sigma \leq 3s(t) d/dt [\ln R(t)]$$

Man erhält also

$$d/dt [\ln R(t)] \geq \sigma/(3s) \quad (3.21)$$

als eine globale Bedingung einer „Strukturbildung im Mittel“ im Kosmos. Strukturbildung ist nur oberhalb einer kritischen Expansionsgeschwindigkeit möglich.

Für genauere Betrachtungen muß man den Zerfall des kosmischen Systems in eine stoffliche und eine Photonenkomponente berücksichtigen. Bildhaft gesprochen ist der „Photonensee“ eine „Deponie für den Entropiemüll“ der sich strukturierenden stofflichen Komponente. (Strukturbildung durch Gravitationswechselwirkung.)

Betrachten wir nun ein sehr, sehr viel kleineres, für unsere Begriffe aber trotzdem gigantisches System – unsere Erde. Die Erde ist ein riesiges offenes System. Die Strukturbildung vollzieht sich im wesentlichen in den Oberflächenschichten und umfaßt geologische, atmosphärische und biologische Prozesse. Die Entropiepumpen (vgl. die physikalischen und chemischen Beispiele in den vorangegangenen Abschnitten), die diese Evolutionsprozesse antreiben, sind im wesentlichen die Sonnenstrahlen, aber auch die Energievorräte im Erdkern, die durch Wärmeleitung und Konvektion, Vulkanausbrüche und Erdbeben an die Erdoberfläche gelangen. Abb. 17 zeigt die Energieflüsse durch das offene System Erde.

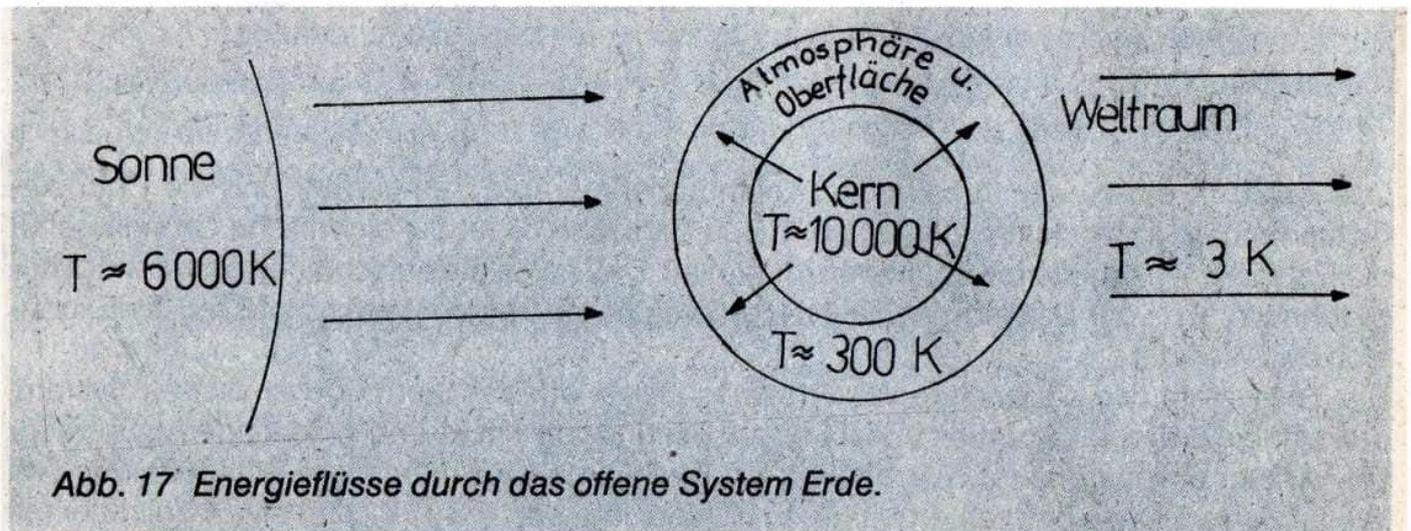


Abb. 17 Energieflüsse durch das offene System Erde.

Man sieht, die Temperaturunterschiede zwischen Sonne und Erdkern einerseits und der kosmischen Temperatur andererseits treiben die Evolution des Systems Erde an. Die Erde selbst hat keinen Einfluß auf die Temperatur von Sonne oder Weltraum und ist somit ein passives System.

Die Energiebilanz ist ausgeglichen. Im einzelnen laufen äußerst komplizierte Prozesse ab, auf die wir hier nicht näher eingehen können. Die einfallende Strahlung wird teilweise sofort reflektiert, der Rest wird von der Atmosphäre und der Erdkruste absorbiert. Durch Verdampfung von Wasser über den Ozeanen wird weitere Energie in die Atmosphäre transportiert. Die von der Erde abgestrahlte Energie verläßt die Erde zum großen Teil im langwelligen Spektralbereich. Abgesehen von der Bildung biologischer Strukturen sind also Strukturen in der Atmosphäre (Wetter, Klima) eine Folge dieser Energieein- und -abstrahlung. Zur Abschätzung des Entropieflusses pro Sekunde, der durch die Sonne abgepumpt wird, nehmen wir folgende Werte an:

Die Erde absorbiert im Mittel 10^{17} Watt bei 5770 K (kurzwellige Strahlung). Die gleiche Energie wird bei einer Temperatur von 257 K im langwelligen Spektralbereich wieder emittiert. Der Entropieexport beträgt dann

$$d_e S/dt = 10^{17} \text{ W} [1/(5770 \text{ K}) - 1/(257 \text{ K})]$$

$$\approx -4 \cdot 10^{14} \text{ W/K}$$

Wesentlich geringer ist der durch die Energiereserven des Erdkerns angetriebene Entropieexport. Er beträgt ca.

$$d_e S/dt = 10^{14} \text{ W} [1/(10^4 \text{ K}) - 1/(300 \text{ K})]$$

$$\approx -3 \cdot 10^{11} \text{ W/K}$$

wenn man als Energiestrom zur Erdoberfläche 10^{14} W , als Temperatur des Erdkerns 10000 K und als Temperatur der Oberfläche 300 K ansetzt.

Demzufolge ist die kurzweilige Sonnenstrahlung die wichtigste Entropiepumpe der Erde. Sie ist verantwortlich für die vielfältigen Prozesse der Selbstorganisation und der biologischen Evolution an der Oberfläche unseres Planeten.

Der durch den Erdkern angetriebene Entropieexport ist zwar kleiner, spielt aber trotzdem eine wichtige Rolle bei der Evolution der Erde. Er ist Antriebskraft der tektonischen Prozesse. Durch die Temperaturdifferenz zwischen Erdkern und Erdoberfläche bilden sich im Magma Konvektionsströme (siehe Informationskaten 2 im zweiten Teil) aus, was zu dem von uns betrachteten Benard-Effekt analog ist.

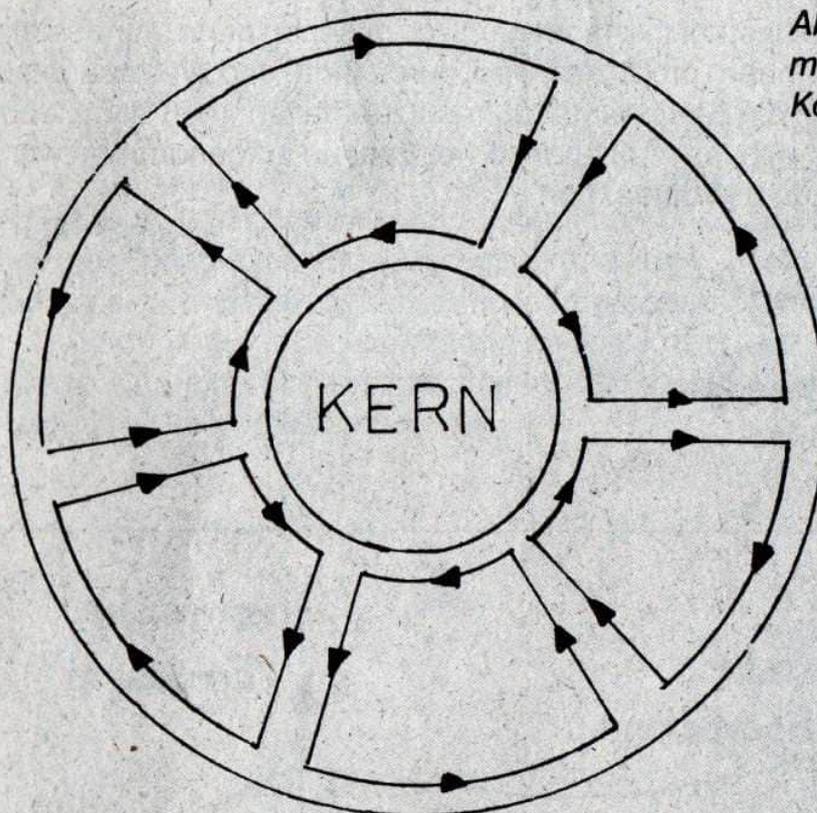


Abb. 18 Großräumige
magmatische
Konvektionsströme

Auch bei der Ausbildung des planetaren Windsystems spielen solche Prozesse eine Rolle. (Die Erdrotation wurde hier der Einfachheit halber ausgeklammert, sie kommt bei genaueren Rechnungen als komplizierender Faktor noch hinzu). Das Geschwindigkeitsfeld des Magmas an der Erdoberfläche ist damit unter Umständen für die komplizierten Bewegungen der Kontinentalschollen verantwortlich. Die Aufstellung eines theoretischen Modells der Magma-bewegung könnte es also gestatten, die Bewegung der Kontinente zurückzuverfolgen und damit unser Verständnis der geologischen Evolution zu bereichern.

3.4. Selbstorganisation lebender Systeme

Die bisher betrachteten Beispielen strukturbildender Systeme stammten durchweg aus dem anorganischen Bereich. Diese Systeme trugen manchmal einen etwas ungewöhnlichen Charakter. Dagegen ist die Selbstorganisation und Evolution im organischen Bereich eines

der Grundphänomene überhaupt. Einer Interpretation der Selbstorganisation und Evolution lebender Systeme waren grundlegende Arbeiten von OSTWALD, BERTALANFFY, SCHROEDINGER, PRIGOGINE u. a. gewidmet, welche die Grundlage moderner Untersuchungen bilden. Wir können hier bei der Betrachtung dieser Erscheinungen nicht ins Detail gehen. Vielmehr beschränken wir uns auf die allergrößten Zusammenhänge.

Lebewesen sind offene Systeme, die ihre Struktur und Funktion durch ständigen Energie- und Stoffaustausch mit der Umgebung aufrechterhalten. Dabei wird im Inneren des Systems Entropie produziert, d. h. es gilt

$$d_i S/t > 0$$

Andererseits sind Lebewesen für die Dauer ihrer Existenz stabil gegenüber Umweltschwankungen. Dies bedeutet, es liegt ein echtes Fließgleichgewicht vor. Lebewesen sind also stationäre dissipative Strukturen (auf Fragen des Wachstums kommen wir zum Schluß zu sprechen; zum Begriff des Fließgleichgewichts vgl. Abschnitt 3.1).

Die Funktion des Stoffwechsels besteht thermodynamisch gesehen darin, mindestens soviel Entropie, wie pro Zeiteinheit im Innern produziert wird, durch Stoff- und Wärmeaustausch mit der Umgebung abzugeben. Um die Stationarität aufrechtzuerhalten, muß dabei ebenso die Energiebilanz gewahrt bleiben, d. h. es muß ebenso viel Energie aufgenommen werden wie abgegeben wird. Der notwendige Entropieexport

$$-d_e S/dt \geq d_i S/dt > 0$$

wird durch drei Prozesse gesichert:

1. Wärmeabgabe
2. Stoffaustausch mit der Umgebung
3. Stoffumwandlung im Innern

Abb. 19 zeigt dies schematisch.

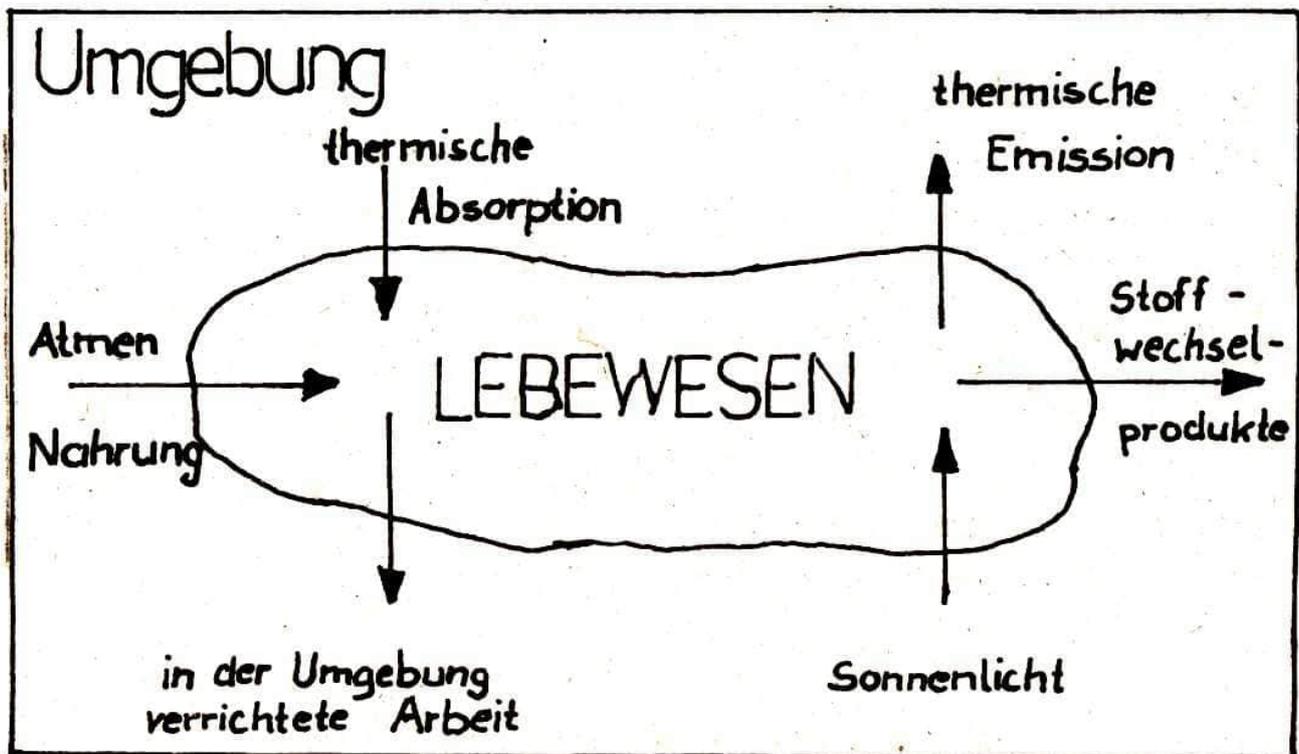


Abb. 19 Beiträge zum Entropieexport eines Lebewesens.

Die Entropieproduktion im Innern wird getragen durch dissipative Arbeitsleistung und Stoffumwandlung.

Der wesentliche Unterschied zwischen den bisher betrachteten Beispielen (Benard-Effekt, Laser, Erde, ...) und dem lebenden Organismus besteht darin, daß die Ordnung im Lebewesen nicht durch eine äußere Pumpe, sondern durch einen inneren Mechanismus aufrechterhalten wird. Die Triebkraft des Entropieexports liegt im Innern. Thermodynamisch gesehen ist ein Organismus einem Kraftwagen ähnlich. Im Motor des Kraftwagens wird Benzin verbrannt und durch einen geeigneten Mechanismus in Nutzarbeit, Wärme ... umgewandelt. Im stationären Zustand (Leerlauf, konstante Geschwindigkeit) dient das Benzin nur zur Aufrechterhaltung der inneren dynamischen Ordnung. (Kompensation der im Inneren und an der Fahrbahn durch Reibung erzeugten Entropie.) Bei stärkerer Benzinzufuhr (Gasgeben) wird Nutzarbeit freigegeben, die zum Beschleunigen des Systems oder fremder Lasten benutzt werden kann.

Der entscheidende Unterschied zwischen dem thermodynamischen System Auto und Organismus besteht darin, daß das Funktionsprinzip des Autos vom Menschen entworfen wurde, das Prinzip eines lebenden Organismus dagegen das Ergebnis eines natürlichen Evolutionsprozesses ist. Der thermodynamisch gemeinsame Zug zwischen Kraftwagen und Organismus besteht darin, daß die für den Entropieexport sorgende Pumpe im Innern des Systems ist. Zur Aufrechterhaltung der Funktion benötigt diese Pumpe energiereiche und entropiearme Substanzen (hochwertige Brennstoffe bzw. Futterstoffe – Benzin, Eiweiß, Fette, Kohlenhydrate, ...). Beide geben dann energiearme und entropiereiche Stoffe (Abgase, Stoffwechselprodukte) sowie Wärme an die Umwelt ab.

Lebewesen sind also aktive strukturbildende Systeme. Als ein spezielles Beispiel wollen wir die Vorgänge im Vogelei betrachten.

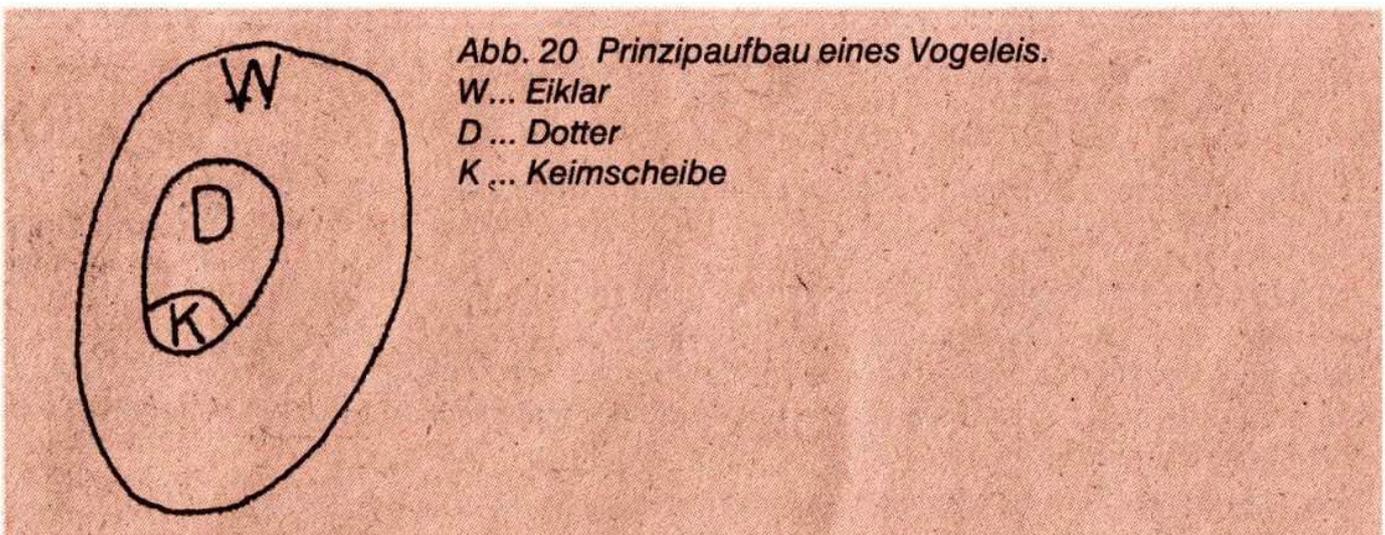


Abb. 20 Prinzipaufbau eines Vogeleis.

W... Eiklar

D... Dotter

K... Keimscheibe

Das Vogelei enthält einen Vorrat an Nährsubstanzen. Der befruchtete Zellkern bildet die Keimscheibe. Werden die Brutbedingungen hergestellt (38–39°C und 60–65% Luftfeuchtigkeit beim Haushuhn), so setzen die Zellteilungen ein. Die Entwicklung des Keimlings vollzieht sich in folgenden Stufen:

1. Bruttag Ausbildung der sog. Primitivrinne mit Chordafortsatz
2. Bruttag Ausbildung der Grundgestalt des Körpers mit Kopf und Hinterteil sowie Herzschlauch

3./4. Bruttag Ausbildung des Kreislaufs und der Allantoinblase zur Sammlung der Stoffwechselprodukte
weitere Bruttage Differenzierung der Extremitäten in Flügel und Beine, Ausgestaltung des Organsystems (Verbrauch des Dotters), Schlupfvorgang durch Zerstörung der Kalkschale

Während des gesamten Brutvorgangs werden mit der Umgebung Wärme, Sauerstoff, Wasserstoff und Wasserdampf ausgetauscht. Das Ei ist folglich ein offenes System.

Wir betrachten nun den Prozeß der Entstehung geordneter Strukturen bei der Individualentwicklung in der Eizelle. Die Gesamtentropie des Eis sei S , die Entropie des Embryos S_E und die Entropie von Dotter und Weißer S_D .

Es gilt also $S = S_D + S_E$, $dS = dS_E + dS_D$.

Außerdem gilt wie immer $dS = d_iS + d_eS$ als Bilanz zwischen Entropieproduktion und -export.

Die wesentlichen irreversiblen Prozesse laufen in der Keimscheibe ab.

Deswegen gilt $d_iS_D \approx 0$.

Der Austausch mit der Umwelt beschränkt sich auf einen Wärme- und Gasaustausch des Untersystems Dotter – Weißer durch die Schale:

$$d_eS = dQ/T + dS_{\text{gas}}$$

dS_{gas} umfaßt die ständige Aufnahme von Sauerstoff und Abgabe von CO_2 und H_2O -Dampf.

In der Regel gilt $dS_{\text{gas}} \ll dQ/T$

Man erhält also für die Entropieänderung der Keimscheibe

$$\begin{aligned} dS_E &= dS - dS_D = d_iS + d_eS - dS_D \\ &\approx d_iS_E + dQ/T - dS_D \end{aligned} \quad (3.22)$$

Damit resultiert für die Entropieproduktion der Keimscheibe

$$d_iS_E \approx -dQ/T + dS_E + dS_D \quad (3.23)$$

Die experimentelle Bestimmung des Zeitverhaltens der Entropie des Embryos aus

$$dS_E = d_iS_E + dQ/T - dS_D$$

ist schwierig, da rechts die Differenz von zwei großen Termen steht. Theoretisch ist zu erwarten, daß die Entropieänderung besonders durch die Prozesse der Differentiation (Selbstorganisation) und des Wachstums der Biomasse beeinflusst wird. Um beide Effekte zu trennen, untersucht man die zeitliche Änderung der spezifischen Entropie bezogen auf die Einheit der Biomasse (S_E/m).

$$\begin{aligned} d/dt(S_E/m) &= 1/m \cdot dS_E/dt - S_E/m^2 dm/dt \\ dS_E/dt &= m \cdot d/dt[(S_E/m) + (S_E/m)]dm/dt \end{aligned} \quad (3.24)$$

Der Prozeß der Differentiation entspricht einer Verringerung der spezifischen Entropie (S_E/m) des Embryos. Wachstum entspricht einem positiven dm/dt . Die Entropieänderung des Embryos besteht also aus der Überlagerung eines positiven Terms (Wachstum) und eines negativen Terms (Differenzierung). Aus diesem Grund existiert kein monotonen Verhalten der Entropieänderung. Nach vollendeter Differenzierung des Embryos muß seine Entropie gegenüber dem Ei abgenommen haben (Selbstorganisation). Die experimentellen und theoretischen Forschungen auf diesen Gebieten sind noch in beständigem Fluß und man kann stets neue Ergebnisse erwarten.

Mit diesem Beispiel zur Selbstorganisation lebender Systeme soll diese kleine Artikelserie zur Physik der Selbstorganisation und Evolution vorerst abgeschlossen werden, obwohl eine Vielzahl von interessanten Problemen nicht behandelt werden konnte. In späteren Heften dieser Zeitschrift werden eventuell selbständige Artikel zu einzelnen Prinzipien und Erscheinungen des Evolutionsprozesses erscheinen. Dazu kann diese kleine Artikelserie eine Grundlage sein.

Wer an derartigen Problemen Interesse gefunden hat, dem kann das überaus interessante Buch von W. Ebeling und R. Feistel „PHYSIK DER SELBSTORGANISATION UND EVOLUTION“ (Akademie-Verlag, Berlin 1986) empfohlen werden, aus dem auch der Großteil des hier dargelegten Materials entnommen wurde.

Drei mal sieben – unsere Erklärungen

Drei verschiedene Gebiete der Physik müssen zur Erklärung sozusagen ausgesiebt werden.

1.

Das Metallsieb, welches das Radio abdeckt, wirkt als Faradayscher Käfig. Dieser Anordnung liegt folgende Tatsache zugrunde: Das Innere eines leitenden Körpers, der wie ein Käfig auch hohl und löchrig sein kann, ist feldfrei. Zum Radio können also keine elektromagnetischen Felder mehr gelangen. Die Ursache liegt in der freien Beweglichkeit der Ladungsträger in Metallen. Die Energie der Radiowellen „verbraucht“ sich also schon für die Bewegung der Elektronen im Metallsieb. Die Elektronen im Antennendipol gehen fast leer aus.

2.

Die freie Beweglichkeit der Elektronen ist auch für das „Abscheiden“ einer Kerzenflamme durch ein Metallsieb verantwortlich. Gerade die Elektronen ermöglichen neben den schwingenden Metallgitterionen eine schnelle Wärmeableitung. Oberhalb des Siebes werden die Kerzengase zwar vorhanden sein, deren Temperatur reicht aber nicht mehr zur Entzündung – die Flamme verschwindet.

3.

Ein fettiges feinmaschiges Sieb kann bei behutsamem Vorgehen durchaus zum Wasserschöpfen Verwendung finden. Zur Erklärung soll der Blick wieder in den Mikrokosmos schweifen. Zwischenmolekulare Kräfte halten die Wassermoleküle zusammen (Kohäsionskräfte), verbinden aber auch Moleküle unterschiedlicher Stoffe (Adhäsionskräfte). Das Verhältnis dieser beiden Kräfte bestimmt auch das Schicksal eines Wassertropfens, der auf ein Teesieb gerät. Ist die Adhäsion größer, so wird er zerrissen und umhüllt die Siebfäden – man sagt dann, er benetzt diese. Im anderen Fall sind die den Tropfen zusammenhaltenden Kräfte größer. Sie wirken wie eine dünne Gummihaut, die den Tropfen zusammenhält. Diese Haut kann so stabil sein, daß sie auf ein feines Sieb gelegt nicht reißt. Wasser und Fett sind solche sich „abstoßenden“ Substanzen.

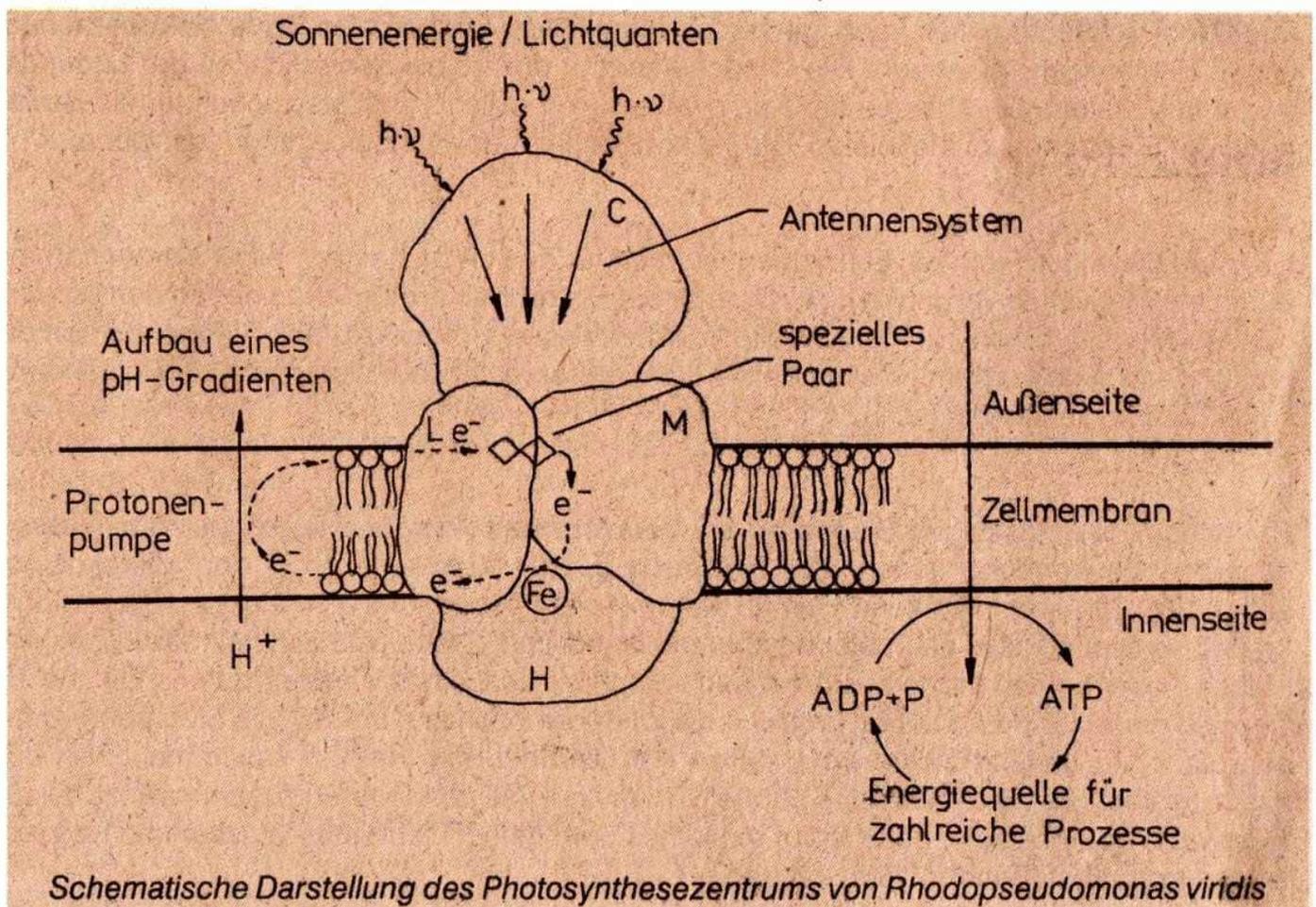
Holger Sack
Friedrich-Schiller-Universität Jena
Sektion Biologie

Dem Kraftwerk der Natur auf der Spur

Der Nobelpreis für Chemie 1988 wurde an die Wissenschaftler Johann Deisenhofer (45), Robert Huber (51) und Hartmut Michel (40) vergeben. Am Max-Planck-Institut für Biochemie in Martinsried bei München hatten sie in der Zeit von 1981 bis 1985 an der Strukturaufklärung des Photosynthesezentrums von *Rhodospseudomonas viridis* (einem Purpurbakterium) gearbeitet. Das Photosynthesezentrum dieses Bakteriums wird durch ein kompliziertes Eiweißmolekül gebildet. Die Strukturaufklärung für solch große Moleküle stellt eine bisher einmalige Leistung dar.

Die Photosynthese – eine Grundvoraussetzung des irdischen Lebens

Bekanntlich sind nur autotrophe Organismen in der Lage, aus anorganischen Verbindungen unter Verwendung von Sonnenlicht organische Verbindungen aufzubauen, und somit ihren gesamten Energiebedarf aus Strahlungsenergie zu decken. Von den ca. $5 \cdot 10^{27}$ J, welche die Erde pro Jahr von der Sonne aufnimmt, werden etwa $3 \cdot 10^{21}$ J pro Jahr durch die Photosynthese fixiert. Diese Energieumwandlung übertrifft den weltweiten jährlichen Primärenergieverbrauch (z. B. ca. $3 \cdot 10^{20}$ J im Jahre 1980) um das Zehnfache. Auch die fossilen Brennstoffe gehen auf die Energiefixierung durch Photosynthese zurück.



Die Photosynthese teilt man in zwei Prozesse ein, die als Licht- und Dunkelreaktion bezeichnet werden. In der Lichtreaktion wird die Sonnenenergie zunächst in der chemischen Verbindung Adenosintriphosphat (ATP) zwischengespeichert, wobei das ATP die grundsätzliche „Energiewährung“ der Zelle darstellt. In der darauffolgenden Dunkelreaktion dient das ATP dazu, aus Kohlendioxid und Wasser organische Moleküle, wie z. B. Glukose, aufzubauen. Die Vorgänge in der Dunkelreaktion, der sogenannte CALVIN-Zyklus, wurden bereits vor über 30 Jahren durch den Amerikaner M. Calvin aufgeklärt, der dafür im Jahre 1961 mit dem Nobelpreis ausgezeichnet wurde. Die Dunkelreaktion soll hier nicht weiter diskutiert werden.

Die Lichtreaktion findet in der photosynthetischen Membran statt, in der das Photosynthesezentrum als Hauptakteur eingebettet ist (siehe Abb.). Man kann die Lichtreaktion in zwei Schritte einteilen:

1. die Schaffung einer Potentialdifferenz zwischen Membraninnen- und Membranaußen-seite durch lichtinduziertes Verschieben von Elektronen und
2. die Synthese von ATP aus ADP + P durch die potentialgetriebene Diffusion von Protonen durch die Membran hindurch (chemoosmotische Theorie von MITCHELL).

Für die Aufklärung dieses zweiten Schrittes wurde im Jahre 1978 dem Engländer P. Mitchell der Chemienobelpreis zuerkannt. Die im vergangenen Jahr preisgekrönte Arbeit betrifft den obengenannten ersten Schritt der Lichtreaktion und soll im folgenden etwas näher dargestellt werden.

Die strukturelle Grundlage der Lichtreaktion in photosynthetisch aktiven Organismen

Die am besten geeignete Methode zur Untersuchung der räumlichen Anordnung der Atome in den Molekülen ist die Röntgenstrukturanalyse. Das zu untersuchende Molekül wird in kristalliner Form mit Röntgenlicht einer bestimmten Frequenz bestrahlt. Die entstehenden Beugungsmuster werden aufgezeichnet. Anschließend sind aufwendige Computerberechnung nötig, mit denen aus der Intensität der gebeugten Strahlen Karten der Elektronendichte im Kristall erstellt werden. Bei dem vorliegenden Kristall galt es, etwa 46000 Reflexe auszuwerten.

Die äußerst schwierige erste Aufgabe bestand darin, das Photosynthesezentrum möglichst unverändert aus der Membran herauszulösen, und zur Kristallisation zu bringen. In zahlreichen Laboratorien der Welt ist das seit vielen Jahren vergeblich versucht worden. Hartmut Michel hat mit unterschiedlichen Präparaten gearbeitet. Beim Purpurbakterium gelang die Herauslösung des Photosynthesezentrums 1982. Für die Kristalle, die in etwa 1 mm Größe vorliegen, werden rund 10^{15} solcher Reaktionszentren benötigt. Sie mußten unbeschädigt aus der Membran herausgelöst und in die kristalline Form überführt werden. Problematisch dabei war, daß das Photosynthesezentrum in einer Doppelschicht aus Lipiden (Fetten) eingebettet ist und daher zum größten Teil ein wasserabstoßendes Äußeres hat. Erst durch die Zwischenschaltung von amphiphilen (sowohl Fett- als auch Wasseranziehend) Substanzen (sie besitzen ein lipophiles – Fettanziehend – und ein hydrophiles – Wasseranziehend – Ende) gelang es, die Moleküle zu kristallisieren. Nun war der Weg zur hochauflösenden Röntgenstrukturanalyse geöffnet. Mit einer Auflösung von 0,3 nm befindet man sich in fast atomaren Dimensionen.

Es zeigte sich, daß das Photosynthesezentrum aus 4 großen Untereinheiten besteht, der Cytochromuntereinheit C (das Antennensystem für die Lichtaufnahme), der L- und M-Untereinheit (sie bilden den Kern des Photosynthesezentrums) sowie der H-Untereinheit,

die sich auf der Innenseite der Zelle befindet (Abb.). In den L- und M-Untereinheiten wird, mit Hilfe der vom Antennensystem gelieferten Energie, aus einem Paar von Bakteriochlorophyllresten (dem sogenannten speziellen Paar) ein Elektron freigesetzt, das in einer Reihe von Schritten weitertransportiert wird. Die Cytochromuntereinheit ersetzt das abgegebene Elektron im speziellen Paar und lädt sich dabei positiv auf, womit der Aufbau des Elektronengradienten über der Membran realisiert und der Kreislauf geschlossen ist.

Mit einer Vielzahl weiterer Untersuchungsmethoden konnten die dynamischen Abläufe im Photosynthesezentrum genauer charakterisiert werden. Somit eröffnet sich ein Einblick in die primären Prozesse der Photosynthese, und dem Wissenschaftler steht das know how zur Verfügung, welches die Natur in 3 Milliarden Jahren Evolution entwickelt hat.

Das Fernziel, daß der Mensch lernt, selbst Sonnenenergie über die Photosynthese in chemische Energie umzuwandeln, ohne die fossilen Brennstoffe Erdöl, Erdgas und Kohle dabei zu nutzen, wird von den Preisträgern eher pessimistisch eingeschätzt. Es gilt vielmehr, die faszinierenden Erkenntnisse der bakteriellen Photosynthese auf die Pflanzen auszudehnen. Nutzungsmöglichkeiten ergeben sich z. B. in der Pflanzenzüchtung und im Pflanzenschutz.

Wissenswertes

Was wird aus den tropischen Regenwäldern?

Weite Teile Afrikas, Asiens, Lateinamerikas und Ozeaniens sind von dem dichten Grün der tropischen Wälder bedeckt. In der Regulation des globalen Klimas spielen diese eine entscheidende Rolle. Sie sind nicht nur Produzent von Sauerstoff, sondern stellen auch einen ungemein großen Wasserspeicher dar. Doch seit geraumer Zeit muß man um die Zukunft dieser Giganten bangen. Aus den verschiedensten Gründen fallen weite Teile der Regenwälder der Motorsäge zum Opfer. Jede Minute „stirbt“ eine Waldfläche von etwa 20 Fußballfeldern, das bedeutet 15 Mio ha pro Jahr!

Sind es auf der einen Seite Bestrebungen des Menschen, Getreide- und Landwirtschaftsland oder nötiges Brenn- und Baumaterial zu bekommen, sind es auf der anderen seltene tropische Hölzer oder unter den Wäldern liegende Bodenschätze, die unwiderstehlich locken. Sind es hier Armut und Not der Menschen, ist es dort Streben nach Reichtum und Macht. Hält dieser gegenwärtige Trend an, sind ernste klimatische Folgen für das Weltklima zu befürchten. Die Wüsten werden weiter wachsen, Änderungen in der Niederschlagsverteilung sind unausbleiblich. Tausende seltener Pflanzen und Tiere werden für immer verschwinden. Es steht die dringende Forderung, in naher Zukunft internationale Lösungen zu finden.

Olaf Fischer
Sternwarte der
Friedrich-Schiller-Universität Jena

Eindrücke

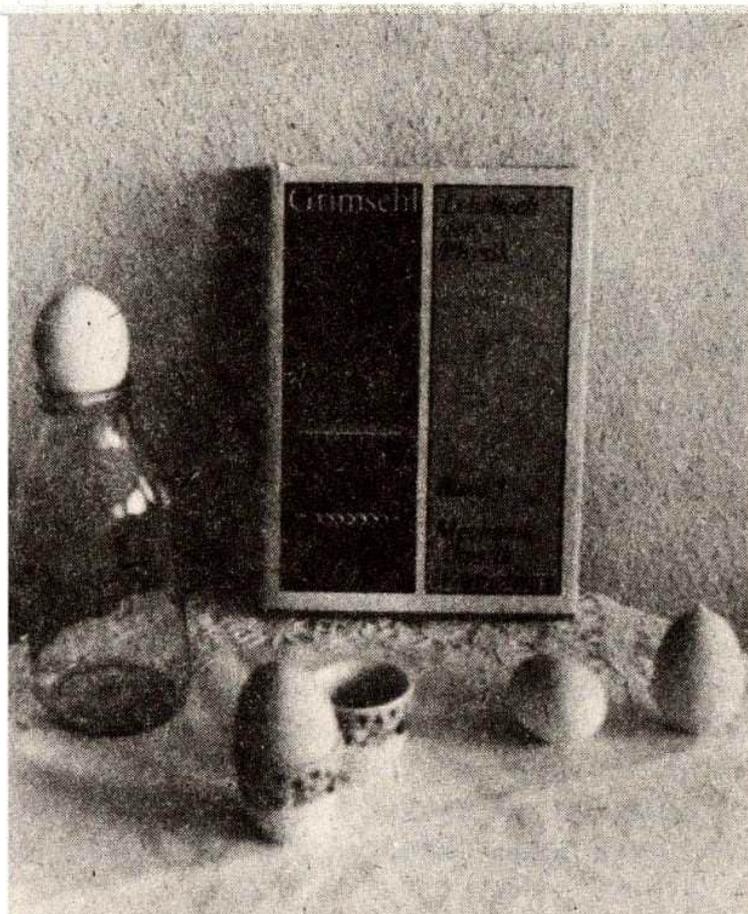
Wir hoffen, Ihr habt so einen richtigen Heißhunger auf ein physikalisches Kompott. Folgende Zutaten werden benötigt: rohe und gekochte Eier, zwei Eierbecher und eine leere Milchflasche. Diese Sachen sind im Handumdrehen beschafft und die „Zubereitung“ kann erfolgen.

Zuerst werden die gekochten von den rohen Eiern unterschieden, indem versucht wird, diese in schnelle Drehung zu versetzen. Auf ebener und glatter Unterlage gelingt es uns hoffentlich ein Ei so schnell zu drehen, daß es sich dankbar aufrichtet, d. h. um die Längsachse rotiert.

Nun stellen wir die zwei Eierbecher nebeneinander. In einem befindet sich eins der aussortierten gekochten Eier. Es muß uns gelingen, das Ei nur durch kräftiges Blasen in den anderen Becher zu befördern.

Abschließend kann das dabei eventuell ledierte Ei abgeschält werden. Dann soll es, ohne kaputt zu gehen, in die Milchflasche gelangen. Doch mit roher Gewalt wird wohl kaum Erfolg beschieden sein. Hier, wie auch bei den vorangegangenen „Eiereien“, hilft nur eine kräftige Prise Physik.

Wir wünschen Euch viel Spaß beim Experimentieren und vor allem eine gründliche wissenschaftliche „Verdauung“.



Sabine Köhler
 EOS „Johannes R. Becher“ Jena
 Schülerin der 11. Klasse

Orchideen – Kleinodien unserer Heimat

Orchideen – das sind nicht nur die exotischen, farbenfreudigen, bizarren Blüten des tropischen Regenwaldes. Auch unsere Heimat hat solche Kostbarkeiten in der freien Natur in reicher Fülle zu bieten. Im Gegensatz zu ihren tropischen Verwandten, die im immergrünen Halbdunkel auf nassetriefenden Urwaldriesen ihre Pracht entfalten, sind unsere Orchideen meist lichtliebende Step-penpflanzen, die auf kalkigem Trockenrasen wachsen. Daneben gibt es Arten, die aus dem feuchten Mittelmeergebiet stammen oder andere, die in lichten Laubwäldern vorkommen. Seltener sind sie in feuchten Streuwiesen oder Mooren zu finden.

Thüringen liegt am Kreuzweg der Blumen, wie Prof. Schwarz, ehemaliger Direktor des Jenaer Botanischen Gartens, einmal schrieb. In unserem Raum sind Orchideen aus Süd-, West-, Ost- und Nordeuropa vereint und erreichen hier teilweise ihre Verbreitungsgrenzen. Sie wurden mit dem Weinbau hierhergebracht, durch den sie die idealen Lebensbedingungen auf freien Hängen erhielten. Nachdem der Weinbau aufgegeben werden mußte, verwilderten die Weinberge, und damit fehlte den Blumen das nötige Licht. Deswegen ist es auch eine wichtige Aufgabe der Naturschützer, die Orchideenwiesen zu erhalten. Sie müssen vor Betreten und Düngung geschützt und regelmäßig im Herbst gemäht werden, damit die konkurrenzschwachen und vor allem standortgebundenen Orchideen erhalten bleiben. Da die Pflanzen zum Wachsen bestimmte Bodenpilze und anderes benötigen, ist es zwecklos, sie ausgraben oder umsetzen zu wollen. In Gärten können nur speziell für diese Bedingungen gezüchtete Orchideen gedeihen.

Der Name dieser Pflanzenfamilie ist überliefert. „Orchideen“ heißt „Hodenpflanze“ und bezieht sich auf die Form der Knollen vieler Arten dieser Pflanze. Diese sind zweigeteilt und versorgen die Pflanze als Speicherorgane im laufenden bzw. folgenden Jahr. Einige Arten, wie die Vogelnestwurz oder die Korallenwurz, sind unscheinbar und werden leicht übersehen. Die meisten Orchideen fallen aber durch ihre in prächtigen Blütenständen vereinten farbenfrohen Blüten auf. Besonders attraktiv sind Bienen- oder Fliegenragwurz (aus dem Mittelmeerraum), Waldvögelein, Frauenschuh (aus der ukrainischen Steppe) und andere Waldorchideen. Sie reizen nicht nur zum Anschauen und Fotografieren. Andererseits keimen aber die Orchideensamen nur unter ganz speziellen Bedingungen, und zur Blüte gelangen die meisten Arten erst nach zehn Jahren, Frauenschuh sogar erst nach 15 Jahren. Die Attraktivität der Orchideen sowie ihre besonderen Wachstumsbedingungen und Ansprüche an die Umgebung führen dazu, daß diese Pflanzengruppe stark gefährdet ist.

Um den Schutz dieser seltenen Schönheiten bemühen sich zahlreiche Fachgruppen innerhalb des Kulturbundes und Jugendgruppen. Über diese Gruppen könnt Ihr auch weitere Informationen beziehen oder genauer erfahren, wie Ihr zum Schutz der Orchideen in Eurer Umgebung beitragen könnt. Auch in Jena gibt es eine solche Fachgruppe, die von Dr. Heinrich (FSU Jena, Sektion Biologie, WB Ökologie, Neugasse 24, Jena, 6900) geleitet wird.

Wissenswertes

Bild vom Kometen Halley in Saturnentfernung gewonnen

Während seines jüngsten Aufenthaltes in Sonnennähe 1985/86 war der Halleysche Komet Gegenstand intensivster Forschung und Ziel von nicht weniger als 5 Raumsonden. Auf mehreren großen Konferenzen wurden die Forschungsergebnisse gesichtet und diskutiert. Weniger spektakulär, aber alles andere als uninteressant ist die Verfolgung des Kometen auf seinem Weg hinaus in die eisige Kälte der Außenbezirke des Sonnensystems, um das allmähliche Erlöschen der Aktivität des Kometenkerns zu studieren. Die hohe Empfindlichkeit der modernen Beobachtungsgeräte und die genau bekannte Bahn machen es möglich, ihm länger auf den Fersen zu bleiben als je einem Kometen vor ihm. Mehr als 2 Jahre nach dem Periheldurchgang (sonnennächster Punkt) gelang es den Astronomen Jorgensen, Kjör-gaard und West, ein Bild des Kometen Halley in 1,25 Milliarden Kilometer Entfernung zu gewinnen (siehe Abb.).

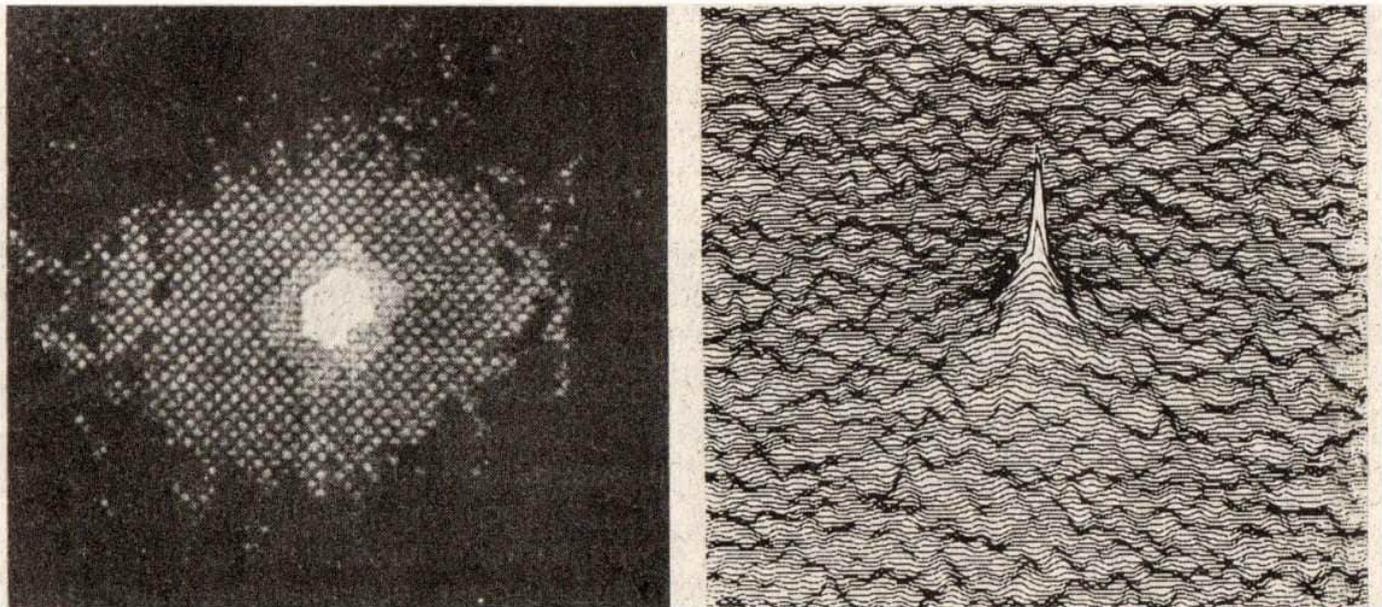


Abb. 1a und 1b Bild des Halleyschen Kometen in 1,25 Milliarden Kilometer Entfernung;
 Links: Geglättetes Bild mit 6 Helligkeitsstufen;
 Rechts: Dreidimensionale Darstellung, um die relative Helligkeit des Kerns gegenüber der Koma zu verdeutlichen (Abmessungen des Bildes 75" × 75";
 Norden ist oben, Osten links, Richtung zur Sonne ist Westnordwest)

Um das Bild zu erhalten, wurde der Komet im April und Mai 1988 19 Nächte lang mit dem dänischen 1,5-m-Teleskop an der Europäischen Sternwarte (ESO) auf dem Berg La Silla (Nordchile) beobachtet. Als Empfänger diente eine hochempfindliche CCD-Kamera, das Teleskop wurde der Bewegung des Kometen nachgeführt. In der anschließenden aufwendigen Bildverarbeitung wurden Stern- und Galaxienbildchen auf den Aufnahmen „wegretuschiert“ und 50 von den insgesamt mehr als 60 Einzelaufnahmen addiert. Das Gesamtbild ist einer Aufnahme mit 11 Stunden 35 Minuten Belichtungszeit äquivalent.

Der Kometenkern ist auf dem Bild als unaufgelöster heller Punkt zu erkennen. Seine Helligkeit beträgt 23 Größenklassen. Schwankungen um einen Faktor zwei von Nacht zu Nacht

werden auf die Rotation des kartoffelförmigen Kerns zurückgeführt. Der Kern sitzt exzentrisch in einer relativ hellen „inneren Koma“ von etwa 20" (= 120000 km) Durchmesser. Weiter nach außen erstreckt sich die „äußere Koma“. Sie hat einen elliptischen Umriß und mindestens 45" (= 300000 km) Durchmesser. Die äußerste Isophote (Linie gleiche Helligkeit) entspricht einer Flächenhelligkeit von etwa 27 m je Quadrat" und damit rund 100mal weniger als der Nachthimmelhelligkeit. Die Gesamthelligkeit des Kometen betrug zum Beobachtungszeitpunkt etwa 17 m.

Das beobachtete Licht der Koma entsteht durch die Reflexion des Sonnenlichts an Staubteilchen. Aus Form und Dichte der inneren Koma muß man schließen, daß der Kometenkern noch immer nicht vollständig zur Inaktivität erstarrt ist, sondern noch immer Staubteilchen abgibt, die der Sonnenwind vom Kern wegtreibt und schließlich im interplanetaren Raum verteilt.

Man darf erwarten, daß es 1989 und 1990 mit Hilfe der großen Teleskope der ESO wiederum gelingt, Aufnahmen des Halleyschen Kometen zu machen, der dann 1,5 bzw. 1,9 Milliarden Kilometer entfernt sein wird.

aus: „Die Sterne“, Heft 1/1989

Buchbesprechung

Dr. Christian Spiering, Leipzig

„Auf der Suche nach der Urkraft“

2. Aufl. 1989, 132 S. mit 32 Abb., 12 cm × 19 cm, (Kleine naturwissenschaftliche Bibliothek, Bd. 61), Kartonierte, 7,60 M; Bestellangaben: 6663205 / Spiering, Urkraft; ISBN 3-322-00315-9

Die Elementarteilchentheorie der heutigen Tage scheint ein gewisses Niveau erreicht zu haben, an dem die Fachleute eine Verschnaufpause machen, sich umschaun, das Erreichte kritisch sichten und sich abzeichnen, welche Ideen der letzten Jahre die fruchtbringendsten waren, welche sich durchgesetzt haben, und was nun als gesicherter Bestand der Wissenschaft angesehen werden darf. So ist es nicht verwunderlich, wenn in solch einer Zeit eine Reihe von allgemeinverständlichen Büchern erscheinen, die die neuen Erkenntnisse einem breiten Publikum zugänglich machen wollen. In unserem Land erschienen 1988/89 drei populärwissenschaftliche Publikationen zum Thema Elementarteilchentheorie/Kosmologie:

Lev B. Okun : Elementarteilchen von alpha bis z,

Karl Lanius : Mikrokosmos – Makrokosmos,

Christian Spiering : Auf der Suche nach der Urkraft.

Das letzte Buch – es soll hier besprochen werden – ist sehr geeignet zum Einlesen in die Probleme und den etwaigen Stand der Elementarteilchentheorie.

Der rote Faden, den das Buch durchzieht, heißt „Vereinheitlichung“, d.h., die Vereinigung bekannter Kräfte (Wechselwirkungen im Sprachgebrauch der Physiker) auf eine gemeinsame theoretische Grundlage. Der Autor erläutert eingangs den Kraftbegriff, kommt damit

zu Newton, der die Gravitation als die gemeinsame Ursache sowohl der Planetenbewegung als auch des freien Falls auf der Erde erkannte, und geht weiter über Faraday und Oerstedt zu Maxwell, der in seinen Gleichungen formulierte, daß die elektrischen und magnetischen Felder eine untrennbare Einheit bilden. Damit ist die erste Vereinigung vollzogen.

Anschließend wird die sogenannte starke und schwache Kraft vorgestellt, zwei Wechselwirkungen, die das Geschehen in der Welt der Elementarteilchen prägen. Wie diese Welt aussieht, welche merkwürdigen und überraschenden Phänomene dort zu finden sind, wird auf gut 60 Seiten knapp, aber sehr anschaulich und verständlich erläutert.

Der rote Faden führt weiter zur elektroschwachen Kraft, der Vereinigung von elektromagnetischer und schwacher Kraft, die heute theoretisch recht gut beherrscht wird und deren vorhergesagte Elementarteilchen auch gefunden wurden. Das heute anvisierte Ziel ist die „große Vereinigung“ von starker Kraft und elektroschwacher Kraft. Dafür – so der Autor – gibt es zwar schon viele theoretische Konzepte; das Problem liegt jedoch bei der Erzeugung der vorhergesagten neuen Teilchen, denn die dafür erforderlichen Energien sind so hoch, daß ein entsprechender Beschleuniger dafür heute praktisch unmöglich zu bauen ist.

Die Urkraft schließlich wäre der tiefere Zusammenhang von elektroschwacher, starker und sogar Gravitationskraft. Ob es sie gibt? Die Frage kann heute nicht beantwortet werden. Die Wissenschaftler werden wohl noch einige Jahrzehnte oder Jahrhunderte kräftig suchen müssen.

Auf eine wichtige und zugleich faszinierende Verbindung geht das Buch noch ein: Der kurze Weg von der Welt der sehr kleinen Elementarteilchen zur Entwicklung des Universums, zur Kosmologie. Die heute allgemein akzeptierte Theorie des „Urknalls“, des heißen Frühstadiums unseres Kosmos' sagt nämlich voraus, daß Sekundenbruchteile nach dem Urknall solche hochenergetischen Teilchen zu finden waren, wie sie von den Theorien der „großen Vereinigung“ vorhergesagt werden. Im Zusammenhang damit stellt der Autor am Schluß des Buches vor, wie sich das Universum von 10^{-43} s nach dem Urknall bis heute entwickelt hat und wie diese Entwicklung weitergehen müßte.

Das erstaunliche an diesem Buch ist, daß es – abgesehen von Reaktionsgleichungen – mit nur 5 einfachsten Formeln auskommt, und dennoch die wesentlichen Begriffe und Zusammenhänge der Elementarteilchentheorie verständlich erläutert. Dem Autor ist es gelungen, auf „Nebensächlichkeiten“ zu verzichten, die zwar für den Fachmann sehr beeindruckend und faszinierend sind, die den unvoreingenommenen Leser aber nur verwirren, wenn nicht gar langweilen würden.

Ein gelungenes Büchlein, welches jedem interessierten Schüler sehr empfohlen werden kann.

Peter Kroll

Wissenswertes

Chrom im Stoffwechsel

Erst vor etwa zehn Jahren wurde sicher erkannt, daß Chrom ein essentielles Spurenelement ist. Chrom(VI)-Salze, besonders das schwer lösliche Calcium- und Bleichromat, wirken im menschlichen Organismus mutagen und carcinogen, während Chrom(III)-Salze selbst in hohen Konzentrationen weder beim Menschen noch bei Versuchstieren das Krebsrisiko erhöhen. Trotzdem scheint Chrom(III) das eigentliche mutagene und carcinogene Agens zu sein. Da aber die Zellmembran für Chrom(III) undurchlässig ist, gelangt es normalerweise nicht in den Zellkern. Chrom(IV) hingegen dringt leicht durch Zellmembranen (und schädigt diese durch Oxydation).

Allerdings ist seine genaue Funktion auch heute noch nicht genau erforscht. Man weiß, daß es eine starke Abhängigkeit des Chromstoffwechsels von der Schilddrüsenfunktion gibt, ohne genaue Einzelheiten zu kennen. Man hat auch in einigen Nucleinsäurepräparaten, z. B. in RNA-Extrakten aus Rinderleber, ungewöhnlich hohe Chromkonzentrationen gefunden und vermutet, daß Chrom die dreidimensionale Struktur der Nucleinsäuren stabilisiert. Schließlich spielt Chrom offensichtlich auch eine Rolle im Glucosestoffwechsel. Bestimmte Nahrungsmittel und Heilpflanzen gegen Diabetes mellitus (Typ 2) enthalten besonders viel Chrom.

In den üblichen Nahrungsmitteln liegt der Chromgehalt zwischen 0 und 0,3 ppm (= parts per million). In Raffinadezucker und Feinmehl zum Beispiel lag der Chromgehalt unterhalb der Nachweisgrenze. Besonders hohe Werte wurden in Kohlsorten und Zwiebelgewächsen gefunden. Ein erheblicher Teil des Chroms geht bei der Nahrungsmittelverdauung verloren.

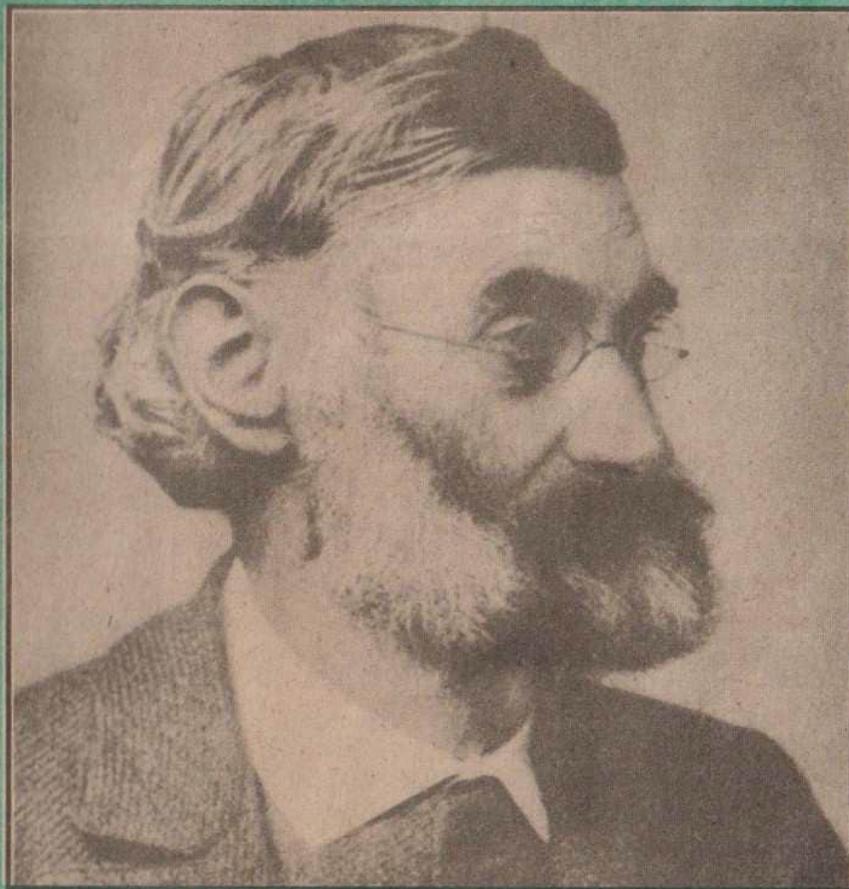
Chromgehalt von Heilpflanzen (Mittelwerte, natürliche Schwankungsbreite ca. 20 %),
in ppm:

Artischocke	7,6
Bohnenschale	1,0
Heidelbeerblätter	9,0
Hirtentäschel	8,8
Knoblauch	0,6
Salbei	3,5

impuls 68

Schülerzeitschrift
für Physik, Chemie
und Biologie

INDEX 322004 · ISSN 0232-9220 · 23. JAHRGANG · PREIS: 0,60 M



Ernst Abbe (1840–1905)

6/89

impuls 68



<i>Andreas Erdmann</i> Photorefraktive Kristalle – neue Materialien für die Optik	3
<i>Sylke Gläser, Dr. Günter Kirsch</i> Hirnfelder – deren Ursachen und Möglichkeiten der Messung	11
<i>L. Schmit, J. Seglins</i> Formen der Physikausbildung in der lettischen Sowjetrepublik	17
<i>Klaus-Dieter Herbst</i> Abbe und Zeiß – zwei bedeutungsvolle Namen, nicht nur für Jena	21
<i>Dr. Frank Hofmann</i> Korrespondenzzirkel des Bezirksklubs Junge Physiker (Teil 1)	23
Wörterbücher der Botanik und Zoologie – Interview mit einem Autor	26
Buchbesprechungen	29/30
Aus der Trickkiste: „Der Himmel im Wasserglas“	31

impuls 68 – Schülerzeitschrift für Physik, Chemie und Biologie

Herausgeber: FDJ-Aktiv der Friedrich-Schiller-Universität Jena

Die Zeitschrift erscheint im Eigenverlag der Redaktion **impuls 68**

Anschrift der Redaktion: Max-Wien-Platz 1, Jena, 6900, Telefon 82-25293

Veröffentlicht unter der Lizenznummer 1570 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der DDR.

Erscheinungsweise: zweimonatlich

Heftpreis: 0,60 M

Bezugsmöglichkeiten: durch den Postzeitungsvertrieb

Textfassung: **impuls 68**

Textverarbeitung und Rollenoffsetdruck: Druckerei Volkswacht Gera, AN (EDV) 13228

Chefredakteur: Andreas Erdmann; stellv. Chefredakteur: Burkhard Fleck

Redaktionsmitglieder: Dr. Bringfried Stecklum, Petra Richter, Peter Kroll, Alexander Niehardt, Rainer Strobel, Wolfram Meinhardt, Jens Thole, Andreas Chwala, Klaus-Dieter Herbst, Gustavo Rodriguez Zurita, Matthias Müller, Beate Sidlo, Steffen Steinberg, Kay Sonntag

Gestaltung: **impuls 68**

Redaktionsschluß: 20. 9. 1989

Titelfoto: Ernst Abbe (1840–1905)

A. Erdmann
Friedrich-Schiller-Universität Jena
Sektion Physik

Photorefraktive Kristalle – neue Materialien für die Optik

1. Einleitung

Nach welchen Gesetzen breitet sich Licht in unserer Umgebung aus? Bei dieser Fragestellung denkt man sicherlich zuerst an Brechungs- und Reflexionsgesetz. Jedoch schon vor mehr als 300 Jahren wurden zwei einfache Prinzipien formuliert, welche zum einen Brechungs- und Reflexionsgesetz als Spezialfall enthalten zum anderen aber auch die Ausbreitung von Licht in sehr komplizierteren optischen Systemen beschreiben. Die entsprechenden Prinzipien wurden nach ihren „Entdeckern“, den Physikern Huygens (1629–1695) bzw. Fermat (1601–1665) benannt (siehe Informationskasten 1).

INFORMATIONSKASTEN 1

Huygenssches Prinzip

Jeder Punkt, den eine Lichtwelle erreicht, wird seinerseits zum Zentrum einer Elementarwelle. Diese Elementarwelle breitet sich mit Lichtgeschwindigkeit im Medium $c_n = c/n$ aus (c – Lichtgeschwindigkeit im Vakuum, n – Brechzahl des Mediums). Die Oberfläche, die diese Elementarwellenfronten zu einem gegebenen Zeitpunkt umhüllt, zeigt die Lage der Front der sich tatsächlich ausbreitenden Welle in diesem Moment an.

Fermatsches Prinzip

Der wirkliche Weg der Ausbreitung des Lichtes (Gang des Lichtstrahls) ist der Weg, für dessen Überwindung das Licht die kürzeste Zeit im Vergleich zu allen anderen denkbaren Wegen zwischen den gleichen Punkten benötigt. In die Sprache der Mathematik übersetzt lautet diese Forderung: $\int n \cdot dr \stackrel{!}{=} \min$

Bei beiden Prinzipien gehen die Eigenschaften des optischen Mediums, in welchem sich das Licht ausbreitet, in Form der Brechzahl n in die jeweiligen Betrachtungen ein. Die Eigenschaften des Mediums bzw. die Brechzahl n sind dabei zunächst unabhängig vom sich ausbreitenden Licht. Kann es aber nicht auch passieren, daß das Licht die optischen Eigenschaften des Mediums, in welchem es sich ausbreitet, ändert? Huygens und Fermat konnten solche Erscheinungen nicht beobachten und sahen n demzufolge als eine reine Materialkonstante an.

Erst die Entstehung und Entwicklung des Lasers in den 60er Jahren unseres Jahrhunderts brachten die obige Frage wieder auf die Tagesordnung. Die mit den Lasern erreichbaren hohen Intensitäten des Lichtes bzw. die Konzentration dieser Intensitäten auf kleine Flächen ermöglichen eine Rückwirkung auf das optische Medium. Es entstand ein völlig neues Gebiet der Optik – die sogenannte Nichtlineare Optik. Die optischen Eigenschaften des Mediums werden durch das Licht beeinflußt. Die Ausbreitung des Lichtes läßt sich nicht mehr durch die klassischen Gesetze der linearen Optik beschreiben.

Mit einem speziellen nichtlinearem optischen Effekt – dem sogenannten photorefraktiven Effekt – soll sich dieser Beitrag beschäftigen. Insbesondere sollen einige interessante Anwendungsmöglichkeiten des Effektes vorgestellt werden.

2. Der photorefraktive Effekt

2.1. Historisches

Im Jahre 1966 führten Ashkin und Mitarbeiter Laserexperimente mit LiNbO_3 -Kristallen durch. Bei Messungen zur Harmonischerzeugung (eines anderen nichtlinearen optischen Effektes, bei welchem Licht einer Wellenlänge in Licht der halben Wellenlänge umgewandelt wird)

bemerkten sie einen deutlichen Abfall der Meßwerte gegenüber theoretisch zu erwartenden Werten. Sie untersuchten den entsprechenden Vorgang genauer und kamen zu dem Resultat, daß durch das einfallende Laserlicht die Brechzahl der Kristalle an den Stellen hoher Lichtintensität geändert wurde. Die geänderte Brechzahl beeinflusste wiederum die Ausbreitung des einfallenden Lichtes und führte zu den erwähnten Abweichungen zwischen Meßwerten und theoretisch zu erwartenden Werten. Der Effekt wurde zunächst als „optical damage“ (optische Beschädigung) bezeichnet.

1968, also schon zwei Jahre später zeigten Chen und Mitarbeiter, daß lichtinduzierte Brechzahländerungen nicht nur unerwünschte Störungen – das „optical damage“ – bewirken, sondern daß sie auch nutzbar für die Speicherung holographischer Bilder (Informationskasten 2) in den entsprechenden Kristallen eingesetzt werden können. Heute wird das hier beschriebene Phänomen allgemein als photorefraktiver Effekt bezeichnet.

INFORMATIONSKASTEN 2

Ein ausführlicher Artikel zur Holographie ist in impuls 68 Heft 4/86 erschienen. Hier sollen nur noch einmal wichtige Aussagen zusammengefaßt werden.

Eine Lichtwelle läßt sich als komplexe Größe darstellen

$$\bar{A} = A \cdot \exp [i (\omega t + k_1^a r_1 + \varphi_a)]$$

Dabei bedeuten: A – Amplitude; ω – Kreisfrequenz; k_1^a – Ausbreitungsvektor
 φ – Phasenlage

Die Information über den räumlichen Eindruck des Lichtes ist dabei in dem Exponentialausdruck enthalten. Bei einer photographischen Aufnahme werden nur Intensitäten gespeichert, also:

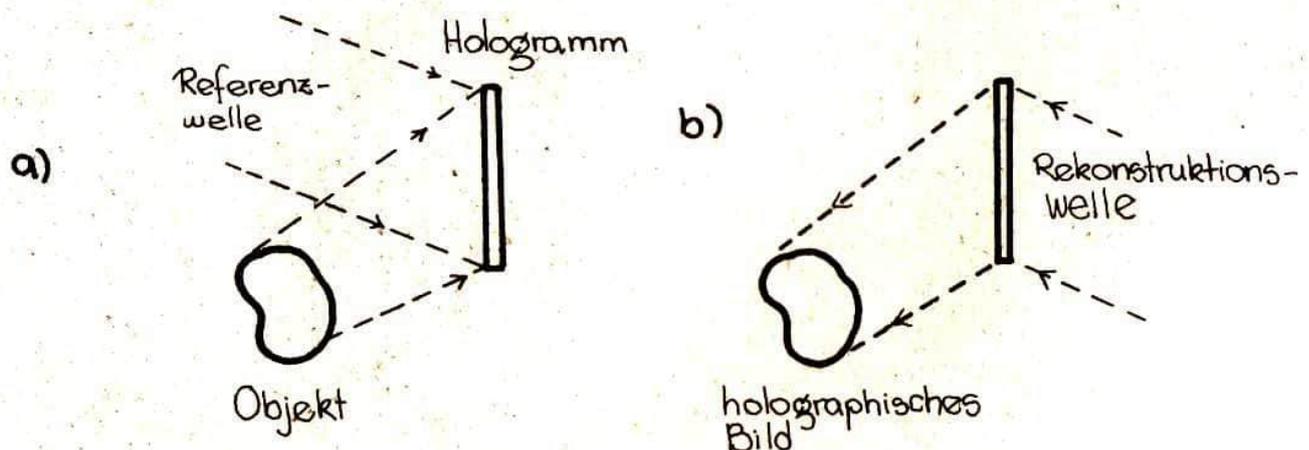
$$I = \bar{A} \cdot \bar{A}^* = A^2$$

Der \bar{A}^* bedeutet dabei konjugiert komplex zur Größe \bar{A} . Wie aus obiger Formel ersichtlich, geht bei der konventionellen photographischen Speicherung die Information über den räumlichen Eindruck des Lichtes verloren. In der Holographie wird deshalb die Überlagerung der sogenannten Objektwelle \bar{A} mit einer Referenzwelle $\bar{R} = R \cdot \exp [i (\omega t + k_1^r r_1 + \varphi_r)]$ photographisch registriert:

$$I = A^2 + R^2 + A \cdot R \cos[\omega t + (k_1^i - k_1^r) r_1 + (\varphi_r - \varphi_a)]$$

Der dritte Summand entspricht einer cosinusförmigen bzw. räumlich periodischen Intensitätsverteilung. In dem photographischen Material wird diese periodische Struktur registriert. Man erhält nach Entwicklung des Photomaterials sogenannte Gitterstrukturen.

Im darauf folgenden Rekonstruktionsprozeß wird eine Rekonstruktionswelle an diesen periodischen Strukturen bzw. dem Gitter gebeugt. Es entsteht ein Bild vom ursprünglichen Objekt, in dem der volle räumliche Eindruck enthalten ist – ein sogenanntes *holographisches Bild*. Man sieht dieses Bild dreidimensional vor sich im Raum.



Aufnahme (a) und Rekonstruktion (b) eines Hologramms

2.2. Erklärung des photorefraktiven Effektes

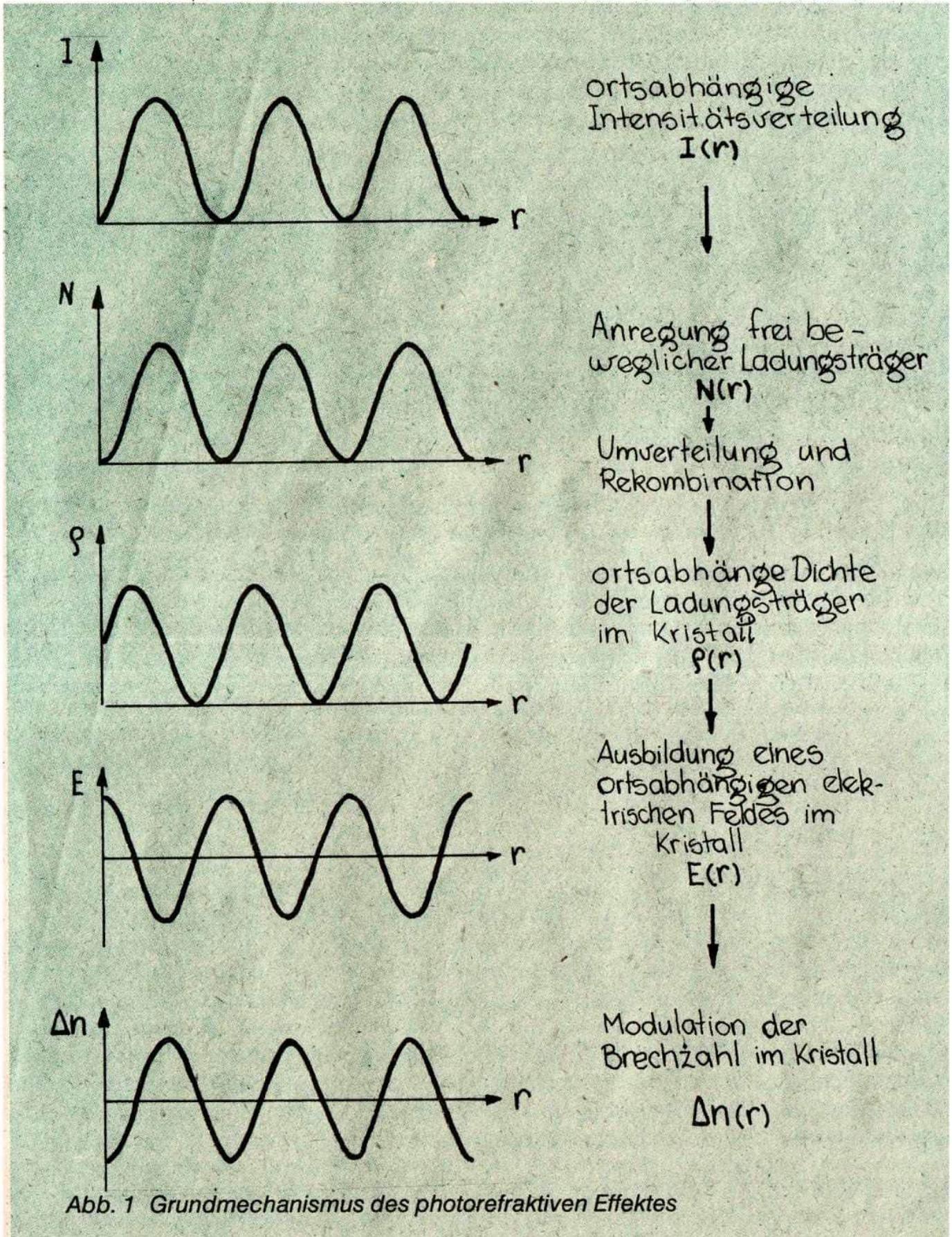


Abb. 1 Grundmechanismus des photorefraktiven Effektes

In Abb. 1 ist der Grundmechanismus des photorefraktiven Effektes dargestellt. Ausgangspunkt soll hier eine ohne Einschränkung der Allgemeinheit periodische ortsabhängige Intensitätsverteilung $I(z)$ sein, wie sie in der Holographie (Informationskasten 2) häufig vorkommt (z -Ortskoordinate). Entsprechend dieser Intensitätsverteilung werden N Ladungsträger im Kristall angeregt, sie werden frei beweglich. Für die nun folgende Bewegung der Ladungsträger gibt es drei Ursachen:

Diffusion

Die Zahl der freien Ladungsträger in einem Kristall ist zunächst proportional zur dort vorliegenden Intensität $I(z)$. Da $I(z)$ innerhalb des Kristalles variiert, sind auch die frei beweglichen Ladungsträger nicht gleichverteilt. Sie sind so bestrebt, zu Orten geringerer Intensität zu diffundieren. Es kommt zu einer „Verschmierung“ der Verteilung freier Ladungsträger im Kristall.

Drift

Auf Träger von Ladungen wirken elektrische Felder. Diese Felder können mikroskopischen Ursprungs sein (momentane Verteilung der Ladungsträger im Kristall), sie können aber auch von außen an die Kristalle angelegt werden. Diese über die Felder verursachte Bewegung der Ladungsträger wird als Drift bezeichnet.

Photo-Spannungs-Effekt

Beim Vorliegen bestimmter Kristallsymmetrieverhältnisse kann es dazu kommen, daß spezielle Bewegungsrichtungen der Ladungsträger im Kristall bevorzugt werden.

Gleichzeitig mit der Bewegung der Ladungsträger treten aber auch Rekombinationsprozesse auf. Die frei beweglichen Ladungsträger werden wieder eingefangen. Als Resultat der Anregungen, Bewegungen und Rekombinationsprozesse ergibt sich schließlich eine neue Verteilung der vor der Beleuchtung des Kristalls gleichverteilten Ladungsträger. Die Dichte der Ladungsträger wird hierbei mit $q(z)$ bezeichnet. Aus $q(z)$ erhält man entsprechend dem sogenannten Poissonschen Gesetz eine elektrische Feldverteilung $E(z)$.

Das Feld $E(z)$ bewirkt über Drift einerseits eine weitere Umverteilung der Ladungsträger, andererseits wird nun der sogenannte elektrooptische Effekt wirksam. Dieser Effekt beschreibt die Änderung der Brechzahl $\Delta n(z)$ eines Kristalls in einem elektrischen Feld $E(z)$:

$$\Delta n(z) = - (n_0)^3 R \cdot E(z) \quad (1)$$

R – elektrooptische Konstante des Kristalls

n_0 – Brechzahl des Mediums ohne Beleuchtung

R kennzeichnet hierbei die elektrooptischen Eigenschaften des Mediums und beinhaltet zugleich die Information über die Orientierung des Kristalls im Raum. An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, daß die Gleichung (1) strenggenommen nur als eine Tensorgleichung aufgeschrieben werden darf. Sie beschreibt dann nicht wie in (1) die Beziehung zwischen skalaren Größen sondern die Beziehung zwischen Vektoren. Dabei wird auch ersichtlich, daß die Polarisations-eigenschaften des Kristalls (z. B. Doppelbrechung, optische Aktivität) eine wesentliche Rolle spielen. Aus Anschaulichkeitsgründen beschränken wir uns aber weiterhin auf die skalare Darstellung der Sachverhalte.

2.3. Photorefraktive Kristalle

Welche Forderungen haben wir an einen Kristall zu stellen, um einen photorefraktiven Effekt in ihm beobachten zu können?

- Als erstes muß der Kristall eine möglichst große elektrooptische Konstante R besitzen. Das „möglichst groß“ ist hier natürlich relativ zu sehen. Brauchbare elektrooptische Konstanten liegen im Bereich zwischen 10^{-12} und 10^{-10} m/V (Meter/Volt).
- Die optische Anregung freier Ladungsträger in Medien ist immer mit einer Absorption verbunden. Zweitens müssen also die photorefraktiven Kristalle geeignete Absorptionskonstanten α besitzen. Für zu große α ist der Kristall praktisch undurchsichtig und die uns interessierenden Brechzahländerungen in seinem Inneren sind kaum noch zu beobachten.

In den letzten Jahren wurden eine Vielzahl von Kristallen hinsichtlich ihrer Eignung für den photorefraktiven Effekt untersucht. Es gibt bisher jedoch nur sehr wenig Kristalle, die einen optimalen Einsatz bei entsprechenden Experimenten versprechen. Die Züchtung der in der freien Natur nicht vorkommenden Kristalle ist ungemein schwierig, so daß international durchaus Stückpreise von mehreren Tausend Dollar für einen nicht mehr als 1 cm^3 großen Kristall üblich sind.

In Tabelle 1 sind einige typische Vertreter photorefraktiver Kristalle aufgelistet. Dabei werden drei wichtige Eigenschaften dieser Materialien angegeben:

- die erreichbare Brechzahländerung Δn
- die zur Brechzahländerung typischen Intensitäten I (bezogen auf eine Fläche)
- die Zeit, welche für die Ausbildung der Brechzahländerung notwendig ist – die sogenannte Responsezeit τ

Tabelle 1

Material	Δn	I	τ
LiNbO_3	10^{-3}	1 W/cm^2	1–3 min
$\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$	10^{-4}	1 mW/cm^2	0,01–0,1 s
BaTiO_3	10^{-3}	$0,1 \text{ W/cm}^2$	1–10 s
$\text{SrNb}_2\text{O}_6/\text{BaNb}_2\text{O}_6$	$5 \cdot 10^{-3}$	$0,1 \text{ W/cm}^2$	0,1–5 s

Wie aus Tabelle 1 schon ersichtlich wird, gibt es das „ideale Medium“ nicht. Entweder sind die Kristalle relativ schnell und empfindlich (d. h. nur kleine I zur Erzeugung von Δn notwendig), besitzen aber ein kleines Δn , oder sie besitzen ein großes Δn , sind dafür aber langsam und unempfindlich.

3. Anwendungen

Photorefraktive Kristalle bieten eine große Anzahl potentieller Anwendungsmöglichkeiten in modernen optischen Systemen. Der grundlegende Mechanismus der vom Licht bewirkten Brechzahländerungen und die darauf basierende Echtzeitaufzeichnung von Informationen wurden bereits in Abschnitt 2 dargestellt. Hier sollen zwei spezielle Anwendungsbeispiele vorgestellt werden.

3.1. Aufbau holographischer Speicher hoher Speicherkapazität

In Abb. 2 ist der Grundaufbau eines holographischen Speichers dargestellt. Der Strahlteiler teilt die Eingangswelle in Objekt- und Referenzwelle auf. Das Eingabeelement des Speichers – eine elektronisch regelbare Transparenz – wandelt die eingehenden Daten in dunklere und hellere Bereiche des Objektes. Objektwelle und Referenzwelle interferieren. Am Kristall entsteht eine Intensitätsverteilung, welche alle Informationen über die Objektwelle und damit auch über die elektronisch regelbare Transparenz enthält. Diese Intensitätsverteilung wird im photorefraktiven Kristall optisch (d. h. mittels Änderung der Brechzahl) gespeichert.

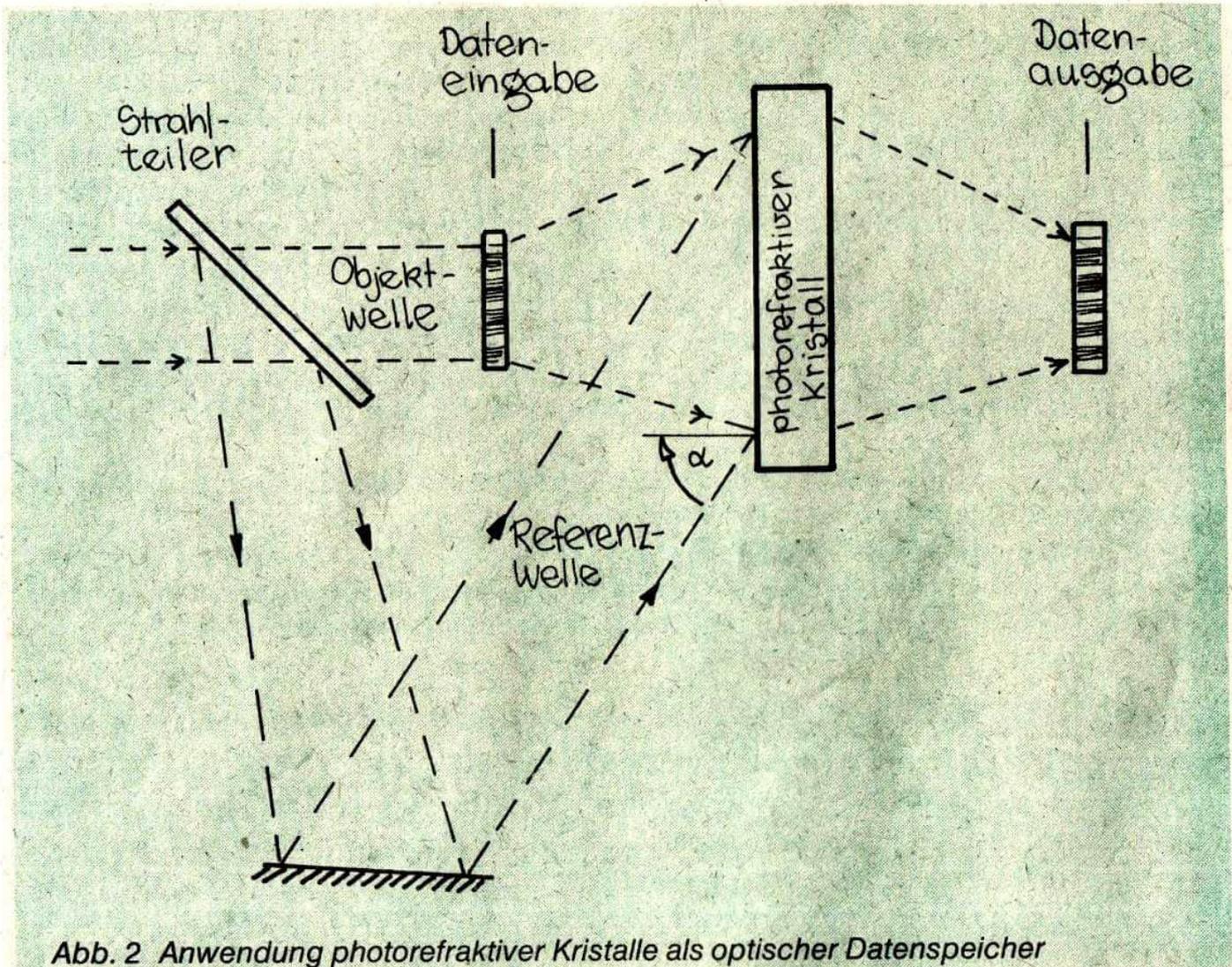


Abb. 2 Anwendung photorefraktiver Kristalle als optischer Datenspeicher

Das Abfragen bzw. Auslesen des Speichers erfolgt wiederum mit der Referenzwelle. Aus der Holographie ist bekannt, daß die an dem im photorefraktiven Kristall erzeugten Brechzahlgitter gebeugte Welle einer vollständigen Reproduktion des Objektes entspricht. Die gespeicherten Daten liegen wiederum in Form einer Hell-Dunkel-Verteilung des rekonstruierten Objektes vor. Mit Hilfe einer Anordnung von Lichtdetektoren wird der Inhalt dieser kodierten Verteilung wieder in eine Folge elektrischer Signale verwandelt.

Nutzt man weiterhin noch Referenzwellen mit verschiedenen Einfallswinkeln α , so lassen sich in dicken holographischen Aufzeichnungsmedien wie photorefraktiven Kristallen mehr als 500 Hologramme voneinander unabhängig speichern. Damit erhöht sich die Speicherkapazität der Kristalle wesentlich. In LiNbO_3 -Kristallen konnten schon Speicherkapazitäten von $0,5 \text{ Gigabit/cm}^2$ realisiert werden, was neben den heutigen Spitzenwerten für konventionelle elektronische Speicher (einige Megabit/cm^2) fast als phantastisch erscheint. Der wesentliche Grund für diese hohe Speicherkapazität ist darin zu sehen, daß bei dem hier vorgestellten Verfahren das Volumen und nicht nur eine Fläche des Speichermediums genutzt wird.

Ein weiterer Vorteil des beschriebenen Speichers liegt in der hochgradigen Parallelverarbeitung der Daten. Die Speicherung erfolgt nicht mehr Bit für Bit, sondern es wird ein ganzes Hologramm gleichzeitig gespeichert bzw. abgefragt. Damit erhöhen sich die Zugriffszeiten des Speichers wesentlich und Bitraten von 10 Bit/s erscheinen nicht unmöglich.

Schließlich ist noch die hohe Zuverlässigkeit der hier beschriebenen Speicher zu nennen.

Die Information bezüglich eines Punktes des Objektes ist nicht nur an einem Punkt des Hologramms gespeichert. Störungen im Aufzeichnungsmedium wirken sich also weniger auf die Zuverlässigkeit des Speichers aus.

3.2. Hologramminterferometrie in Echtzeit

Daß mit Hilfe der photorefraktiven Kristalle Hologramme in kurzer Zeit aufgezeichnet werden können, wurde schon hinreichend oft betont. Hier soll nun eine für die Meßtechnik besonders wichtige Variante der Holographie diskutiert werden.

Bei der sogenannten *Doppelbelichtungstechnik* wird der Zustand eines Objektes zu zwei verschiedenen Zeitpunkten verglichen. Zu diesem Zweck wird das Objekt an den beiden Zeitpunkten holographisch gespeichert. Die Rekonstruktion der Hologramme liefert zwei dreidimensionale Bilder des Objektes. Wurde das Objekt zwischen beiden holographischen Aufnahmen absolut in Ruhe gelassen, d. h. es traten weder Lageänderungen noch Verformungen des Objektes auf, so sieht man im rekonstruierten holographischen Bild auch nur den entsprechenden Zustand des Objektes - also ein normales Bild. Wird das Objekt aber zwischen den beiden holographischen Aufnahmen geringfügig (im Mikrometerbereich) verschoben bzw. deformiert, so erhält man bei der Rekonstruktion zwei verschiedene Bilder des Objektes. Diese überlagern sich und der Betrachter sieht im rekonstruierten Bild eine Vielzahl heller und dunkler Streifen. Aus dem Abstand der Streifen in verschiedenen Bereichen des Bildes lassen sich Rückschlüsse auf die Verschiebung bzw. Deformierung des Objektes ziehen.

Mit der hier beschriebenen Methode werden z. B. erfolgreich Autoreifen getestet. Zwischen den beiden holographischen Aufnahmen wird der Luftdruck in der Umgebung des Reifens abgesenkt. Damit werden kleine Lufteinschlüsse im Reifen, die bei der Druckänderung in der Umgebung zu kleinen Deformierungen des Reifens führen, bei der Rekonstruktion und Überlagerung der beiden aufgenommenen Hologramme sichtbar.

Bisher wurden Doppelbelichtungstechniken nur mit konventionellen Filmmaterialien durchgeführt. Die industrielle Anwendung des Verfahrens bringt so drei wesentliche Nachteile mit sich:

1. *Bis zur Entwicklung des Photomaterials nach der Aufnahme vergehen mindestens 20 bis 30 min. Das untersuchte Objekt kann also erst nach dieser Zeit beurteilt werden. Eventuell erforderliche Änderungen im Produktionsablauf werden erst zu spät wirksam.*
2. *Das Filmmaterial kann nur einmalig verwendet werden.*
3. *Das Hologramm muß bei der Rekonstruktion wieder durch eine Referenzwelle beleuchtet werden. Da das Filmmaterial während des Entwicklungsprozesses aus dem Aufbau genommen wird, ergibt sich für den Rekonstruktionsprozeß ein hoher Justieraufwand.*

Alle genannten Nachteile werden mit photorefraktiven Kristallen umgangen. Diese entwickeln sich im Gegensatz zu konventionellen Photomaterialien sozusagen selbst. Innerhalb von Sekunden steht das doppelt belichtete Hologramm zur Verfügung. Da sich das Hologramm auch noch am ursprünglichen Platz befindet, entfallen alle Justierprobleme. Einmal eingeschriebene Hologramme können durch gleichmäßige Beleuchtung des gesamten Kristalls wieder gelöscht werden. Photorefraktive Kristalle sind also für die beschriebene Prozedur beliebig oft verwendbar.

4. Schlußbemerkungen

In diesem Beitrag wurde nur der Grundmechanismus des photorefraktiven Effektes und einige photorefraktive Kristalle vorgestellt. Die theoretische Beschreibung des Effektes in konkreten Kristallen erfordert einen sehr hohen Aufwand. Ohne Einsatz modernster Rechen-

technik sind die aufgestellten theoretischen Modelle bzw. Differentialgleichungssysteme überhaupt nicht lösbar. Trotzdem ergeben sich immer noch Abweichungen zwischen theoretisch berechneten und experimentell gemessenen Werten. Dies deutet darauf hin, daß die in den Kristallen auftretenden Prozesse immer noch nicht vollständig theoretisch erfaßt sind. Auch die Qualität der bisher zur Verfügung stehenden Kristalle ist bei weitem noch nicht zufriedenstellend. Einerseits liegen die Werte für erreichbare Brechzahlmodulationen Δn bzw. Responsezeiten τ (siehe Tabelle 1) noch zu ungünstig. Andererseits sind optisch homogene (d. h. ohne Schlieren, Einschlüsse, Risse und ähnliches) Kristalle bisher nur in sehr geringen Abmessungen züchtbar ($\leq 1 \text{ cm}^3$). So werden auch die hier beschriebenen Anwendungsmöglichkeiten erst dann praxiswirksam, wenn sowohl die in den Kristallen ablaufenden Prozesse theoretisch und experimentell beherrscht werden, als auch durch die Kristallzüchter geeignete Kristalle hoher Qualität bereitgestellt werden. Nach Meinung von Experten kann sich solch eine Entwicklung in den nächsten 5 bis 10 Jahren vollziehen.



Abb. 3: Wir betreiben holographische Interferometrie

Sylke Gläser
Dr. Günter Kirsch
Friedrich-Schiller-Universität Jena
Sektion Physik

Hirnfelder – deren Ursachen und Möglichkeiten der Messung

Zur Meßapparatur

Neben der Registrierung der Elektroenzephalogramms (EEG – vergl. „impuls 68“, Heft 2/88) besteht seit etwa 20 Jahren die Möglichkeit, die schwachen Magnetfelder des Gehirns, die mit der spontanen und reizbezogenen (evozierten) Hirnaktivität verbunden sind, zu messen.

Zunächst fand die Methode der Magnetoenzephalographie (MEG) nur wenig Anklang, da der technische Aufwand im Verhältnis zum Nutzen als zu groß erschien. So konnten magnetoenzephalographische Messungen anfänglich nur in speziellen Kammern, die von äußeren Magnetfeldern

abgeschirmt sind, vorgenommen werden. Inzwischen wurden Antennenanordnungen (Gradiometer) entwickelt, die an den eigentlichen Sensor (SQUID) angeschlossen werden und die Störeinflüsse aller äußeren Magnetfelder weitgehend kompensieren. In Tabelle 1 sind biomagnetische Felder und auftretende Störfelder sowie Grenzen der Empfindlichkeit bisher entwickelter Meßapparaturen zum Nachweis biomagnetischer Felder in einer Übersicht zusammengestellt.

Tabelle 1

Felder	magnetische Induktion B (in Tesla)
Gleichfeld der Erde	$5 \cdot 10^{-5}$
Störfelder im Labor	10^{-6} bis 10^{-8}
Lunge (nach Inhalation ferromagnetischer Partikel)	10^{-9}
Herz (maximale Amplitude)	$5 \cdot 10^{-11}$
Spontane Aktivität des Gehirns (α -Welle)	10^{-12}
evozierte Hirnfelder	$5 \cdot 10^{-14}$
SQUID Gradiometer im Labor	10^{-14}
SQUID Magnetometer in geschirmter Umgebung	10^{-15}

Da die für Hirnfeldmessungen verwendete Meßapparatur im wesentlichen dem MKG-Meßtyp entspricht, welcher bereits im Impuls 3/88 ausführlich beschrieben wurde, soll an dieser Stelle nicht näher darauf eingegangen werden (Physik der SQUID, Wirkungsweise des Gradiometers). Abb. 1 zeigt die für Hirnfeldmessungen in Jena verwendete Apparatur im vereinfachten Blockschaltbild.

Unterschied von MEG und EEG

Der Unterschied zwischen Magneto- und Elektroenzephalographie ist ursächlich durch physikalische Gegebenheiten bedingt. Das EEG zeichnet die Spannungsdifferenzen der Ströme auf, die im Raum zwischen den Hirnnervenzellen fließen. Die Magnetfelder, die durch das

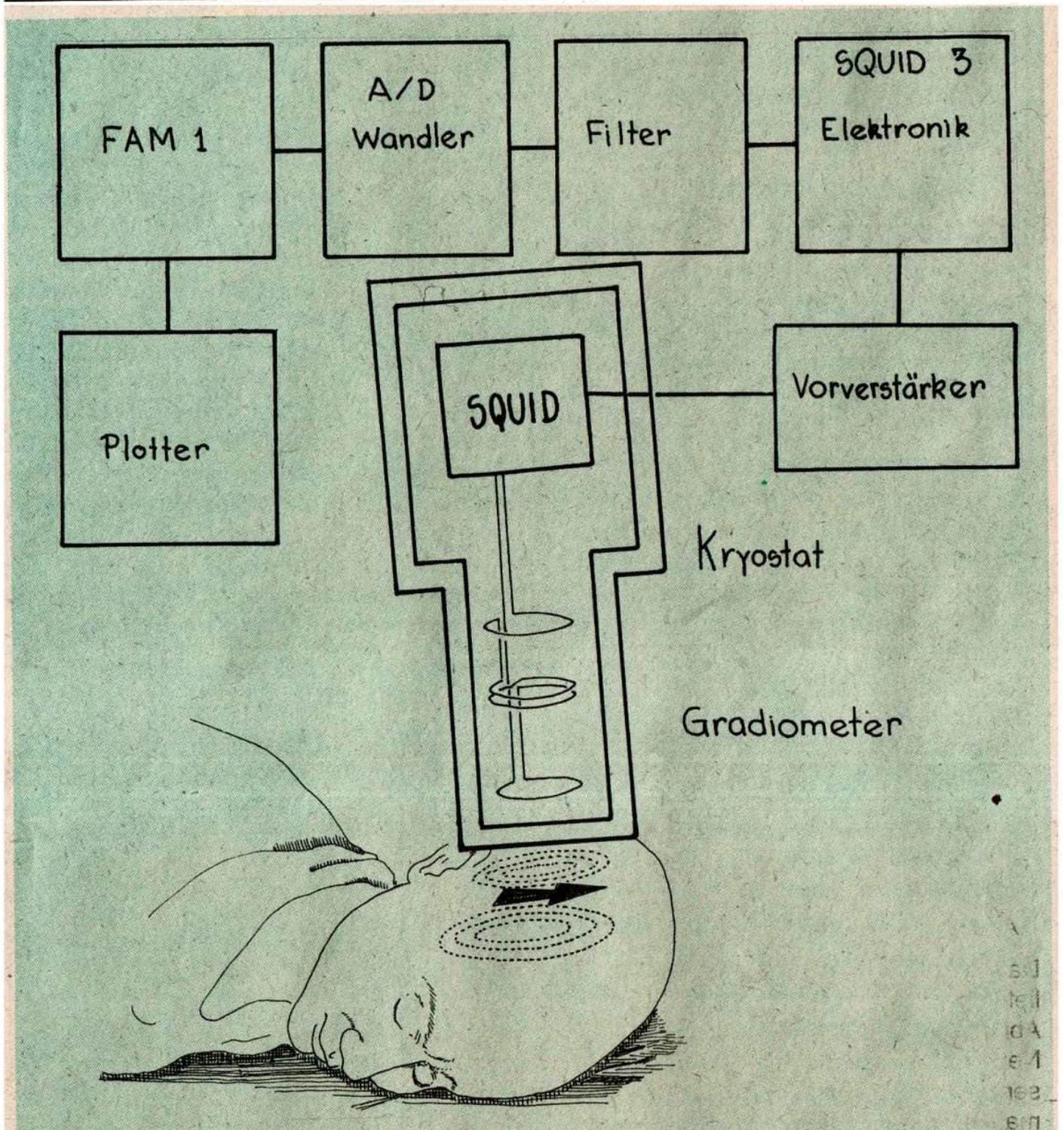


Abb. 1

MEG gemessen werden, werden von den Strömen innerhalb einer Nervenzelle (Neuron) erzeugt. Abb. 2 zeigt ein Neuron mit eingezeichnetem intrazellulärem und extrazellulärem Stromfluß.

Das elektrische Hirnfeld, gemessen mittels der Elektroenzephalographie, bezieht sowohl die Zellen als Stromquellen ein, die senkrecht zum „Kugelmodell“ des Schädels stehen, als auch die parallel zur Oberfläche gelegenen Quellen. Beide Informationen werden als gemischte Daten weiter verarbeitet und sind demzufolge schwierig zu interpretieren. Schädelknochen, Haut und Gehirnflüssigkeit (Liquor) beeinflussen die elektrischen Messungen. Sie können Beiträge zum gemessenen Signal liefern, die nicht von der Quelle, den Neuronen, herrühren.

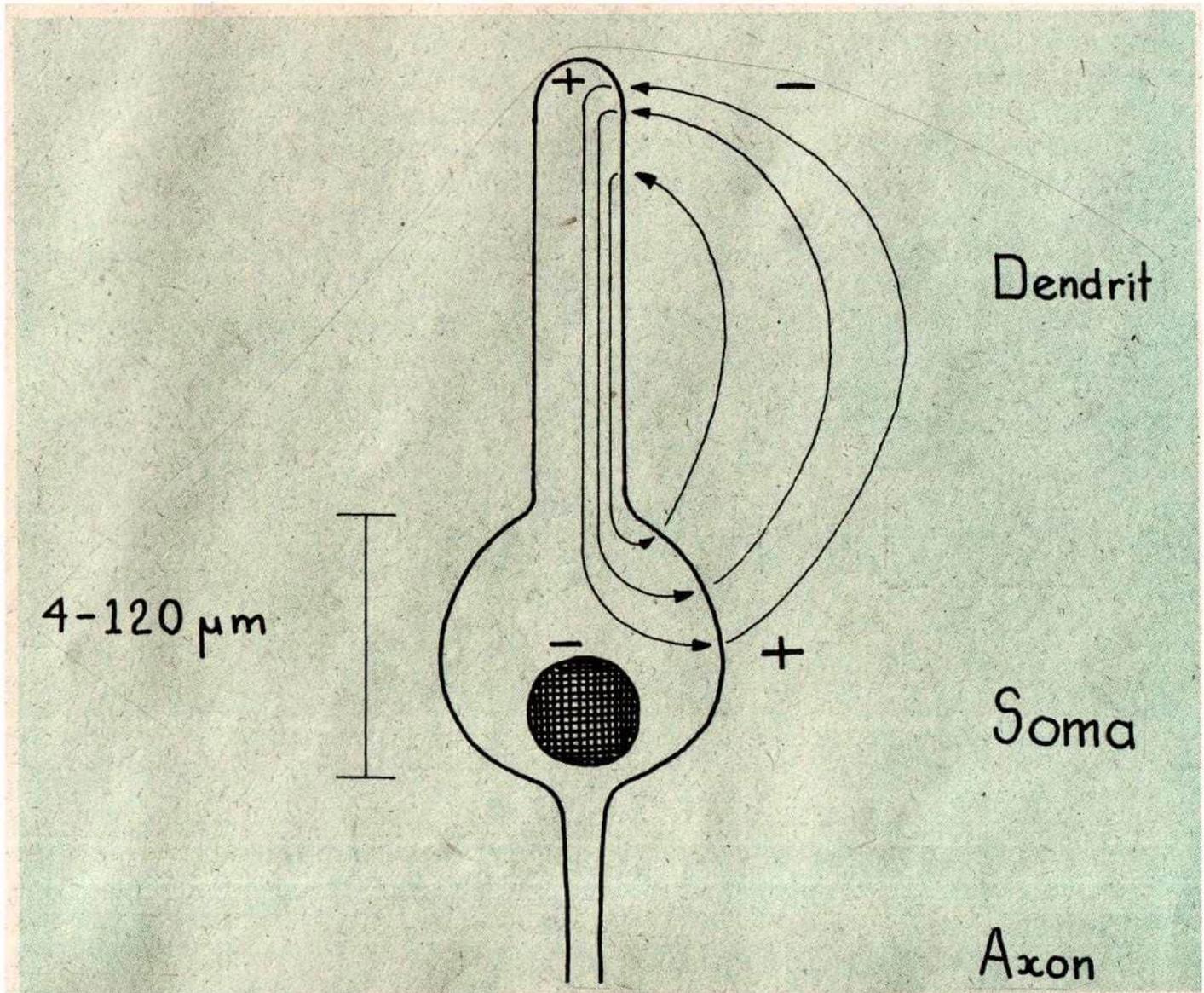


Abb. 2

Dagegen kann das MEG physikalisch bedingt keine senkrechten Dipole wahrnehmen und liefert damit klare Verhältnisse.

Abb. 3 zeigt vereinfacht Kopfhaut, Schädel und Gehirn. Die parallel zum Schädel orientierten Neuronen (a) erzeugen tangentielle Dipole, die mittels MEG gemessen werden können. Die senkrecht zum Schädel orientierten Neuronen (b) hingegen erzeugen radiale Dipole, die magnetischen Feldlinien verlaufen parallel zur Magnetfeldantenne und liefern somit keinen Beitrag zum gemessenen Signal.

Die biomagnetischen Ströme im Gehirn finden also sowohl in der Potentialverteilung als auch im Magnetfeld des Gehirns ihre Widerspiegelung. Alle elektrischen Leitungsvorgänge sind gemäß den Maxwellgleichungen – den Grundgleichung der Elektrodynamik – mit magnetischen Feldgrößen verknüpft. Elektrische und magnetische Messungen sind somit zwar gleichen Quellen zuzuordnen, unterscheiden sich aber hinsichtlich ihres Informationsgehaltes.

Vorteile magnetischer Hirnfeldmessungen im Gegensatz zum EEG sind:

1. die höhere Ortsauflösung im Vergleich zu von der Kopfhaut abgeleiteten elektrischen Messungen;

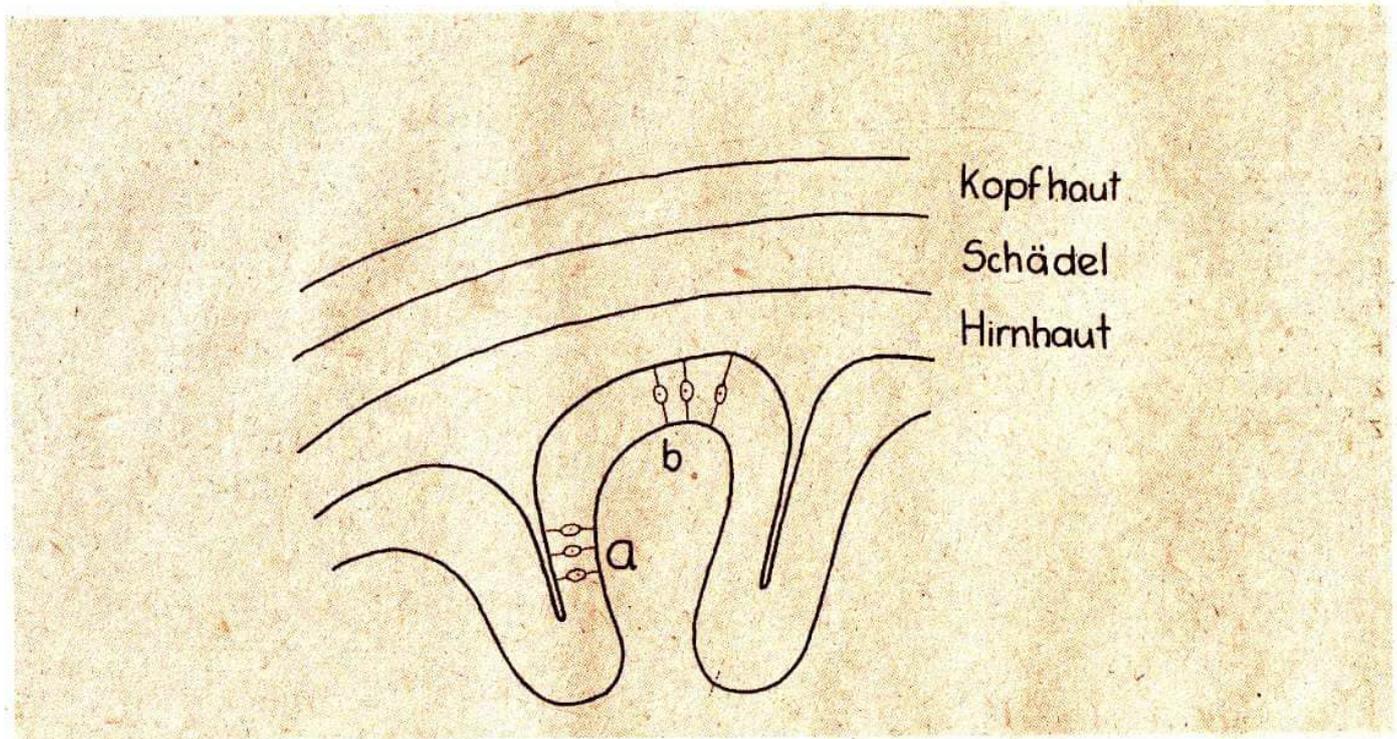


Abb. 3:

2. die Möglichkeit von Tiefenableitungen und Nachweis subkortikaler Quellen;
3. durch die elektrodenlose Meßtechnik werden undefinierte Elektroden-Haut-Potentiale vermieden;
4. keine psychische Belastung der Patienten durch Elektroden;
5. beliebige Wiederholbarkeit der Messungen;

Als Nachteile magnetischer Messung wären zu nennen:

1. der relativ hohe technische Aufwand und die damit verbundenen hohen Kosten;
2. die höhere Anfälligkeit gegenüber Störungen im Vergleich zu elektrischen Messungen

Spontane und evozierte Hirnaktivität

Wie schon anfänglich erwähnt, unterscheidet man zwei durch die spontane und die reizbezogene (evozierte) Hirntätigkeit, erzeugte Magnetfelder. Unter spontaner Aktivität versteht man die Hirnaktivität, die ohne äußere Reize aufrechterhalten wird und – medizinisch beschrieben – auf der Summation postsynaptischer Potentiale kortikaler Neuronen basiert. Sie wird in verschiedene Rhythmen eingeteilt, die sich hinsichtlich ihrer Frequenz unterscheiden. Die herausragendste spontane Aktivität ist der α -Rhythmus mit einer Frequenz von 8–13 Hz und einer maximalen Amplitude von 2,5 Picotesla. Am deutlichsten ist er über den beiden Hinterhauptslappen, im Bereich der Sehsphäre, ausgeprägt. Voraussetzung für die α -Aktivität ist ein entspannter Zustand des Patienten. Der Begründer der Elektroenzephalographie, H. Berger, beschrieb sie erstmals und fand, daß die Amplitude des α -Rhythmus bei geöffneten Augen stark reduziert ist. An seine Stelle treten dann die schnelleren β -Wellen mit einer Frequenz von 13 bis 30 Hz.

Erstmals wurden 1968 vom amerikanischen Physiker D. Cohen Untersuchungen zur spontanen Magnetfeldaktivität des Gehirns durch die Beschreibung der magnetischen Aktivität veröffentlicht. Er führte die Untersuchungen in einer magnetisch abgeschirmten Kammer durch und benutzte für die rechnerische Mittelung die elektrischen Signale (EEG) als Trigger (Auslöser). Von ihm wurde erstmals der magnetische Berger-Effekt nachgewiesen. Evozierte Magnetfelder sind das magnetische Äquivalent zu den schon länger bekannten evozierten Potentialen. Evozierte Potentiale sind Veränderungen der als Summenpotential registrierten elektrischen Grundaktivität größerer Neuronengruppen, die durch Reizung von Rezeptoren, afferenten Nerven oder Hirnstrukturen zustande kommen. Diese Reizung kann zum Beispiel akustisch, visuell oder somatotorisch realisiert werden. Ein akustisch evoziertes Hirnmagnetfeld, welches in Jena gemessen wurde, ist in Abb. 4 dargestellt.

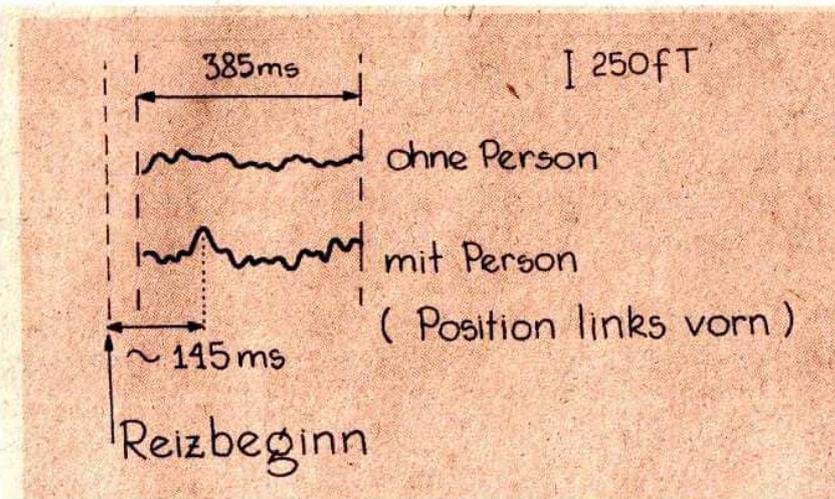


Abb. 4 Akustisch evoziertes Magnetfeld Tonimpuls alle 2 s; 0,5 s lang; kontralaterale Reizung Zahl der Mittelungen: 256

Auswertung der erhaltenen Signale

Durch ihre Überlagerung mit der spontanen Hirnaktivität und anderen Störungen ist es sehr schwer möglich, die evozierte Hirnaktivität unmittelbar zu registrieren. Aus diesem Grund werden Mittlungsverfahren (Averaging) mit Rechnern zur Darstellung verwendet. Diese sogenannte Average-Technik ist ein Verfahren zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses und damit zur Erfassung sehr schwacher Signale.

Zu ihrer Anwendung müssen 2 Voraussetzungen erfüllt sein:

1. Das Nutzsignal muß periodisch und sein zeitliches Auftreten im Störsignal bekannt sein,
2. Nutz- und Störsignal dürfen nicht zeitlich korrelieren

Es ist notwendig, für eine Möglichkeit der Triggerung (Auslösung) zu sorgen, die zum Beispiel durch periodische Reizauslösung gegeben ist. Der Computer summiert von Triggerzeitpunkt an alle Meßwerte und berechnet den Mittelwert, wodurch ein korrigiertes Signal entsteht. Alle zufälligen Schwankungen (Rauschen) werden durch die Summation weitgehend aufgehoben, das Nutzsignal hebt sich deutlich von verbleibenden schwachen Rauschen ab. Bei n-maliger Mittelung verbessert sich das Signal-Rausch-Verhältnis um den Faktor n.

In Jena werden unter anderem zur Zeit tierexperimentelle Untersuchungen zu evozierten Hirnmagnetfeldern am Kaninchen durchgeführt. Die zu erwartende Signalgröße ist analog der bei menschlichen Gehirn. Der Vorteil dieser Untersuchungen liegt darin, daß Tiere – in narkotisiertem Zustand – für länger dauernde Untersuchungen (ca. 2–3h) geeignet sind, was Mittelungsintervalle bis 256 oder 512 Zyklen ermöglicht.

Bisheriger Entwicklungsstand bei MEG-Messungen

Die Messung von Hirnmagnetfeldern steht trotz der bisher erzielten Empfindlichkeit bei Messungen der extrem schwachen biomagnetischen Felder erst am Anfang ihrer Entwicklung. Durch die berührungslose Ableitung ohne Bezugselektroden und die bessere Lokalisierbarkeit neurobiologischer Quellen ergeben sich viele neue Untersuchungsansätze.

Die technischen Voraussetzungen sind derzeit jedoch noch so aufwendig und kompliziert, daß vorerst nur ausschließliche Forschungsarbeit in einigen Zentren möglich ist. Zukünftig mögliche klinische Anwendungsgebiete wären, gegeben durch die im Vergleich zum EEG höhere Ortsauflösung, z. B. die Früherkennung von Tumoren oder Auffinden anderer Krankheitsherde (z. B. Epilepsie) usw.

Auch Probleme bei der Aufklärung von Signal-Reiz-Wegen werden durch den Nachweis evozierter Hirnmagnetfelder der Untersuchung zugänglich gemacht. Untersuchungen peripher-motorischer oder sensibler Störungen sind denkbar.

Zur Zeit sind Physiker in Jena mit intensiven Forschungen zum Erproben einer Mehrkanalanordnung für biomagnetische Messungen beschäftigt, mit der eine Verkürzung der Meßzeit und ein höherer Informationsgehalt (Ortsauflösung bis auf wenige Millimeter) erreichbar ist. Gleichzeitige Messungen an mehreren Positionen sind mit dieser Anlage durchführbar. Durch diese simultane Messung sind die Signale untereinander vergleichbar und damit Informationen besser identifizierbar.

Entsprechend den internationalen Tendenzen ist auch in der DDR eine zunehmende Anwendung und Bedeutung biomagnetischer Messungen in der medizinischen Forschung zu erwarten.

Erklärung zu den Eier-Experimenten (Eindrücke)

Das erste Experiment führt uns zur Problematik der Rotationsbewegung von Körpern. Ein gekochtes Ei soll genähert als starrer Körper aufgefaßt werden. Um es in Drehung zu versetzen, ist nur ein kurzzeitig wirkendes Drehmoment erforderlich. Dieses üben wir nun durch entsprechende Fingerbewegung auf das Ei aus und übertragen dabei Energie, welche in Form von Rotationsenergie vorliegt. Das gekochte Ei dreht sich schnell. Ein rohes Ei gleicher Größe und Masse ist dagegen kein starrer Körper. Die effektive Fingerkraft für's kurzzeitige Drehmoment ist kleiner als für's gekochte Ei, weil sie gegen das Trägheitsmoment der Schale und die Reibung zwischen Schale und Eiweiß (bei Vernachlässigung weiterer Reibungseffekte) aufkommen muß. Auffälliger ist die daraus folgende Tatsache, daß ein kurzzeitig wirkendes Drehmoment das rohe Ei nicht in schnelle Drehbewegung versetzen kann. Es wird viel weniger Energie als beim gekochten Ei übertragen, und durch die Reibung zwischen Eierschale und flüssigem Eiweiß wird die Rotationsenergie schnell wieder abgebaut.

Rotiert ein Körper, so wirken Fliehkräfte. Ist die Resultierende aus den Fliehkräften aller Massenelemente gleich Null, nennt man die Rotationsachse eine freie Achse. Jeder Körper hat drei davon. Zwei dieser freien Achsen (diejenigen mit dem größten und kleinsten Trägheitsmoment) sind nun wiederum stabil, d.h. rotiert der Körper um eine solche, behält er seine Lage bis in alle Ewigkeit (ohne äußere Einflüsse). Dreht sich ein Körper, z. B. ein

Fortsetzung auf Seite 25

L. Schmit, J. Seglins
Riga, Komitee für Jugendarbeit des
Lettischen Vereins wissenschaftlich-technischer Organisationen

Formen der Physikausbildung in der lettischen Sowjetrepublik

Mit der Gründung des Rigaer Polytechnischen Instituts im Jahre 1862 begann die intensivere Entwicklung von Natur- und Technikwissenschaften in Lettland. Wurden am Anfang nur Probleme der Anwendung der Wissenschaft bearbeitet, so betrachtete man schon kurze Zeit später wissenschaftliche Fragen von allgemeiner Bedeutung. In Riga lebten und wirkten beispielsweise die weltberühmten Chemiker Swante Arrhenius, Wilhelm Ostwald (beide Nobelpreisträger) und Paul Walden, aber auch der Mathematiker Pirs Bool, der Raketentechniker Friedrich Zander und viele andere berühmte Gelehrte.

Eine breite Entwicklung der Grundlagenforschung und auch der Physik konnte aber erst nach dem II. Weltkrieg beginnen. Ende der vierziger Jahre wurden das physikalische und das physikalisch-energetische Institut der Akademie der Wissenschaften der Lettischen Sowjetrepublik gegründet. 1961 begann unweit von Riga die Arbeit des ersten Kernforschungsreaktors der baltischen Republiken. 1980 erfolgte schließlich die Gründung eines Institutes für Festkörperphysik an der Rigaer Universität. Physikalische Untersuchungen werden heute aber auch in anderen Abteilungen der Lettischen Staatsuniversität, im Rigaer Polytechnischen Institut, im Pädagogischen Institut Daugavpils sowie in industriellen Forschungsabteilungen durchgeführt. Zu den wichtigsten physikalischen Forschungsrichtungen Lettlands zählen heute die Magnetohydrodynamik sowie Spezialgebiete der Festkörperphysik, der angewandten Elektrodynamik und der Astronomie.

Die hier angeführten Einrichtungen benötigen viele Physiker. Die Entwicklung einer Intelligenz vollzog sich in Lettland aber äußerst kompliziert. Die ständig wechselnden politischen Regime, welche meist Fremdherrschaften verkörperten, waren bemüht, eine Entwicklung eigener geistiger Traditionen zu verhindern. Für das lettische Volk ergab sich damit ein besonderes Problem, welches es auch noch heute noch nicht umfassend gelöst ist, nämlich eine eigene Wissenschaftlergeneration heranzuziehen. Hier möchten wir darüber berichten, wie die Physiker Lettlands begabten Schülern helfen, auf wissenschaftlichem Gebiet tätig zu werden.

Während der Schulausbildung können meist nur allgemeine Vorstellungen davon gegeben werden, was sich die Menschheit an Kenntnissen auf einem Gebiet erarbeitet hat. Oft reicht dies aber nicht aus, ein kontinuierliches Interesse an wissenschaftlichen Forschungen zu wecken. Deshalb wurden von Vertretern verschiedenster Organisationen Lettlands zusätzliche Ausbildungsformen geschaffen. Das Ziel dessen bestand darin, Schülern eine vertiefte Physikausbildung zu vermitteln. In der Vergangenheit wurden diese zusätzlichen Ausbildungsformen von niemandem finanziert und so nur von einigen Enthusiasten betrieben. Im folgenden wollen wir einige vertiefende Physikausbildungsformen Lettlands betrachten.

1. Praxiseinsatz

Laut unserem Schulgesetz beschäftigt sich jeder Schüler innerhalb der letzten drei Ausbildungsjahre an einem Tag in der Woche mit der Aneignung eines Berufes, so z. B. Dreher,

Krautfahrer, Melker, Bibliothekar usw. Besonders begabte und physikalisch-mathematisch interessierte Schüler können im Rahmen dieser Ausbildung auch an der Universität oder anderen Instituten tätig werden und so die Arbeit eines Wissenschaftlers kennenlernen. Zunächst bekommt der Betreuer aus der Praxis nur eine kleine symbolische Bezahlung für seine Tätigkeit. Wird der Praktikant jedoch für ein weiteres Studium der Mathematik oder Physik durch die Universität ausgewählt, erhält der entsprechende Betreuer nahezu einen Monatslohn.

2. Kleine Universität

Für interessierte Schüler halten Hochschullehrer der Universitäten wöchentlich eine Vorlesung, in welcher sie sich mit aktuellen physikalischen Problemen beschäftigen. Dabei werden im Rahmen der Möglichkeiten auch Experimente gezeigt. Diese Vorlesungen, die sogenannte „kleine Universität“ wird von 40–60 Schülern aus Riga und Umgebung besucht.

3. Schule für physikalische Untersuchungen

Diese Einrichtung, welche auch von der Universität betreut wird, wendet sich vor allem an Schüler, die sich für experimentelle Physik interessieren. Es gibt zwei Formen dieser Schulen:

- A) *In einer Jugendzeitschrift werden eine Reihe von experimentellen Problemen veröffentlicht. Die Schüler können auf regelmäßig stattfindenden Konsultationen mit erfahrenen Wissenschaftlern über ihre Lösungsansätze sprechen. Auf einer Schülerkonferenz Lettlands werden schließlich die originellsten Lösungen ausgewählt und prämiert.*
- B) *Mitarbeiter der Universität schlagen eine Reihe von Problemen vor, bei deren Lösung sie die Schüler individuell beraten können. Auch auf diesem Gebiet werden die besten Arbeiten auf der Schülerkonferenz ausgezeichnet.*

Am Schuljahresanfang werden diese Schulen jeweils von ca. 100 Schülern der letzten drei Klassen besucht. Bis zur Abschlußkonferenz reduziert sich diese Zahl jedoch etwa auf die Hälfte.

Die Autoren der besten Arbeiten erhalten als Preise physikalische Meßgeräte und werden zur Zentralen Konferenz der baltischen Republiken delegiert. Im Frühjahr 1989 fand diese Konferenz in Riga statt, erstmals beteiligten sich daran auch Schüler aus Finnland und Schweden.

4. Schülerseminare

Jedes Jahr im Januar werden für alle Schüler der letzten Klasse, welche eine technische oder mathematisch-physikalische Fachrichtung studieren möchten, dreitägige Seminare durchgeführt. Etwa 500–600 Schüler nehmen an den Seminaren, die in 3 oder 4 Orten Lettlands stattfinden, teil. Während der 3 Tage können die Schüler das Leben von Studenten kennenlernen. Sie besuchen mehrere Vorlesungen und haben danach einige Aufgaben zu lösen und sich mehreren allgemeinen Testen zu unterziehen. Dies alles erlaubt den Schülern, ihre Kenntnisse zu erweitern, aber auch ihre psychologischen Eigenschaften zu prüfen und mit den Anforderungen zu vergleichen, die in ihrem gewählten Beruf vor ihnen stehen. Die Resultate dieser Seminare werden nur dem Schüler selbst mitgeteilt, auch Lehrer haben keinen Zutritt. Die Aufnahme in die Hochschule wird von den Resultaten nicht beeinflusst.

5. Physikalische Facholympiaden

Diese Wettbewerbe werden seit 1951 in mehreren Stufen (Schule, Bezirk, Republik) vom Volksbildungsministerium und der Lettischen Staatsuniversität ausgerichtet. Während an

Anfang nur Aufgaben zur Theorie gestellt wurden, erfolgte später die Ergänzung durch das Experiment. Die experimentellen Aufgaben werden am zweiten Tag des Wettbewerbs gestellt und es nehmen daran nur diejenigen teil, welche in der Theorie gute oder sehr gute Ergebnisse erreicht haben. Während dieser Facholympiaden besteht für alle Teilnehmer die Möglichkeit, einzelne Wissenschaftsbereiche der Universität kennenzulernen.

6. Offene Physikolympiaden

Entsprechend einem Vorschlag der Jungen Physiker gibt es seit 1976 auch offene Physikolympiaden. Jeder Schüler Lettlands kann an diesem Wettbewerb direkt teilnehmen. Jährlich machen etwa 300 Schüler davon Gebrauch. Die Olympiaden werden jeweils an einem Tag durchgeführt. In 4 Stunden sind 6 Aufgaben, darunter 1 oder 2 experimentelle zu lösen. Die Sieger der Olympiaden erhalten wertvolle Preise, so auch Reisen in andere sozialistische Länder. Seit diesem Jahr können die Sieger der Physikolympiaden auch ohne die sonst üblichen Eintrittsprüfung ein Studium der entsprechenden Fachrichtung aufnehmen. Bei den zentralen Olympiaden der Sowjetunion zeichnen sich die Schülermannschaften Lettlands immer wieder durch gute Leistungen aus.

7. Turniere Junger Physiker

Seit 1988 nehmen die Schüler Lettlands auch an gesamtowjetischen Turnieren Junger Physiker teil. Gleich beim ersten Start konnte die lettische Mannschaft überraschenderweise den Hauptpreis erringen.

Kurz etwas zum Turnierablauf. Schon Monate vor dem Turnier werden sehr komplizierte Problemstellungen veröffentlicht. Die Schülermannschaft sucht gemeinsam mit erfahrenen Physikern nach Lösungen. Während des Turniers hat dann eine Mannschaft ihre Lösungen vorzuschlagen. Eine andere Mannschaft hat diese Lösungen kritisch zu bewerten. Danach tauschen die Mannschaften ihre Rollen. Während des Turniers werden auch zusätzlich neue Aufgaben gestellt.

Das Finale des Turniers findet dann schließlich mit internationaler Beteiligung statt.

8. Sommerschule „ALPHA“

Für die besten Olympiadeteilnehmer gibt es in jedem Jahr ein Speziallager. Der Name des Lagers „ALPHA“ – der erste Buchstabe des griechischen Alphabets – symbolisiert die ersten Schritte in Richtung der Wissenschaften.

Im ALPHA-Lager gibt es 5 Sektionen: Physik, Mathematik, Informationstechnik, Chemie, Biologie und Gesellschaftswissenschaften. Die Lektoren kommen meist aus der Universität oder der Akademie der Wissenschaften der Lettischen Sozialistischen Sowjetrepublik (LSSR). Es kommen aber auch Gäste von anderen wissenschaftlichen Einrichtungen. So haben unter anderem der Vizepräsident der Akademie der Wissenschaften der LSSR J. Lielpeters, das Korrespondierende Mitglied der Akademie der Wissenschaften der LSSR K. Schwarz und der Leninpreisträger und Akademiker A. Ischlinsky Vorlesungen im ALPHA-Lager gehalten.

Die täglich stattfindenden Vorlesungen ähneln denen an der Universität. Es werden aktuelle Gebiete der Physik, welche in den Schulbüchern gewöhnlich nicht betrachtet werden, näher vorgestellt: Quantenmechanik, Grundlagen und Anwendung des Lasers, Grundlagen der Festkörperphysik u. a. Die Schüler beschäftigen sich während des Lagers viel mit Personalcomputern.

Für alle Teilnehmer des Lagers werden Vorlesungen zu allgemeinen Menschheitsproblemen gehalten. Die Anzahl solcher Veranstaltungen hat sich in den letzten Jahren ständig erhöht.

Das erste ALPHA-Lager fand 1968 statt. In den letzten 6 Jahren wurde ALPHA im westlichen Teil Lettlands – in der Stadt Kuldiga durchgeführt. Während Exkursionen können sich die Schüler mit der interessanten lettischen Geschichte vertraut machen. Somit trägt die Teilnahme am ALPHA-Lager auch zu einer Verbesserung des Allgemeinwissens bei. Nach Beendigung des Lagers arbeiten viele Schüler in den physikalischen Laboratorien ihrer Lektoren. Dies alles war ein kurzer Überblick dazu, wie in der LSSR junge Physiker gefördert werden. Neben den hier aufgezählten Formen gibt es noch Wochen der Wissenschaft und Technik für die Jugend, Konferenzen wissenschaftlicher Schülervereinigungen u. v. a. Bei der Arbeit mit den Schülern wirken viele Organisationen zusammen: die Staatsuniversität, die Institute der Akademie der LSSR, das Volksbildungsministerium u. a. Finanzielle Unterstützung gibt es aber auch von wissenschaftlichen Gesellschaften des Maschinenbaus, der Radioelektronik oder der Chemie und vom Lettischen Verein wissenschaftlich-technischer Gesellschaften. Die gesamte Arbeit wird vom Komitee für Jugendarbeit des Lettischen Vereins wissenschaftlich-technische Gesellschaften koordiniert.

Dem Nobelpreis auf der Spur – Herstellung von Hochtemperatursupraleitern auch unter einfachen Bedingungen durch Leipziger Schüler

Einer Arbeitsgruppe an der Spezialschule math.-nat.-techn. Richtung gelang es, Hochtemperatursupraleiter mit einfachen Mitteln herzustellen.

Unter Leitung des Arbeitsgruppenleiters Herrn Schwab, einem jungen, initiativreichen Physiklehrer der Schule, schafften sich die fünf Mitglieder der Gruppe, Schüler der Klassen 10 und 11, Voraussetzungen für die Herstellung der homogenen Stoffgemische und die Vervollkommnung des Herstellungsprozesses.

Für die Supraleiter wurden die aus der Fachliteratur bekannten Wismut- und Yttriumgemische verwendet.

Die Mitglieder der AG, Uta Langrock, Dirk Schmalried, Pit Schmidt, Michael Kiy und Christian Huy, bauten sich viele Hilfsmittel selbst, so diente z.B. eine ausgediente Kaffeemühle zur Herstellung der Stoffgemische.

Zur Steuerung des Muffelofens, in dem die Proben gesintert wurden, entwickelten die Mitglieder elektronische Schaltungen, die es ermöglichen, mittels eines Kleincomputers die Temperatur im Ofen relativ genau zu regeln, so daß der gesamte Temperungsprozeß von über 12 Stunden fast völlig selbständig abläuft.

Für den Computer wurde ein Programm geschrieben, welches die Steuerung verschiedener Temperaturabläufe gestattet, und somit bei der Entwicklung weiterer Supraleiter nützlich ist. Nach Abschluß der einjährigen Entwicklung der notwendigen Hilfsmittel und Software konnten 3 verschiedenartige Supraleiter erzeugt werden, für die von der AdW eine Sprungtemperatur von 85 K nachgewiesen wurde.

Als neue Aufgabe für das Schuljahr 1989/90 hat sich die Arbeitsgruppe die Entwicklung von Supraleitern mit höheren Sprungtemperaturen und billigeren Ausgangsmaterialien vorgenommen.

Klaus-Dieter Herbst
Institut für Geschichte der Medi-
zin und der Naturwissenschaften
Ernst-Häckel-Haus
Friedrich-Schiller-Universität Jena

Abbe und Zeiß – zwei be- **deutungsvolle Namen,** **nicht nur für Jena**

Spricht man von der Stadt Jena, so wird dieser Name sicherlich bei den meisten Menschen in unserem Land die Assoziation „Carl Zeiß Jena“ wecken. Die einen denken dabei an das Kombinat und die anderen an den Fußballklub. Doch wieviele wissen auch etwas mehr über den „Namensgeber“ Carl Zeiß (11. 9. 1816 bis 3. 12. 1888), dessen große Bedeutung für die Entwicklung der Stadt Jena und für die feinmechanisch-optische Industrie in Deutschland des 19. Jahrhunderts unbestritten ist?

Anlässlich seines 100. Todestages und des 100. Jahrestages der Gründung der Carl-Zeiß-Stiftung (23. 5. 1889) fanden in Jena

verschiedene Gedenkveranstaltungen statt, wo Carl Zeiß u. a. als „Begründer einer nunmehr über 140jährigen Jenaer Tradition, wie Präzision und Qualität, wie Fleiß, Geschick und Zuverlässigkeit“ gewürdigt wurde. „Er gilt als Prototyp einer in jener Zeit sich herausbildenden neuen Unternehmergegeneration, die sich durch Risikobereitschaft, durch innere und äußere Disziplin, durch Initiative, praktische Weitsicht und theoretischen Verstand, durch ausgeprägtes Organisations- und Durchsetzungsvermögen auszeichnete.“ /1, S. 170/

Aus der 1846 begründeten bescheidenen mechanischen Werkstatt von Carl Zeiß (eine originalgetreue Nachbildung ist im Jenaer Optischen Museum zu besichtigen) entwickelte sich bis zum Ende des vergangenen Jahrhunderts eine der bedeutendsten Firmen des wissenschaftlichen Gerätebaues, an deren Erfolge das heutige Kombinat anknüpft. An diesem Aufschwung vor über 100 Jahren waren noch 2 weitere Männer neben den vielen unbekannt gebliebenen Arbeitern maßgeblich beteiligt. Das waren der Physiker Ernst Abbe (23. 1. 1840 bis 14. 1. 1905) und der Chemiker und Glastechniker Friedrich Otto Schott (1851 bis 1935). Während die Zusammenarbeit mit F. O. Schott im Jahre 1881 begann, konnte sich der Optiker und Mechaniker C. Zeiß bereits seit 1866 auf die Hilfe von E. Abbe stützen. Dieser befaßte sich als Physiker vor allem mit den Problemen der Optik und stellte durch seine Erkenntnisse und deren Anwendung beim Bau von Mikroskopen diesen auf ein wissenschaftliches Fundament. „Die Konstruktion des Mikroskops war völlig auf eine wissenschaftliche Theorie gegründet und dieser die praktische Fertigung untergeordnet.“ /2, S. 177/ Die Entwicklung des Zeiß'schen Betriebes ist ein beeindruckendes Beispiel dafür, wie sich Wissenschaft und Produktion gegenseitig durchdringen. Aber es ist nicht das erste derartige Beispiel. Bereits zu Beginn des 19. Jahrhunderts gab es in der mechanischen Werkstätte in München ein Zusammenwirken des Unternehmers Joseph von Utzschneider (1763 bis 1840) mit dem ausgezeichneten Techniker Georg von Reichenbach (1772 bis 1826) und dem glänzenden Physiker Joseph von Fraunhofer (1787 bis 1826). Mit der Einbeziehung theoretischer Kenntnisse beim Fernrohrbau durch J. v. Fraunhofer wurde eine neue Qualität bei den Refraktoren erreicht und es begann der wissenschaftliche Fernrohrbau /3, S. 304 ff./

Interessant ist, daß sowohl J. v. Fraunhofer als auch E. Abbe Kinder einfacher Eltern waren und aus ärmlichen Verhältnissen stammten. Der Vater von E. Abbe war Arbeiter in einer Garnspinnerei und die Mutter entstammte einer Weberfamilie. „Das wenige Geld, das die Eltern beisteuern konnten (für die Ausbildung – K.-D. H.), und auch das durch Stundengeben dazuverdiente reichten kaum für den Lebensunterhalt, doch Abbe war sparsam bis zum äußer-

sten und verzichtete manchen Tag auf eine Mahlzeit.“ /4, S. 117./ Trotz einer solchen sozialen Lage gelang es ihm, seine Fähigkeiten zu entwickeln. Begabung, Fleiß und ein starker Wille sowie die Förderung durch hervorragende Lehrer waren die Basis, auf der sich die Leistungen dieses Wissenschaftlers gründeten.

Schon mit jungen Jahren wurde ihm Anerkennung unter den Fachkollegen gezollt. So wurde E. Abbe bereits im Alter von 23 Jahren Privatdozent an der Jenaer Universität, was mit dem Geben von Vorlesungen verbunden war. Über das Erlebnis seiner ersten Lesung berichtet er in einem Brief an seinen Jugend- und Studienfreund Harald Schütz (1840 bis 1915) vom 13. 6. 1863: „Ich lese also Potentialtheorie zweistündig (Mittwoch und Freitag von 10 bis 11) und bestimmte Integrale in 4 Stunden, 2mal von 5 bis 6, 2mal von 12 bis 1. In dem ersten habe ich zur Zeit nur 2 Zuhörer, so daß ich, um das *tres faciunt collegium* zur Geltung zu bringen, mich selbst mit zurechnen muß; ein dritter der hören wollte ist unglücklicher Weise jetzt krank, und muß, wenn das nicht zu lange dauert, später noch zutreten. In der anderen Vorlesung aber sind es 5, also schon eine erträgliche Zahl, mit der ich zufrieden sein kann, sofern sie nicht zu viel schwänzen.“ /5, S. 245 f./

Lesenswert, weil interessant und amüsant zugleich, sind auch die anderen Passagen in diesem Brief, wie überhaupt der gesamte Briefwechsel. Der am 23. Januar nächsten Jahres zu begehende 150. Geburtstag von Ernst Abbe sollte als Anlaß genommen werden, einmal zu jenem Buch, in dem die Briefe veröffentlicht wurden, oder zu der in diesem Jahr erschienenen Biographie (Teubner Verlagsgesellschaft, Reihe: Biographien hervorragender Naturwissenschaftler, Techniker und Mediziner) zu greifen. Der Blick zurück in die Geschichte kann so manchen Blick nach vorn in die Zukunft öffnen und zu einem neuen Denken verhelfen.

Literatur:

- 11/ Wittig, J., „Carl Zeiß – Leben, Wirken und Bedeutung“, in: *Feingerätetechnik*, Berlin:38 (1989) 4, S.170–172
- 12/ Banse, G. und Wollgast, S. (Herausgeber), „Biographien bedeutender Techniker“, Berlin 1987
- 13/ Schreier, W. (Herausgeber), „Geschichte der Physik – Ein Abriss“, Berlin 1988
- 14/ Schreier, W. (Herausgeber), „Biographien bedeutender Physiker“, Berlin 1988
- 15/ Wahl, V. und Wittig, J. (Herausgeber), „Ernst Abbe. Briefe an seine Jugend- und Studienfreunde Carl Martin und Harald Schütz 1858 bis 1865“, Berlin 1986

Dr. Frank Hofmann
Friedrich-Schiller-Universität Jena
Sektion Physik

**Korrespondenzzirkel
des Bezirksklubs
Junge Physiker (Teil 1)**

Mit diesem Beitrag soll ein Einblick in eine spezielle Form der Förderung von Schülern der Klassen 9 und 10 im Fach Physik gegeben werden, die an der Sektion Physik der FSU seit nunmehr 3 Jahren existiert. Der Korrespondenzzirkel ordnet sich ein in die Aktivitäten der Sektion Physik bei der Bestenförderung, wie sie auch auf dem IX. Pädagogischen Kongreß von den Universitäten und Hochschulen gefordert werden.

Um den Leser mit dem Niveau unserer Anforderungen vertraut zu machen, werden wir in diesem und in einem weiteren Beitrag einige ausgewählte Aufgabenbeispiele wiedergeben. Sollte sich der Leser durch unsere

physikalischen Aufgaben zum Aufgabenlösen angesprochen fühlen, wäre das ein erfreuliches Ergebnis. Hinweise zu den Aufgabenlösungen erfolgen ebenfalls in einem weiteren Beitrag.

Zunächst noch einige Informationen zum Korrespondenzzirkel: Die Teilnehmer unseres Zirkels sind Schüler aus dem ganzen Bezirk Gera, die in Absprache mit dem Bezirksfachberater für Physik und einem Kreisfachberater der Stadt Jena ausgewählt werden. Bei der Auswahl dieser Schüler wird darauf orientiert, daß die Schüler

- Interesse an der Physik bzw. am naturwissenschaftlichen Unterricht haben und
- leistungsmäßig so gut sind, daß sie einmal eine weiterführende Bildungseinrichtung – wie die Erweiterte Oberschule oder die Berufsausbildung mit Abitur – besuchen werden.

Darüber hinaus nehmen wir auch gern solche Schüler in unsere Reihen auf, die über Schulkameraden, Lehrer oder Bekannte von uns gehört haben und von sich aus an unserem Zirkel teilnehmen wollen.

Die Organisationsform des Zirkels erschöpft sich nicht nur in der Korrespondenz. Für ein Schuljahr gilt folgender Plan:

- Jeder Teilnehmer erhält von uns über seinen Direktor 4 Aufgabenserien mit etwa je 5 physikalischen Aufgaben, deren Lösungen er uns zu den gestellten Terminen zuschickt. In die Aufgabenserien werden auch gerätetechnisch einfache Experimente einbezogen, die vom Schüler zu Hause oder in seiner Heimatschule durchgeführt werden können.
- In den Monaten Dezember und April organisieren wir je eine ganztägige Zusammenkunft für die Schüler hier in Jena, damit wir sie und sie uns etwas näher kennenlernen. An einem solchen Tag werden die bis dahin gelösten Aufgaben diskutiert, aber auch physikalischer Lehrstoff vertieft bzw. neu vermittelt. In diese Lehrveranstaltungen werden selbstverständlich Experimente einbezogen. Die Palette der Experimente reicht dabei vom Freihandexperiment bis zum gerätetechnisch aufwendigeren Experiment. Im Schuljahr 1988/89 konnte erstmals von uns auch die direkte Kopplung von Experiment und Computer (KC 85/3) demonstriert werden, was ein weiterer interessanter Aspekt für die Veranstaltung auch künftig sein wird.

Soweit zur Arbeit des Zirkels selbst.

Die nun folgenden physikalischen Aufgaben sind von Aufgabenserien entnommen, die von uns an die Zirkelteilnehmer verschickt werden. Für die Lösung der Aufgaben reichen größtenteils die Kenntnisse aus dem obligatorischen Physikunterricht aus. Die Aufgaben werden

im Laufe eines Schuljahres zeitlich so eingesetzt, daß die Vorleistungen von der POS mit genutzt werden. Das Anforderungsniveau der Aufgaben ist keineswegs so, daß nur außergewöhnlich schwierige Aufgaben in die Aufgabenserien aufgenommen werden.

Folgende Aufgaben haben wir für Sie ausgewählt:

1. Zwei Glühlampen mit der Aufschrift 6 V/5 W werden in Reihe an eine Spannungsquelle von 12 V angeschlossen. Wie groß ist die Spannung zwischen den Punkten A und B, nachdem die Glühlampe L2 durchgebrannt ist? Begründen Sie Ihre Aussage!

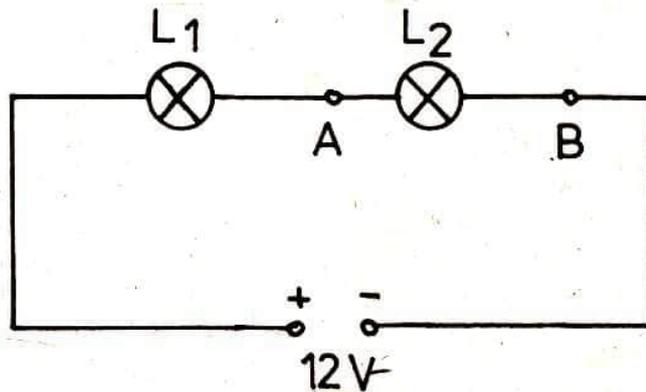


Abb. 1

2. Für eine Projektionslampe mit der Aufschrift 24 V/250 W soll eine Spannungsquelle von 220 V so genutzt werden, daß die Projektionslampe die gesamte elektrische Leistung abgibt (250 W). Es wird der Vorschlag unterbreitet, einen Vorwiderstand zu verwenden.
 - a) Wie groß muß der Vorwiderstand sein?
 - b) Vergleichen Sie die elektrische Leistung von Projektionslampe und Vorwiderstand und diskutieren Sie den oben genannten Vorschlag!
3. Von zwei Stahlstäben mit gleichem Aussehen ist der eine ein Dauermagnet. Wie kann man ohne weitere Hilfsmittel feststellen, welcher der beiden Stäbe der Dauermagnet ist?
4. Auf einer Tafelwaage liegen zwei Dauermagnete, die ringförmig ausgebildet sind. Beide Dauermagnete 1 und 2 ziehen einander an (vgl. Skizze). Die Waage wurde bei dieser Anordnung der Dauermagnete in das Gleichgewicht gebracht.

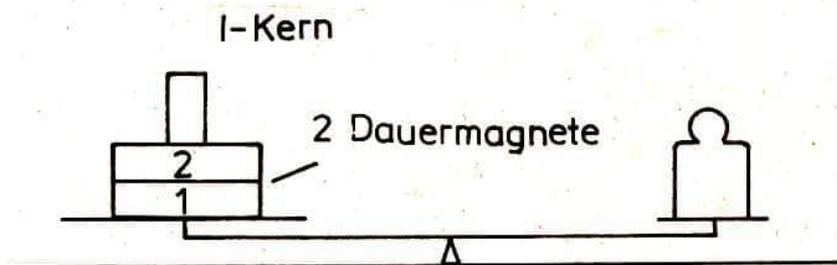


Abb. 2

Folgende Änderung wird im weiteren vorgenommen: Einer der Ringmagnete wird umgekehrt, so daß beide Magnete sich gegenseitig abstoßen. Das sieht dann von der Seite so aus:

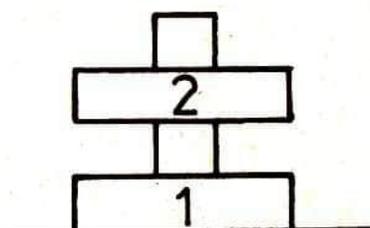


Abb. 3

Der I-Kern dient nur dazu, dem Magneten 2 eine Führung zu geben.

Erklären Sie, was mit dem Gleichgewicht der Tafelwaage passiert, wenn man die neue Anordnung der beiden Ringmagnete auf die Tafelwaage setzt, ohne daß auf der anderen Seite der Waage die Masse geändert wird!

5. An den Enden eines über eine feste Rolle führenden Fadens hängen zwei Hakenkörper, deren Massen $m_1 = 104 \text{ g}$ und $m_2 = 100 \text{ g}$ betragen. (vgl. Skizze).

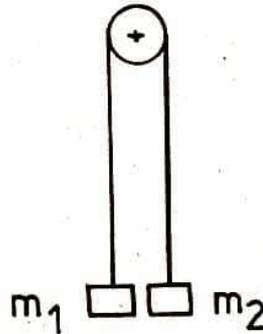


Abb. 4

- a) Um welche Strecke bewegt sich der Körper 1 während der ersten Sekunde nach unten? (Reibungsfrei betrachten!) Überprüfen Sie Ihr berechnetes Ergebnis, wenn es möglich ist, im Experiment!
- b) Versuchen Sie eine Lösung des Problems von a) durch Nutzung des Energieerhaltungssatzes der Mechanik zu finden!

Viel Spaß beim Lösen der Aufgaben!

Fortsetzung von Seite 16

gekochtes Ei, um eine andere als eine stabile Achse, so ist er infolge der Fliehkräfte bestrebt, die stabile Lage einzunehmen. Wird das Ei schnell genug gedreht, sind die Fliehkräfte groß genug, es auf die Spitze zu stellen.

Das „hüpfende Ei“ im zweiten Versuch erhält man durch die gezielte Ausnutzung des Drucks. Indem wir in eine hoffentlich vorhandene Ritze zwischen Ei und Eierbecher kräftig blasen, erreichen wir eine Luftverdichtung im Eierbecher. Das Ei wird angehoben und kippt in Blasrichtung in den hoffentlich danebenstehenden Eierbecher.

Das dritte Problem erfordert zu seiner Lösung ebenfalls Gedanken zum Druck, genauer zum Luftdruck. Das abgeschälte Ei auf die Milchflasche gesetzt dichtet diese recht gut ab, so daß beim Hineindrücken des gekochten Eies das eingeschlossene Luftvolumen komprimiert wird. Das Hineinpressen des Eies in die Milchflasche müßte gegen die resultierende Kraft des sich aufbauenden Gegendruckes erfolgen, wobei es sicherlich zerstört würde. Um dieses „Gegendruckhindernis“ zu überwinden, wird die Milchflasche vorher erhitzt. Bei Abkühlung der eingeschlossenen Luft wird sich der innere Druck verringern, das Ei wird durch den größeren äußeren Luftdruck in die Flasche geschoben.

Wörterbücher der Botanik und Zoologie im Dienste der Vorbereitung auf das Studium – Interview mit einem Autor

Im Heft 5/84 von „impuls 68“ stellten wir in einem Interview mit den Autoren das „Zoologische Wörterbuch“ (VEB Gustav Fischer Verlag Jena) vor. Da sich inzwischen der Leserkreis unserer Zeitschrift erheblich geändert haben wird, vor allem aber auch, da eine neue Auflage des Wörterbuches mit dem Titel „Pflanzennamen und botanische Fremdwörter“ (Neumann Verlag – Radebeul/Leipzig) erschienen ist, möchten wir einen Autor beider Bücher hier noch einmal zu Wort kommen lassen. Dr. Günther Wagner, als Hochschulpädagoge an der Friedrich-Schiller-Universität Jena tätig, beschäftigt sich schon seit vielen Jahren mit Problemen der Fachsprache bzw. der Erarbeitung von Wörterbüchern. Deshalb möchten wir zunächst mit einer allgemeineren Frage, die sicher viele unserer Leser interessiert, beginnen:

„IMPULS 68“: Dr. Wagner, welchen Wert messen Sie der Aneignung der wissenschaftlichen Fachsprache bereits vor dem Studium zu?

Dr. Wagner: Bei dem Studium aller Richtungen und wohl besonders in den Naturwissenschaften einschließlich Studienrichtungen mit naturwissenschaftlichen Fächern als Grundlagen, wie z. B. bei der Medizin, sollten mehr als bisher schon vor dem Studium Termini (Fachwörter) angeeignet werden. Damit ist gemeint, daß man als POS- und noch mehr als EOS-Schüler häufig vorkommende Fremd- oder Fachwörter sich nicht einfach wie Vokabeln oder formal wie „leere Worthülsen“ einpaukt. Vielmehr sollte man darüber Bescheid wissen, was der jeweilige Terminus inhaltlich bedeutet und welche Vorstellungen konkret mit diesem Terminus verbunden sind. Der interessierte Schüler wird bei vielen Anlässen mit wissenschaftlichen Bezeichnungen der Biologie, aber auch mit Tier- und Pflanzennamen, die bekanntlich vorwiegend der griechischen und lateinischen Sprache entstammen, konfrontiert. Das geschieht nicht nur im Unterricht der Biologie, wo ja meistens Zeit und Gelegenheit zur Klärung derartiger Fragen bestehen, sondern auch beim Lesen von Illustrierten, Zeitschriften, Büchern und Bildbänden, nicht selten bei Besuchen von zoologischen und botanischen Gärten, Naturkunde-, Heimatmuseen oder bei Exkursionen. Hier sollen und können Wörterbücher Hilfe geben. Die im Lexikon nachschlagbare international übliche Bezeichnung „verliert ihr Rätsel oder Geheimnis“, wird gleichsam dekodiert, wenn man dort den Begriff in knapper, verständlicher Form erklärt bekommt und noch dazu auch informiert wird, aus welcher Sprache er stammt bzw. wie das „Fremdwort“ gebildet wurde.

Damit kann eigentlich gar nicht früh genug angefangen werden. Ich meine die relativ selbständige Aneignung zumindest eines Grundbestandes von Termini und wissenschaftlichen Namen. Das wiederholt mögliche Nachschlagen ergibt zumeist erst die erforderliche Festigung bzw. einen Aneignungsgrad, der das Beherrschen und Operieren mit den Termini ermöglicht.

Wir wissen, daß nicht wenige Benutzer unsere und gewiß auch andere Wörterbücher „als begleitenden Freund und Helfer“ griffbereit haben und oft nutzen.

Im Hinblick auf das Studium können somit insbesondere im 1. Studienjahr auftretende Schwierigkeiten abgebaut werden, denn die aus Zeitgründen nicht immer mögliche Erklärung der Terminologie kann ohne gangbare Lösungswege zur Barriere werden.

„IMPULS 68“: Können Sie unseren Lesern einmal kurz erläutern, wie die von Ihnen mitgeschaffenen Wörterbücher aufgebaut sind?

Dr. Wagner: An dieser Stelle ist es mir zunächst Bedürfnis und zugleich Pflicht, meine Kooperationspartner namentlich zu erwähnen. Immerhin widerspiegelt allein schon die Anzahl der Auflagen, daß es sich um eine langjährige und somit auch gute Zusammenarbeit handelt bzw. handeln muß. Das in 9. Auflage jetzt noch erwerbbar Botanische Wörterbuch vereinigt seit 1961 das Autorengespann Schubert / Wagner. Professor Dr. habil. Rudolf Schubert ist an der Universität Halle schon lange tätig. Auch im Falle des Zoologischen Wörterbuches (4. Auflage 1990) verbirgt sich hinter den Autorennamen Hentschel / Wagner, auf dem Einband ersichtlich, ein Ordinarius (= Lehrstuhlinhaber), wobei Professor Dr. sc. nat. Erwin Hentschel an der Universität zu Greifswald die Zoologie in führender Position vertritt.

Doch nun zurück zur hier gestellten Frage. Beide Wörterbücher sind sich im Aufbau ähnlich, haben aber auch Unterschiede.

Gemeinsam sind beide vor allem in der Gliederung:

- (1) Eine etwa 50seitige Textabhandlung als eine Einführung in die Terminologie und Nomenklatur der Botanik bzw. Zoologie, die in dieser inhaltlich aufbereiteten Form näher mit dem Wesen und den Regeln der Fachsprache vertraut macht;
- (2) In beiden Wörterbüchern enthält der lexikalische Hauptteil eine Auswahl von sprachkundlich und begrifflich erklärten Termini aus wesentlichen Disziplinen oder Teilgebieten der Botanik bzw. Zoologie;
- (3) Beide Nachschlagewerke haben als besondere Kapitel ein „Register der Autoren“ (= der Täufer / Namensgeber von Pflanzen- bzw. Tiergruppen / Sippen), ferner einen „Überblick über das System“ (Pflanzen- bzw. Tierreich) sowie zum Abschluß jeweils ein „Literaturverzeichnis“, das auch wegen der Orientierung auf Literatur für Studium und Weiterbildung Interesse findet.

Dieser Rahmen ist also in beiden Büchern identisch. Unterschiedlich ist insbesondere, daß sich im Botanischen Wörterbuch ein separates Verzeichnis von deutschen Pflanzennamen befindet, bei denen der jeweils zugehörige wissenschaftliche Gattungsname steht, der das weiterführende Nachschlagen im lexikalischen Hauptteil ermöglicht. Im Zoologischen Wörterbuch hat eine stattliche Anzahl von Kurzbiographien bedeutender Zoologen (immerhin etwa 400) Aufnahme gefunden.

„IMPULS 68“: Was bewog Sie zu dieser lexikalischen Arbeit, die doch wohl auch sehr aufwendig ist?

Dr. Wagner: Das ist eine interessante, auch ins Persönliche gehende Frage, für die eigentlich schon ein wesentliches Motiv aus meiner Beantwortung der 1. Frage hervorgeht. Es bestand ein echter Bedarf an derartigen „Nachschlagewerken mit Querschnittscharakter“, in denen sprachkundlich und definitorisch wissenschaftliche Bezeichnungen kurz / knapp, ggf. auch vereinfacht bzw. beschränkt auf das Wesentliche erklärt werden. Verlag und wir als Autoren sahen in dieser Hinsicht die Lücke auf dem Büchermarkt, wenn man von speziellen, thematisch enger begrenzten Veröffentlichungen (z. B. Spezialwörterbüchern) absieht. Zum anderen ist das Problem der Fachsprache an Schule und Hochschule generell bekannt, dessen Lösung mehr echte Vorleistungen schon bei der Studienvorbereitung erfordert. Jeder Schüler, bei dessen künftigen Studium oder Beruf Biologie eine Rolle spielt,

sollte möglichst aus eigenem Antrieb sich Kenntnisse und Fähigkeiten in der Fachsprache aneignen. Das hilft gewiß, einen besseren Start beim Studium zu haben, z. B. in Biologie, Lehrerbildung, im Medizin-, Stomatologie-, Veterinär-, Pharmaziestudium, bei der Ausbildung in Agrarwissenschaft bzw. Pflanzen- oder Tierproduktion.

Ich habe diesbezüglich mit diesem Ratschlag meine eigenen Erfahrungen als ehemaliger Biologielehrer an EOS, aber auch als Fachlehrer für Landwirtschaft und Lehrbeauftragter bei der Ausbildung von Diplomagrarpädagogen und ebenfalls zufolge meiner jetzt als Hochschulpädagogin berufsbedingten Einsicht in die Aus- und Weiterbildung der Biologie, der Medizin, Stomatologie und anderer Richtungen bzw. Disziplinen, die biologisch orientiert sind oder Zoologie bzw. Botanik als Grundlagen- oder Integrationsfach haben, vermittelt.

„IMPULS 68“: Dr. Wagner, recht herzlichen Dank für diese interessanten Informationen und persönlichen Erfahrungen. Gewiß auch im Namen unserer biologisch, medizinisch, agrarwissenschaftlich, pharmazeutisch interessierten Leser, denen Ihre Antworten entsprechend unserem wörtlich zu nehmenden Anliegen eine echte Impulsgebung sein mögen.

Literaturtipps: Interessante Beiträge aus anderen Zeitschriften

„Wissenschaft und Fortschritt“:

1/89 Heinz Militzer, Werner Stolz: „Unruhige Erde – Radon als Indikator geodynamischer Prozesse“

Michael Walter: „Nobelpreis für Physik 1988: Entdeckung des Myon – Neutrinos“

Walter Werner: „Nobelpreis für Medizin und Physiologie 1988: Arzneimittel gegen Krebs“

2/89 Sönnhild Döring, Marion Kauke: „Füreinander – Gegeneinander – Miteinander?“

Betrachtungen zu Verhaltensweisen der Geschlechter

Eberhard Müller, Adelhard Köhler, Gudrun Hermann: „Nobelpreis für Chemie 1988: Raumstruktur eines Photosynthese – Zentrums“

Adolf Grisk: „Nobelpreis für Physiologie und Medizin 1988: Rezeptorblockierende Arzneimittel“

3/89 Wolfgang Frindte: „Feindbilder aus der Sicht des Psychologen“

Hans-Georg Schöpf: „Das Gedankengebäude des Isaac Newton“

4/89 Immo Kerner: „Computer an USA-Schulen“

Volker Lüderitz, Daniela Neuhaus, Kathleen Hilbig: „Umwelt in Entwicklungsländern“

Eckhardt Ettenhuber, Friedrich Wolfgang Krüger: „Auswirkungen des Reaktorunfalls im Kernkraftwerk Cernobyl auf das Territorium der DDR“

Fritz Henneberger, Rolf Enderlein: „Digitale optische Informationsverarbeitung“

5/89 Manfred Peschel, Jörg Reichenberger: „Was eine Kugel ins Rollen brachte . . . Schülerprojekt in der Informatikausbildung“

Randolf Fischer, Viktor Nickles: „Röntgenlaser“

BUCHBESPRECHUNG

Walter Kranzner: „So interessant ist Mathematik“

VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften Berlin 1989; Lizenzausgabe des

Aulis Verlag Deubner & Co KG Köln; 240 S., zahlr. Abb., 28,- M, Best.-Nr. 571 6803

Warum sind Theatersitze manchmal zirkular angeordnet? Wo ist der günstigste Platz, um ein Bild zu betrachten? Bringt das Kurvenschneiden wirklich echte Wegersparnis?

Solche und ähnliche Fragen wird man zunächst nicht in einem Buch über Mathematik vermuten. Das vorliegende Buch „So interessant ist Mathematik“ mit dem Untertitel „Ein Spaziergang durch das Reich der Mathematik zur Würze von Mußestunden und zur Anregung im Unterricht“ gibt eine Antwort auf diese und andere interessante Fragen.

Der österreichische Autor Dr. Walter Kranzner wendet sich vorrangig an bereits mathematisch Interessierte, die mit diesem Buch zu neuen Einblicken in die Mathematik gelangen werden, zum anderen an solche, die erfahren möchten, was diese Wissenschaft an Interessantem und Erstaunlichem zu bieten vermag.

In 12 Kapiteln beschäftigt sich der Autor mit Fragestellungen aus den verschiedenen Gebieten der Mathematik, von „Zahlen“, „Geometrie“ über „Funktionen, Graphen, Extrema“ und „Hyperkomplexe und andere Zahlbereiche“ bis zu „Wahrscheinlichkeit“ und „Integralrechnung“. In den Kapiteln „Unglaubliches“ und „Unmögliches“ wird an Beispielen gezeigt, daß unglaubliche Dinge sich als möglich erweisen, andere, oft als einfach zu lösen eingeschätzte Probleme sich als unlösbar herausstellen. So kann man z. B. zwei numerisch wohldefinierte Zahlen a und b angeben, von deren Summe $a + b$ nicht einmal die erste Stelle vor dem Komma angegeben werden kann.

Es werden Einblicke in mathematische Zusammenhänge vermittelt, ohne operative Perfektion anzustreben. Dem in der Einleitung des Autors erhobenen Anspruch, den Leser mit dem Inhalt mathematischer Aussagen vertraut zu machen, ohne „die Wissenschaft von den Zahlen und den geometrischen Gebilden durch vorgelegte Aufgaben schmackhaft zu machen, indem es den Lesern die Freude an Erfolgserlebnissen kosten läßt.“ (Einleitung des Autors), wird das Buch voll gerecht. Es bietet dem Leser auch beim mehrmaligen Lesen neue Anregungen und Ideen. Zu jedem Abschnitt ist vermerkt, ob das Thema sich besonders für 10- bis 14jährige oder für 15- bis 19jährige Schüler oder für weiterführende Lehrveranstaltungen eignet. Dabei wird an mathematischen Kenntnissen nur vorausgesetzt, was an Schulen in der Abiturstufe bzw. in mathematischen Arbeitsgemeinschaften vermittelt wird. Alles, was nicht selbstverständlich als bekannt vorauszusetzen ist, ist in einem Anhang zusammengestellt. Sehr zu loben ist, daß jedem Kapitel ein Literaturverzeichnis nachgestellt ist. Hier ist aber auch der einzige Kritikpunkt zu finden: Die Hinweise auf die besondere Eignung für bestimmte Altersklassen, die bei jedem Abschnitt zu finden sind, sollten auch in das Literaturverzeichnis zu den großen Abschnitten übernommen werden. Dies würde es besonders jüngeren Lesern erleichtern, geeignete Literatur zu finden. „So interessant ist Mathematik“ ist ein sehr gutes Buch, welches in keiner Schulbibliothek fehlen darf und das ich allen an Mathematik und an Kultur interessierten Schülern nur empfehlen kann. Besonders für Mathematiklehrer, die ihren Unterricht durch interessante mathematische Sachverhalte auflockern und ergänzen wollen, wird es eine große Hilfe sein.

Hervorzuheben ist die ausgezeichnete Herstellungsqualität und der dafür günstige Preis.

Auf das angekündigte Werk „So interessant ist Physik“ des gleichen Autors darf man mit Recht gespannt sein.

Wolfram Meinhardt

BUCHBESPRECHUNG

**W. Kaiser/R. Mock: „Johann Christian Reil“
Band 41 der Biographien hervorragender Naturwissenschaftler, Techniker und
Mediziner, Teubner Verlagsgesellschaft, 1979, (5,10 M)**

Wer im Duden einmal das Wort „Biographie“ aufsucht, wird die erklärende Bezeichnung „Lebensbeschreibung“ finden. Diesen Anspruch wird man der vorliegenden Biographie des Mediziners J. Ch. Reil (1759–1813) im ursprünglichen und vollständigen Sinne sicher streitig machen können, da sie kaum Details über die Kindheit und das Privatleben von Reil preisgibt. Was die Schrift aber trotzdem so reizvoll macht, ist die breite Einbettung des wissenschaftlichen Wirkens von Reil in die damaligen gesellschaftlichen Verhältnisse. Gekonnt verbinden die Autoren dabei Rückblicke auf die Medizingeschichte mit einigen Entwicklungen in der politischen Sphäre. Bezeichnend hierbei ist z. B. die Wiedergabe eines erschütternden Berichtes von Reil „über die Zustände bei der Verwundetenversorgung nach der Völkerschlacht in Leipzig“ im Oktober 1813 (S.92 f.).

Reils Bemühungen galten nun aber nicht nur den nötigen Verbesserungen in der Militärchirurgie, sondern auch jenen in den Bereichen der medizinischen und hygienischen Betreuung der Bevölkerung. So schlug er z. B. im Zusammenhang mit dem „damals vielerörterten Scheintod“ die Errichtung von Leichenhallen vor (S. 69). Beeindruckend ist auch die Darstellung des Engagements von Reil für die psychisch kranken Menschen, von dessen Schicksal folgende Äußerung erzählt: „Wir sperren diese unglücklichen Geschöpfe gleich Verbrechern in Tollkoben, ausgestorbene Gefängnisse, neben den Schlupflöchern der Eulen in die Klüfte über den Stadthoren oder in feuchte Kellergeschosse der Zuchthäuser ein, wohin nie ein mitleidiger Blick des Menschenfreundes dringt, und lassen sie daselbst, angeschmiedet an Ketten, in ihrem eigenen Unrath verfaulen. Ihre Fesseln haben ihr Fleisch bis auf die Knochen abgerieben, und ihre hohlen und bleichen Gesichter harren des nahen Grabes, das ihren Jammer und unsre Schande zudeckt.“ (S. 66)

Der Leser erfährt auf diese Weise neben den im Buch gewürdigten reinen wissenschaftlichen Leistungen, die Reil für die Medizin und die medizinische Ausbildung vollbracht hat, auch viel Interessantes über die soziale Lage der damals lebenden Menschen. Aus diesem Grund kann diese Biographie auch all jenen Menschen empfohlen werden, die sich nicht ausschließlich für Medizin interessieren. Allerdings wird das Lesen des Textes dann für diejenigen etwas umständlicher, die sich mit einigen medizinischen Fachbegriffen nicht so gut auskennen. Schon mit einem Griff zum Duden kann dieser Umstand aber auch einen (Allgemein-) Bildungseffekt bewirken. Einen zweiten Aspekt, der das Buch zu den lesenswerten zählen läßt, stellen die Ausführungen zu Reils philosophischen Auffassungen dar (S. 42–60). In gebotener Kürze gelingt es den beiden Autoren in hervorragender Weise, dem Leser einige Grundgedanken der klassischen deutschen Philosophie sowie ihre Wirkung auf das Denken des Mediziners Reil zu erläutern, der als „Anhänger der klassischen deutschen Philosophie . . . ein Mann des bürgerlichen Fortschritts (ist) . . . und Anteil hat an der geistigen Revolution dieser Epoche“. (S. 49)

Zum Abschluß sei noch einmal Reils unbedingter Einsatz für die Verbesserung der hygienischen Bedingungen der Bevölkerung jener Stadt erwähnt, in der er von 1780–1810 gelebt und bleibende Spuren bis in die Gegenwart hinterlassen hat.

„Mit Recht behauptet man, daß in Halle eine äußerst ungesunde Luft herrsche, weil zuviele Umstände zusammenkommen, die dies bewürken.“ (S. 80) Diese Aussage aus dem Jahre 1797, an deren Formulierung Reil mitgewirkt haben soll, scheint auch heute noch zuzutreffen, und muß sicherlich nicht nur auf Halle beschränkt werden. Auch wenn ein Namensverzeichnis im Anhang fehlt, lohnt sich die Lektüre dieses kleinen Bandes auf alle Fälle und ist nicht nur Medizinern bzw. zukünftigen Ärzten zu empfehlen.

Klaus-Dieter Herbst

Aus der Trickkiste: „Der Himmel im Wasserglas“

Blauer Himmel und Sonnenschein erfreuen wohl die meisten Gemüter. Einige weiße Wölkchen ergänzen einen solchen Ferienhimmel. Eine dichte Wolkendecke dagegen läßt die Landschaft durch ihr gräulichweißes Licht recht trostlos erscheinen. Bedrohlich zeigen sich dunkelgraue Gewitterfronten. Der Anblick eines prächtigen Morgen- oder Abendrots kann feierlich stimmen und die Gedanken schweifen lassen.

Die aufgezählten Farbeindrücke vom Himmel sind für uns eine Selbstverständlichkeit, die man allzu schnell auf die den Tag erhellende Sonne zurückführen kann. Gäbe es jedoch keine irdische Atmosphäre, dann gäbe es auch keinen Himmel im Sinne der zuvor genannten Eindrücke. Davon konnten sich die Astronauten, die den atmosphärelosen Mond betreten überzeugen. Ihnen bot sich ein schwarzer Taghimmel mit ruhig leuchtenden Sternen, Planeten und einer scharf abgegrenzt sichtbaren Sonnenscheibe. Auch fallen auf Mondfotos die sehr kontrastreichen Schatten auf, die durch das gerichtete Sonnenlicht und das Fehlen des diffusen Himmelslichtes entstehen. Die Erdatmosphäre streut einen Teil des Sonnenlichtes über den Himmel und verfärbt es dabei. Vor allem Streuprozesse an den Luftmolekülen (Rayleigh-Streuung genannt) und an kleinen Schwebeteilchen mit Durchmessern von ca. 0,1–1 μm (Mie-Streuung genannt), aber auch Reflexion an Wolken sind für das Himmelslicht in der jeweiligen Färbung verantwortlich.

Der folgende einfache Modellversuch soll den Vorgang der atmosphärischen Streuung anschaulich machen und Anlaß zum weiteren Nachdenken sein. Dazu wird der Himmel in ein Becherglas versetzt, welches mit Wasser und darin schwebenden Partikeln der Modellatmosphäre gefüllt ist. Eine helle Lampe dient als Modellsonne und durchleuchtet das gefüllte Becherglas.

Die einfache Versuchsvariante kommt mit einigen Tropfen Milch im Wasser und einer starken Taschenlampe aus. Eine aufwendigere und effektvollere Variante, die sich zur Demonstration vor einem größeren Publikum eignet, soll nachfolgend ausführlicher beschrieben werden. Dazu werden je 100 ml Wasser 2 g Natriumthiosulfat (handelsübliches Fixierbad, Teil A) aufgelöst. Statt der Taschenlampe wird ein Polylux genutzt. Auf diesen legt man zunächst eine, mit einem kreisrunden Loch (Durchmesser ist kleiner oder gleich dem des Becherglases) versehene Pappe, die alles weitere Licht des Polylux abdeckt. Der Versuch beginnt durch das Vermischen der Fixiersalzlösung mit einigen Millilitern verdünnter Salzsäure. Je nach Menge und Konzentration der Salzsäure entwickelt sich in Form einer Ausfällung die Modellatmosphäre. Im Verlaufe der Ausfällungsreaktion entstehen immer mehr (und teils auch größere) Streuzentren, so daß auch ein Wandel im optischen Erscheinungsbild stattfindet. Zu Beginn wird das Becherglas, der Modellhimmel, in zunehmend bläulichem Licht erscheinen. Die projizierte Modellsonne bleibt dabei nahezu gelblichweiß. Mit fortschreitender Ausfällung wird sich das Licht der Sonnenscheibe zunehmend verröten. Zuletzt zeigt sich nur ein weißlich leuchtender Modellhimmel ohne sichtbare Sonne.

Einige für die Färbung des Himmelslichtes wesentliche Vorgänge finden auch in der Modellatmosphäre statt. Abschließend sei auf diese kurz eingegangen.

Die Blaufärbung unseres Himmels ist eine Folge der Streuung des Sonnenlichts an den Molekülen der Luft. Diese ist stark wellenlängenabhängig (Streulichtintensität ist proportional zur vierten Potenz der Frequenz), so daß die hochfrequenten Strahlungsanteile (im sichtbaren Teil des Spektrums: blau, grün) gegenüber den niederfrequenten Anteilen (gelb, rot) bedeutend stärker gestreut werden und die Luftschichten über dem Beobachter durchsetzen. Ebenso werden die blauen Anteile des Polyluxlichtes besonders stark an den Molekülen der Ausfällung im Becherglas herausgestreut.

Wird der Weg der Sonnenstrahlung durch die Atmosphäre hingegen sehr lang, wie es bei Sonnenaufgang und -untergang der Fall ist, so sind die hochfrequenten Anteile des direkten Sonnenlichts so stark geschwächt (viele Streuungen und Absorption), daß jetzt die niederfrequenten Anteile dominieren. Eine rötliche, weitaus weniger intensiv leuchtende Sonnenscheibe ist am Horizont zu sehen. Im Versuch ändert sich zwar der geometrische Weg des Lichtes durch die Modellatmosphäre nicht, die Zahl der streuenden Moleküle nimmt aber zu (das Medium wird in seiner optischen Wirkung dicker), und damit auch die Verrötung der Modellsonne.

Morgen- und Abendrot sind Erscheinungen, die erst durch den Dunst in der Atmosphäre, also durch die Mie-Streuung zur Wirkung kommen. Durch die langen Lichtwege sind die Luftschichten über dem Beobachter von rötlichem Licht durchsetzt. Durch die stark bevorzugte Vorwärtsstreuung an den Dunstteilchen kommt es dazu, daß gerade aus der Richtung der Sonne dieses rötliche Himmelslicht zu sehen ist. Ob dieser Effekt im Versuch auch beobachtbar ist?

Bei dichter Wolkendecke ist die Sonne nicht mehr zu sehen. Eine Vielfachstreuung des Sonnenlichtes an den Wolkentröpfchen (Mie-Streuung) führt dazu, daß keine bevorzugte Richtung mehr auftritt. Die Wolken erscheinen weiß (mit Ausnahme von dunklen Regenwolken), weil die Mie-Streuung nur schwach frequenzabhängig ist ($\sim f$). Die Himmelshelligkeit,

die von der Sonne „gespeist“ wird, ist meist größer als bei wolkenlosem Himmel. Sehr große und dichte Wolken (Gewitterwolken) absorbieren einen großen Teil der Strahlung, so daß nur noch gräulichweißes Licht von diesen kommt. Der Versuch endet sozusagen mit dichter Bewölkung des Modellhimmels als Ergebnis der weit fortgeschrittenen Ausfällung.

Wir wünschen Euch viel Spaß beim Experiment und fortan den richtigen Blick für den Himmel.

Olaf Fischer

Literatur: Brockhaus, ABC der Optik, VEB F. A. Brockhausverlag Leipzig, Sachwörter: Himmelslicht, Dämmerungsercheinungen, Streuung, Rayleigh-Streuung, Mie-Streuung.

