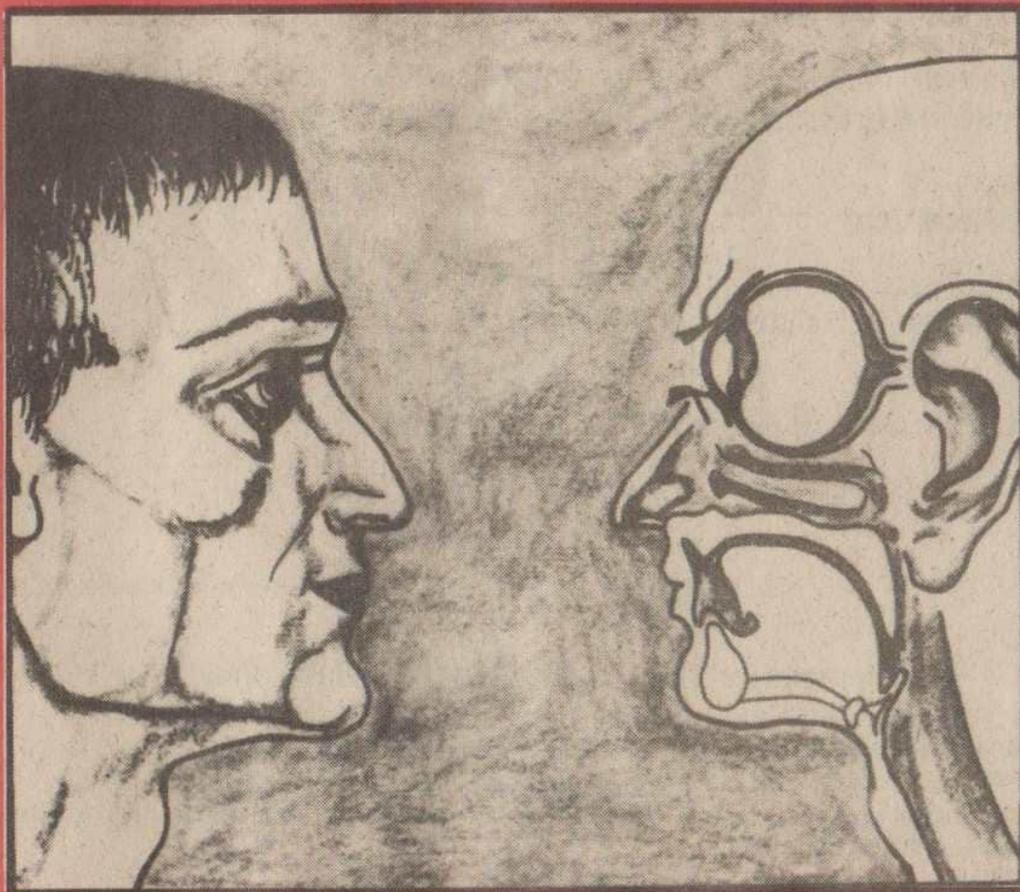


# impuls 68

Schülerzeitschrift  
für Physik, Chemie  
und Biologie

INDEX 322004 · ISSN 0232-9220 · 24. JAHRGANG · PREIS: 0,60 M



1/90

# impuls 68



Leitartikel, Literaturtips .....	3
<i>Burkhard Fleck</i> Durch die Augen in den Sinn .....	4
<i>Norbert Gutmann</i> Der Geruchssinn des Menschen .....	9
<i>Gunter Kaiser</i> Das menschliche Ohr .....	15
<i>Dr. Dieter Martinetz</i> Geheimnisumwitterte Halluzinogene .....	24
<i>Lars Kästner</i> Schülerzeitung in Gera, Wissenswertes (Fortsetzung) .....	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: 14. 11. 1989

Titelfoto:

**LIEBE LESER!**

Mit dem vorliegenden Heft wollen wir versuchen, ein neues Gestaltungskonzept für **impuls 68** durchzusetzen. Das Ziel dabei ist, größere Themenkomplexe in jeweils einem Heft zu behandeln. Wir haben uns entschlossen, den Anfang mit der Funktionsweise der Sinnesorgane des Menschen zu machen. Denn der menschliche Organismus steht nicht nur in einem ständigen Stoff- und Energieaustausch mit seiner Umwelt, sondern auch in einem ständigen Informationsaustausch. Aber über die Wirkungsweise der Organe, die diese Aufgabe erfüllen, ist oft nur wenig bekannt. Wie zum Beispiel arbeitet das Auge? Wie funktioniert unser Ohr? Aus welchem Grund können wir Gerüche unterscheiden?

Auf diese Fragen versuchen die Beiträge dieses Heftes eine Antwort zu geben.

Wichtig für uns als Redaktion von **impuls 68** ist nun Eure Meinung zu diesem Vorhaben. Seit dem Erscheinen von Heft 2/89 und Heft 3/89 konnten wir einen erfreulichen Zuwachs an Leserpost verzeichnen. Wir hoffen, daß dieser Trend auch weiterhin anhält. Denn nur so sind wir in der Lage, die Inhalte der Hefte so zu gestalten, daß ein großer Leserkreis angesprochen wird.

Und wer von Euch Lust hat, selber mal einen Beitrag zu liefern, sollte sich ruhig an uns wenden!

Übrigens, um die Neugier auf Heft 2/90 zu wecken, kurz ein Hinweis auf den Inhalt. Dieses Heft wird sich hauptsächlich mit der Problematik der Energiequellen beschäftigen.

Burkhard Fleck

**Literaturtips: Interessante Beiträge aus anderen Zeitschriften**

„spectrum“ (Monatszeitschrift der AdW der DDR)

1/89 Yuri G. Puzachenko, Kirill Zykov: „Observatorien für Umwelt – Monitoring“

2/89 Wolfgang Förster: „Wenn Erde fließt“ (Tagebauprobleme)

Alfred Zimm, Konrad Scherf: „Knoten und Bänder im Territorium“ (Städteentwicklung DDR)

Achim Sydow: „Computersimulation für den Umweltschutz“

Klaus Volke: „Chemie im alten Ägypten“

3/89 Hans-Dieter Nagel, Manfred Graf: „Belastungsgrenzen für Stickoxide“

Rudolf Schubert: „Ökologie: Projekte und Perspektiven“

Reiner Machholz: „Natürlich = gesund?“

Hellmut Baumgärtel: „Warum passen mathematische Strukturen auf die Natur?“

4/89 Robert Rompe, Hans-Jürgen Treder: „Elementarkonstanten und die Technik“

Reinhard Renneberg: „Biosensoren – die Zelle als Vorbild“

Armin Ermisch, Jörg Heß: „Lernen und Evolution“

5/89 Karl Rambusch: „Christa Wolf, Friedrich Dürrenmatt und die Kernenergie“

**Burkhard Fleck**  
**Friedrich-Schiller-Universität Jena**  
**Sektion Physik**

## DURCH DIE AUGEN IN DEN SINN

Jeden Tag nehmen wir bewußt oder unbewußt eine Unmenge von Informationen über unsere Augen auf. Wir lesen Bücher und Zeitungen, orientieren uns mit unseren Augen in unserer Umwelt. Wer macht sich aber schon Gedanken darüber, wie diese wichtigen Sinnesorgane eigentlich funktionieren? Wie kommt es, daß wir unsere Umwelt überhaupt sehen? Weshalb erscheint uns das, was wir sehen, bunt? Auf einige dieser Fragen will dieser Artikel versuchen, Antwort zu geben.

Die Reize, auf die das Auge anspricht, sind die elektromagnetischen Wellen mit einer Wellenlänge von ca. 400–760 nm, die man

allgemein als sichtbares Licht bezeichnet. Dieser Bereich ist allerdings nur sehr klein verglichen mit dem gesamten Spektrum der elektromagnetischen Wellen, wie es in Abbildung 1 dargestellt ist.

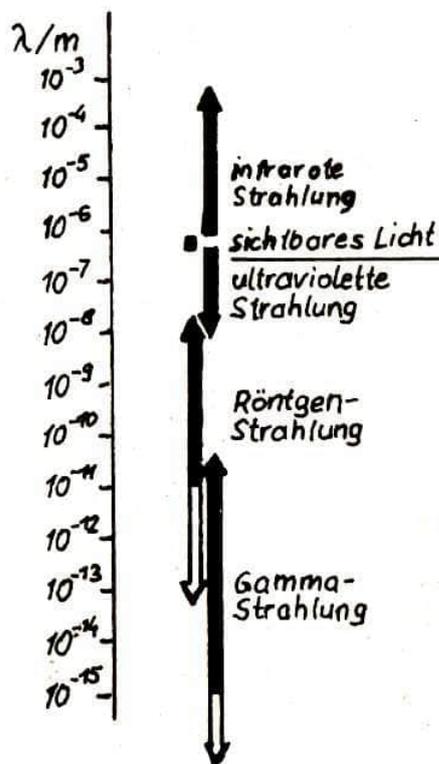


Abb. 1

Um die Funktionsweise des Auges zu verstehen, d. h. , wie die im Licht enthaltenen Informationen aufgenommen werden, muß man sich zunächst einmal mit dem Aufbau dieses Organs vertraut machen. In Abb. 2 ist ein waagerechter Schnitt durch das Auge dargestellt.

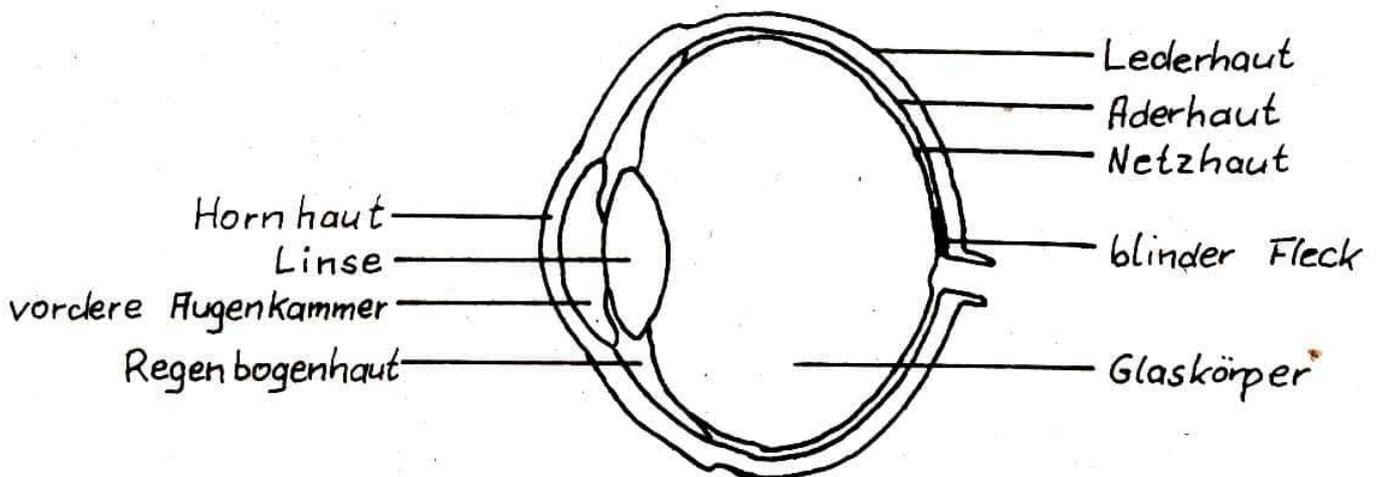


Abb. 2

Der Augapfel hat annähernd Kugelform. Er ist mit einem abbildenden System versehen, welches in seiner Wirkungsweise den Objektiven in Fotokameras vergleichbar ist. Durch Muskeln kann er nach allen Richtungen bewegt werden. Die Lederhaut als äußere Hülle schützt den Augapfel vor Verletzungen. Im vorderen Teil ist diese Haut durchsichtig und wird als Hornhaut bezeichnet. In ihrem Innern ist sie mit der Aderhaut ausgekleidet. Dieser Teil dient der Ernährung des Auges und schützt auch gleichzeitig durch eingelagerte Farbstoffe (Pigmente) das Augeninnere vor Streulicht. Im vorderen Teil geht die Aderhaut in die mit einem Loch (Pupille) versehene Regenbogenhaut (Iris) über.

Bei starkem Lichteinfall und beim Sehen in der Nähe wird die Pupille unbewußt verkleinert und bei geringem Lichteinfall und Sehen in die Ferne vergrößert. Diese unbewußte Veränderung der Größe der Pupille ist notwendig, um den Lichteinfall zu regulieren.

Im Innern des Auges befindet sich die Linse. Sie teilt den Augapfel in die vordere Augenkammer und den Glaskörper. Mittels dieser Linse, deren Brennweite durch Muskeln verändert werden kann, wird das durch die Hornhaut und die Pupille eintretende Licht scharf auf die Netzhaut abgebildet.

Diese Netzhaut ist die innerste der drei Schichten, von denen der Augapfel umhüllt wird. Sie ist der eigentlich lichtempfindliche Teil des Auges. Da die Bildweite, d. h. der Abstand Linse – Netzhaut fest gegeben ist, wird die Objektweite (Abstand Objekt – Linse) durch Veränderung der Brennweite der Linse reguliert. Man kann sich das leicht klar machen, wenn man sich die Linsengleichung ins Gedächtnis ruft:

$$1/f = 1/g + 1/b$$

$g$  – Objekt- oder Gegenstandsweite;  $b$  – Bildweite;  $f$  – Brennweite

Diese Brennweitereinstellung durch die Muskeln ist auf ein bestimmtes Intervall beschränkt, das auch vom Alter abhängt. Je älter der Mensch wird, desto mehr nimmt die Elastizität der Linse ab und das Intervall der Brennweitenänderung verkleinert sich. Das ist der Grund, warum die meisten Menschen ab ca. dem 40. Lebensjahr eine Brille benötigen, um nahe Gegenstände zu erkennen (Alterssichtigkeit). Im Ruhezustand, d. h. ohne das Auge anzu-

strengen und die Linse zu verändern, beträgt der Abstand eines betrachteten Objekts vom gesunden, normalsichtigen Auge etwa 25 cm.

Mit diesem beschriebenen optischen System wird auf der Netzhaut ein Bild erzeugt, das im Gehirn verarbeitet werden muß. Wie gelangt nun diese Information in unser Gehirn? Eine Antwort darauf gibt der Aufbau der Netzhaut. Sie besteht aus einer sehr großen Anzahl lichtempfindlicher Zellen, den sogenannten Stäbchen und Zäpfchen. Die Dichte, d. h. die Anzahl pro Fläche, dieser Rezeptoren ist auf der Netzhaut unterschiedlich. Die größte Anzahl von Zäpfchen befindet sich auf der der Pupille gegenüberliegenden Seite des Augapfels. Der Abstand der Zäpfchen in diesem Gebiet beträgt ca. 0,004 mm. Deswegen ist das Auflösungsvermögen dort am höchsten. Der Grund dafür ist, daß die Abbildung zweier Punkte auf der Netzhaut auch zwei verschiedene Nervenzellen treffen muß. Passiert das nicht und wird nur eine Nervenzelle gereizt, entsteht nämlich der Eindruck *eines* leuchtenden Punktes. Man kann sich ein Bild von der Leistungsfähigkeit des Auges machen, wenn man bedenkt, daß zwei Punkte in einem Abstand von 1 m aufgelöst werden, wenn zwischen ihnen ein Abstand von 0,3 mm existiert. Entfernt man sich weiter von dieser Stelle des schärfsten Sehens, dann nimmt die Anzahl der Zäpfchen ab und das Auflösungsvermögen verringert sich. Aus diesem Grund wird zum Beispiel beim Lesen das Auge nachgeführt, damit das interessierende Bild immer auf die Stelle des schärfsten Sehens fällt.

Auf einer Stelle der Netzhaut befinden sich sogar überhaupt keine Nervenzellen. Dies ist die Stelle, wo der Sehnerv in das Auge eintritt. Warum bemerken wir gewöhnlich diesen sogenannten blinden Fleck nicht? Diese Frage ist sehr einfach zu beantworten. Normalerweise betrachten wir alle Objekte gleichzeitig mit beiden Augen! Daß es ihn trotzdem gibt, zeigt folgendes einfache Experiment. Wenn man das rechte Auge schließt und mit dem linken Auge das Kreuz in Abb. 3 fixiert, verschwindet bei einer Entfernung des Heftes vom Auge von etwa 20 cm der schwarze Punkt, weil dann dessen Bild auf den blinden Fleck fällt.

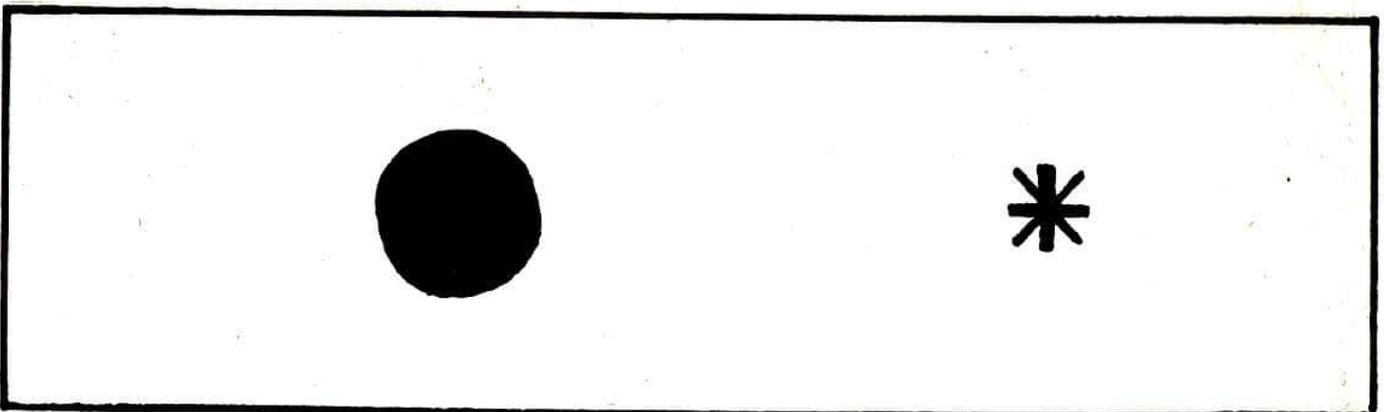


Abb. 3

Warum existieren nun aber eigentlich zwei verschiedene Sorten von Nervenzellen in der Netzhaut, nämlich Stäbchen und Zäpfchen? Um darauf eine Antwort zu finden, muß man zunächst etwas weiter ausholen und sich mit dem Begriff der Empfindlichkeit des Auges vertraut machen. Dabei versteht man unter der Empfindlichkeit allgemein die Fähigkeit, den durch einen Lichtstrom hervorgerufenen Reiz als Helligkeit bestimmter Stärke zu empfinden. Die untere Grenze der Energie, auf die unser Auge anspricht, beträgt ungefähr  $2 \times 10^{-17}$  J! Dazu muß das Auge aber lange Zeit vorher schon an die Dunkelheit angepaßt sein (Dunkeladaption). Dieses Problem der Dunkeladaption wird einem deutlich, wenn man sich überlegt,

was passiert, wenn man an einem sonnigen Tag plötzlich ein verdunkeltes Zimmer betritt. Im ersten Moment sieht man gar nichts und erst langsam gewöhnt man sich an die Dunkelheit. Untersuchungen haben ergeben, daß die Netzhautgrube mit ihrer Vielzahl von Zäpfchen nicht der lichtempfindlichste Teil der Netzhaut ist, sondern danebenliegende Bereiche. In diesen Bereichen befinden sich mehr Stäbchen, so daß man davon ausgehen kann, daß diese Rezeptoren die empfindlichsten Sinneszellen des Auges sind. Das Sehen bei schwacher Beleuchtung (Dämmerungssehen) erfolgt also über die Stäbchen. Allerdings sind diese nicht in der Lage, auf Farbreize zu reagieren, so daß man in der Dämmerung keine Farben unterscheiden kann. Der Ausspruch, „in der Nacht sind alle Katzen grau“, hat seinen Ursprung sicher in dieser Eigenschaft.

Wie nun der eigentliche Sehvorgang verläuft, ist ein sehr komplizierter chemischer Prozeß. Die Sinneszellen enthalten die chemische Verbindung Rhodopsin (Sehpurpur). Dieser Stoff ist in der Lage, unter Lichteinfluß seine Struktur zu ändern. Der eigentliche Sehreiz, der dann in das Gehirn geleitet und dort verarbeitet wird, entsteht wahrscheinlich dadurch, daß die entstehende neue Verbindung Metallionen binden kann, was natürlich zu einer Veränderung der Metallionenkonzentration und damit zu einer Veränderung des elektrochemischen Potentials führt. Für die Umwandlung des Rhodopsins ist Licht mit einer Wellenlänge von ca. 500 nm besonders gut geeignet. Das ist auch der Grund, warum unser Auge besonders empfindlich auf grün reagiert. Diese Erscheinung kennt jeder Fotoamateur, der öfters in der Dunkelkammer arbeitet. Grüne bzw. rote Lampen mit der gleichen Leistung werden als unterschiedlich hell empfunden.

Wie kommt es nun aber, daß wir mit den Zäpfchen in der Lage sind, Farben zu unterscheiden? Eine Theorie, die eine vollständige und befriedigende Erklärung liefern würde, gibt es noch nicht. Eine weit verbreitete Annahme ist die Dreifarben-theorie, die schon auf TH. YOUNG (engl. Physiker, Mediziner und Ägyptologe, 1773–1829) zurückgeht. Dabei wird angenommen, daß es in der Netzhaut drei verschiedene farbempfindliche Organe auf den Zäpfchen gibt, von denen die einen rot-, die zweiten grün- und die dritten blauempfindlich sind. Trifft nun einfarbiges Licht, wie es zum Beispiel ein Laser aussendet, auf unser Auge, so werden alle drei Organe erregt, aber je nach Farbe des Lichts unterschiedlich. Zum Beispiel erregt das rote Licht des He-Ne-Lasers vor allem die rotempfindlichen Organe, die anderen dagegen nur schwach. Die Empfindung des weißen Lichts ist in diesem Modell durch die gleichmäßige Erregung aller drei farbempfindlichen Organe erklärbar.

Wieso erscheinen uns nun aber die Gegenstände unserer Umgebung farbig? Da sie selbst meist kein Licht aussenden, müssen sie ein Teil des auf sie fallenden Lichtes reflektieren. Erscheint uns zum Beispiel ein Gegenstand im Sonnenlicht grün, so ist das ein Zeichen dafür, daß im Sonnenlicht bereits dieses grüne Licht enthalten war und nun von diesem Gegenstand reflektiert wird, während der restliche Teil absorbiert wird. Damit uns also Gegenstände mehrfarbig erscheinen, müssen sich im Spektrum der zur Beleuchtung dienenden Quelle bereits verschiedene Farben befinden. Ist das nicht der Fall, erscheint uns unsere Welt ziemlich farblos. Das ist zum Beispiel so bei Beleuchtung mit Natriumdampf-lampen. Auf Grund der spektralen Zusammensetzung dieses Lichts erscheinen uns Personen sehr verändert, so besitzen sie gelbliche Gesichter und schwarze Lippen, da der Eindruck roter Lippen die Farbe rot im Spektrum der Lichtquelle voraussetzt, die bei dieser Lichtquelle nicht vorhanden ist.

Außerordentlich interessant ist noch folgende Feststellung. Die relative spektrale Empfindlichkeit des Auges ist für das Sehen mit den Stäbchen und den Zäpfchen unterschiedlich. Während das Maximum für das Dämmerungssehen mit den Stäbchen auf Grund der Eigen-

schaften des Rhodopsins bei ca. 500 nm liegt, beträgt dieser Wert für das Sehen bei hohen Intensitäten, also das Zäpfchensehen, ca. 555 nm. Diese Wellenlänge ist aber auch an der Erdoberfläche im Sonnenspektrum am intensivsten. Vermutlich kam es im Verlauf der Entwicklungsgeschichte des Menschen zu dieser Optimierung des Sinnesorgans Auge.

Damit soll nun dieser Artikel schließen. Es versteht sich von selbst, daß nur ganz wenige Fragen, die das Auge betreffen, angerissen werden konnten. Andere, wie z. B. das stereoskopische Sehen oder Probleme der optischen Täuschungen wurden ganz bewußt nicht angesprochen. Vielleicht hat aber der eine oder andere Leser Lust bekommen, sich weiterhin mit diesen Fragen zu beschäftigen. Auf Wunsch kann die Redaktion interessierten Lesern ein weiterführendes Literaturverzeichnis zusenden.

## ANEKDOTE

### Warum ein Stuhl beinahe ein hübsches Mädchen erschlug

Die Historiographie (Geschichtsbeschreibung) weiß viel über großartige Entdeckungen und Erfindungen in Wissenschaft und Technik zu berichten. Diese leuchtenden Seiten der menschlichen Entwicklung sind aber oft im Vorfeld mit Irrtümern, Leid und Entbehrungen vieler Wissenschaftlergenerationen verbunden und nicht selten haben Forscher ihr Streben nach neuem Wissen mit dem Leben bezahlt. Aber auch Amüsantes bietet die Wissenschafts- und Technikgeschichte, so z. B. im Zusammenhang mit den ersten Ballonfahrten von Menschen um 1800 in Frankreich.

Am 21. November 1783 erhoben sich zum erstenmal Menschen mit einem Ballon in die Luft, um Häuser, Tiere, Bäume und ihre Zeitgenossen aus luftiger Höhe zu beobachten. Der Ballon wurde von den zwei Brüdern Montgolfier gebaut und mit heißer Luft gefüllt.

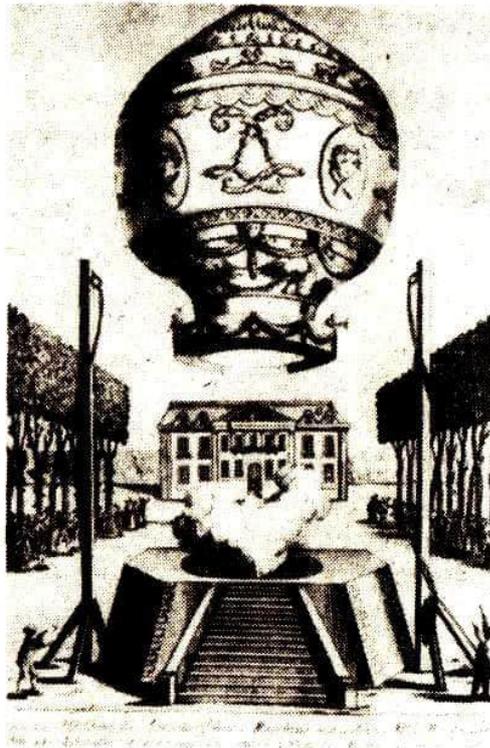


Abbildung: Die erste Luftfahrt von Menschen mit einem Heißluftballon 1783 in Paris

Interessant ist, was die beiden Brüder auf die entscheidende Idee gebracht hatte: „Am  
(Fortsetzung auf S. 23)

**Norbert Gutmann**  
**Friedrich-Schiller-Universität Jena**  
**Sektion Chemie**

## DER GERUCHSSINN DES MENSCHEN

„Eine Rose ist eine Rose, ein Stinktier ist ein Stinktier, und nur die Nase vermittelt uns den Unterschied.“

J. E. Amoore

### 1. Einordnung des Geruchssinns

Die klassischen fünf Sinne, die man beisammen haben muß, um als vernünftiger Mensch zu gelten, sind auf die heute vielleicht noch unvollständige Zahl acht erweitert (Gesicht, Gehör, Gleichgewicht, Hautsinne wie Druck, Temperatur und Schmerz, Geruch und Geschmack). Der Geruch und der Geschmack gelten dabei als „chemische Sinne“. Diese Zuordnung stützt sich auf die Annahme, daß sowohl beim Geruch als auch

beim Geschmack der sensorische Primärprozeß durch chemische Bindung von Schmeck- bzw. Riechstoffen an der Oberfläche von Rezeptormembranen eingeleitet wird. Beide klassifiziert man als niedere Sinne, was keinesfalls als Abwertung zu betrachten ist. Denn im Gegensatz zu den höheren Sinnen wie Gesicht und Gehör vermitteln beide rational weniger scharfe, etwas verschwommene Eindrücke, wirken sich deswegen jedoch mit tieferen Angriffen am Gemüt (Emotionalität, Affektionalität) aus. Im Gegensatz zum Geschmack ist der Geruch ein chemischer Fernsinn, d. h. er vermag durch die Luft herantransportierte Duftstoffmoleküle wahrzunehmen, die sehr weite Entfernungen zurückgelegt haben können. Der Geruch dient somit auch der Fernorientierung der Lebewesen im Raum. Der Mensch ist in der Lage, mehrere tausend Gerüche zu unterscheiden und lange Zeit im Gedächtnis zu speichern. Allerdings ist der menschliche Geruchssinn im Hinblick auf sein Schwellwertverhalten den Geruchsleistungen vieler Tiere unterlegen.

### 2. Zur Anatomie und Physiologie des Riechens

Ein jeder Sinneskanal beginnt in der Peripherie mit Rezeptor- oder Sinneszellen, die über neuronale Leitungsbahnen mit zentralnervösen Projektionszentren auf der Hirnrinde verbunden sind. Die Sensorzellen sorgen für eine Umwandlung eines Umweltreizes in eine organismusinterne Erregung, d. h. die Information über Qualität und Quantität des Reizes wird in eine geeignete Verschlüsselung gebracht.

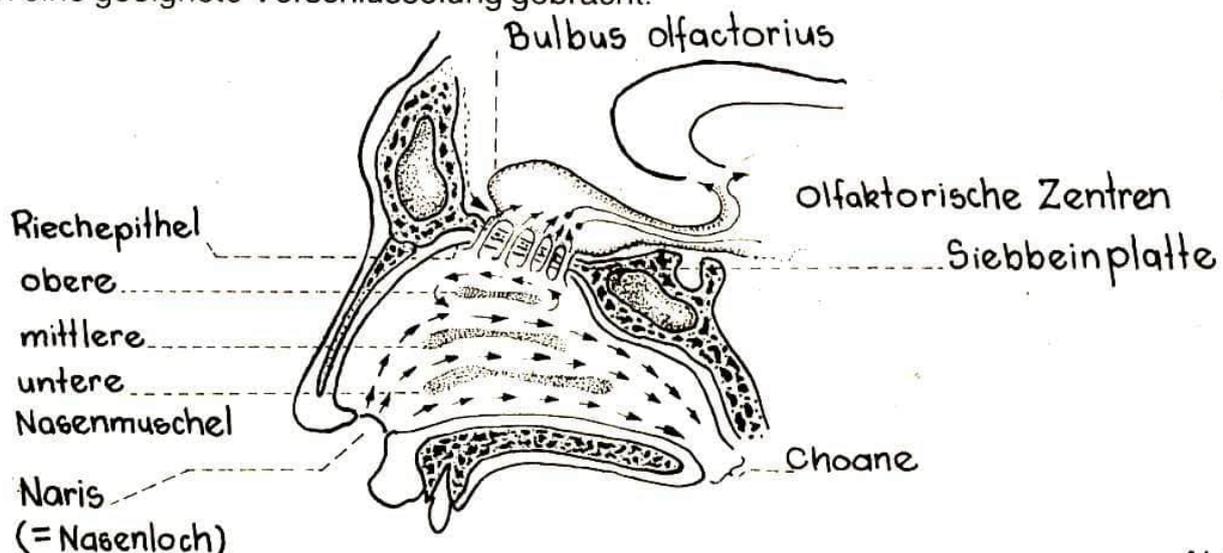


Abb. 1

Beim Menschen liegen ca. 10–25 Mill. Riechzellen in der beiderseits je etwa  $2,5\text{ cm}^2$  großen „Riechregion“ (Regio olfactoria) in der Riechspalte der oberen Nasenkuppel (Abb.1). Von den Seitenwänden der beiden Nasenhöhlen ragen jeweils drei Nasenmuscheln gegen die Nasenscheidewand. Sie bestehen aus einem Knochen mit schwellungsfähigem Schleimhautüberzug und vergrößern die Oberfläche der Nasenhöhle zur besseren Erwärmung und Anfeuchtung der eingeatmeten Luft. Unter jeder Nasenmuschel bleibt ein Nasengang frei, durch den die Atemluft von den Nasenlöchern zu den „Choanen“ strömen kann. Das sind die zum Schlund führenden hinteren Nasenöffnungen. Oberhalb der drei Nasengänge und oberhalb der oberen Nasenmuschel liegt die Nasenkuppel mit Riechspalte und Riechepithel. Diese Nasenregion soll nur rückläufig belüftet werden können, und zwar am besten dann, wenn die Luft zur Turbulenzbildung beschleunigt eingesogen und gar beim „Schnüffeln“ hin- und herbewegt wird. Die Riechzellen als Elemente des Nervensystems (= Riechneurone) sind ähnlich den Geschmackszellen mit Stütz- und Basalzellen durchsetzt und unterliegen einer ständigen Regeneration (s. Abb. 2). Ihre Halbwertszeit beträgt ungefähr 10 Tage. Wie alle Neuronen (Nervenzellen) sind sie selbst nicht mehr teilungsfähig, wenn sie ihre volle Leistungsfähigkeit erreicht haben. Dagegen behalten aber die Basalzellen ihre embryonale Teilungsfähigkeit und produzieren Tochterzellen, die sich zu vollwertigen Riechzellen entwickeln. Die älter gewordenen Geschwisterzellen sterben immer wieder ab. Die Riechzellen selbst besitzen in ihrem Zellkörper keine Synapsen zur Ankopplung, sondern laufen basal in je einem Axon aus. Die Gesamtheit ihrer Axone bündelt sich zu etwa 100 Riechfasern, die jeweils 1000–10000 Riechzellenaxone enthalten. Sie durchbrechen in der Siebbeinplatte die knöcherne obere Abdeckung der Nasenkuppel zum Gehirn hin. An ihren der Nasenhöhle zugewandten Enden sind die Riechzellen aufgetrieben. Diese geißelförmigen Fortsätze ohne Eigenbeweglichkeit werden Riechhärchen (Cilien oder Mikrovilli) genannt. Sie liegen in einer von den Browmanschen Drüsen ständig produzierten Schleimhautschicht. Der Schleim scheint nicht nur dem Schutz, sondern auch der Funktionsfähigkeit des Riechepithels zu dienen. Geruch und Geschmack wirken sehr eng zusammen. So entläßt beispielsweise der Mundinhalt Riechstoffmoleküle über den Rachen zum Riechepithel, so daß das Aroma von Speisen und Getränken wahrgenommen werden kann. Fehlt diese Geruchsbeileitung beim Schmecken, so ist dies unweigerlich mit Geschmackseinbußen verbunden.

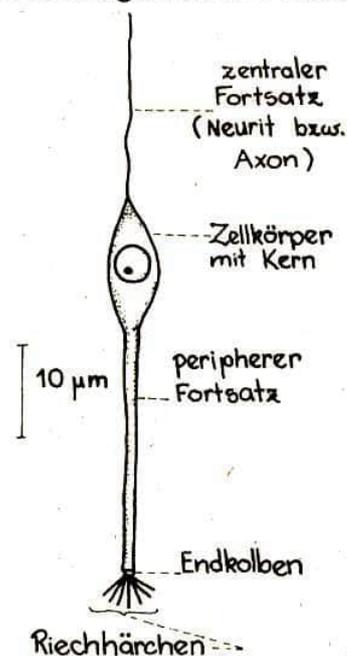


Abb. 2

### 3. Primärvorgang des Riechens

Die Verschlüsselung eines Reizes durch die Sensorzelle in eine organismusinterne Erregung stellt den Beginn einer Sinneserregung dar. Sie äußert sich in einem *Sensorpotential* der Sensorzellen, dessen Amplitude die Information über die Intensität des auslösenden Reizes enthält. Über die Reizqualitäten informieren meist unterschiedliche Sensoren bestimmter lokaler Anordnung. Unter dem Sensorpotential ist im allgemeinen eine Depolarisation der im erregungsbereiten Zustand polarisierten, d. h. elektrisch geladenen, Zellmembran zu verstehen. Das Potential im Zellinnern ist im Ruhezustand um rund 60–90 mV negativ gegenüber der Zelloberfläche. Dieses Ruhemembranpotential verschiebt sich je nach Reizintensität um 0,1–25 mV. Ab einem bestimmten Schwellwert ist das ausreichend, um Aktionspotentiale (Potentialunterschied zwischen erregtem und unerregtem Zellgewebe) auf dem Axon auszulösen. Dabei erfolgen nur 1–2 ms dauernde Depolarisationen der Axonmembran, die sich mit Geschwindigkeiten bis zu 120 m/s vorwärtsbewegen. Beim Sensorpotential ist die Reizintensität in der Amplitude, bei den Aktionspotentialen in der Frequenz verschlüsselt. Beim Riechen wird angenommen, daß der Primärprozeß durch Bindung von Riechstoffmolekülen an chemische Oberflächenstrukturen der Cilien ausgelöst wird. Die Riechzellendepolarisation ist tierexperimentell untersucht und belegt. Riechzellen haben ein relativ niedriges Ruhepotential von –60 bis –30 mV, wodurch die Spontanentladungsfrequenz auf den zugehörigen Axonen von ca. 10 Hz (in unregelmäßigen Zeitabständen) angehoben wird, und zwar in Abhängigkeit vom Depolarisationsgrad der rezeptiven Membran bzw. von der Konzentration des auslösenden Riechstoffs.

Duftstoffe müssen auf Grund ihrer Konfiguration wie Schlüssel in Schlösser passen, die durch duftstoffspezifische Rezeptoren auf der Riechzellenmembranoberfläche gebildet werden.

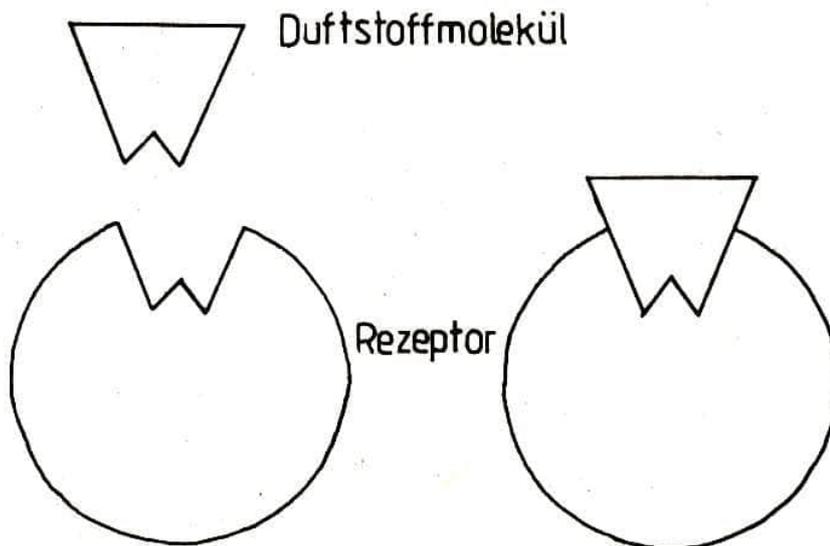


Abb. 3

Jahrhundertlang ist die Frage nach der Anzahl an Geruchsqualitäten umstritten gewesen. Sie bewegt auch heute noch die Gemüter, obwohl man sich weitgehend auf sieben Grundgerüche geeinigt hat. Abb. 3 verdeutlicht modellhaft dieses Prinzip, Tabelle 1 zeigt eine Übersicht über die sieben Duftklassen bzw. Primärgerüche. Mit Hilfe dieser Klassifizierung können viele physiologische Riechphänomene erklärt werden (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Geruchsqualitäten nach J. E. Amoore und Beispiele einiger sie auslösender Duftstoffe

Primärgeruch	Chemische Reizsubstanz	Alltagsgeruch
1. ätherisch	1,2-Dichlorethan, Benzylacetat	Fleckenwasser
2. kampferartig	Kampfer, 1,8-Cineol	Mottenpulver
3. moschusartig	Ringketone mit 15 bis 17 C-Atomen	Angelika – Wurzelöl
4. blumig	alpha-Ionon, beta-Phenyl- alkohol	Rose
5. minzig	L-Menthol	Pfefferminzbonbon
6. stechend	Ameisensäure, Essig- säure	Essig
7. faulig	Schwefelwasserstoff Ethylmercaptan	faule Eier
8. schweißig, ranzig	Buttersäure, Isovalerian- säure	ranzige Butter

(8. wird von Amoores Klassifikation nicht erfaßt, kann aber durch Mischung hergestellt werden.)

#### 4. Zur Psychophysik des Geruches

Als die für Geruchsstoff und Testperson spezifischen Kenngrößen unterscheidet man eine Empfindungsschwelle (auch Wahrnehmungs- oder Absolutschwelle genannt) und eine Erkennungsschwelle. Riechstoffe, die ausreichend flüchtig, daneben aber auch wasser- und in gewissem Maße fettlöslich sein müssen, werden in sehr geringen Darbietungskonzentrationen zunächst gar nicht bemerkt; sie wirken unterschwellig. Steigert man die Konzentration an Riechstoff, so daß die Empfindungsschwelle für diesen Riechstoff überschritten wird, wird die Testperson angeben, daß sie jetzt etwas merkt, ohne genau sagen zu können, was es eigentlich ist. Bei einer noch höheren Konzentration (manchmal bis zu Faktor 10) wird schließlich die Erkennungsschwelle erreicht, d. h. die Testperson kann angeben, was sie riecht. Die Benennung einer Geruchsempfindung ist im Gegensatz zu Gesicht und Gehör meist wesentlich schwieriger. Typisch für das Fehlen rationaler Klarheit beim „niederen“ Sinn Geruch ist die Tatsache, daß keinerlei geruchsspezifische Worte in unserer Sprache existieren. Vielmehr werden Begriffe aus dem visuellen System übernommen, z. B. Geruchsblindheit (Anosmie).

Beide Schwellen können z. T. in erheblichem Maße in Abhängigkeit vom Geruchsstoff und von der Testperson schwanken. Schwellensenkungen, d. h. Empfindlichkeitssteigerungen treten z. B. im Verlauf des Menstruationszyklus auf. Frauen im gebärfähigen Alter haben ziemlich genau in der Mitte zwischen zwei Menstruationsblutungen, d. h. zur Zeit des Eisprungs nicht nur für etwa 36 h ein Optimum der Empfängnisfähigkeit, sondern auch gleichzeitig eine Absenkung der Reizschwelle für moschusartige Gerüche auf 1/1000 des sonstigen Wertes. Moschusartig riechen aber auch diejenigen Sexualhormone und deren Abbau-Produkte, die der Mann in seinem Urin ausscheidet.

Schwellenabsenkungen scheinen heute häufiger zu sein als früher. Krankhafte Schwellen-

steigerungen oder gar Anosmie sind in den seltensten Fällen angeboren. Eher kann ein Unfall zum Abriß von Riechfasern führen. Am häufigsten treten Störungen des Reiztransportes zum Riechepithel auf, z. B. durch Schwellung der Nase bei Schnupfen, Heuschnupfen, Polypen oder stärkeren Verbiegungen der Nasenscheidewand. Oft ist auch eine toxische Schädigung von Riechepithel und Riechbahn nicht auszuschließen.

Als Hyperosmien werden krankhafte Schwellenabsenkungen bezeichnet. Sie sind äußerst selten. Vor allem bei älteren Menschen treten gelegentlich Kakosmien auf, d. h. subjektiv werden üble Gerüche wahrgenommen oder es kommt zu Verfälschungen an sich neutraler oder angenehmer Gerüche in unangenehme ohne Einwirkung des entsprechenden Riechstoffes. Länger einwirkende Reize wirken im Laufe der Zeit allmählich immer weniger stark und sind schließlich gar nicht mehr wahrnehmbar. In physiologischer Hinsicht kommt es durch verschiedene Mechanismen zu dieser letztendlich identischen Auswirkung. Man differenziert diesen Prozeß in Rezeptoradaption und Habituation. Unter Rezeptoradaption versteht man einen Stoffwechselprozeß im Sinne einer Anpassung der Sinneszellen am Anfang des Sinneskanals, unter Habituation einen vergleichbaren Prozeß mit Erregungsverminderung an den weiteren Gliedern des Sinneskanals. Die Rezeptoradaption kommt zum Ausdruck, wenn die Zeitverläufe von Reizeinwirkung und Sensorpotential der Sinneszelle verglichen werden: die Reizantwort im Sensorpotential „schießt“ anfänglich über die reine reizintensitätsproportionale Wiedergabe des Reizstärkeverlaufs hinaus (initial overshoot). Ab Reizende, beim Reizabwärtssprung, kommt es zu einer Potentialpause (silent period). Initial overshoot und silent period sind auch in der Frequenz der Nervenaktionspotentiale bemerkbar: Der initial overshoot steigert die Nervenaktionspotentialfrequenz, die silent period bewirkt eine kurze Pause in den Potentialentladungen.

Habituation ist an sich der formal weitgehend identische Vorgang der Reizantwortgrößenminderung trotz weiterer Reizeinwirkung. Sie erfolgt jedoch nicht in der Peripherie an den Sensorzellen, sondern an weiter zentral gelegenen synaptischen Verschaltungen. Beim Erreichen der Information im Rindenzentrum des Großhirns ist dann subjektiv für unsere Wahrnehmung nicht zwischen Adaptation und Habituation zu unterscheiden. Wir wissen jedoch heute, daß der Geruch sehr stark habituiert, aber nur wenig adaptiert. Für jeden sollte nun das bekannte Phänomen erklärbar sein: Man kommt in einen Raum, in dem irgendein Geruch dominiert, nimmt ihn wahr, fühlt sich vielleicht sogar gestört, aber wenn man sich nur 1–2 min in ihm aufhält, bemerkt man den vorher so starken Geruch gar nicht mehr.

## 5. Abschlußbemerkungen

Der „niedere“ Sinn Geruch ist ein für die Persönlichkeitsentwicklung wichtiger Sinn, auch wenn auf diesem Gebiet noch einige wichtige Forschungsergebnisse fehlen. Psychologen wissen aber, daß ein Baby für seine normale Entwicklung nicht nur den Körperkontakt über die Haut braucht. Offensichtlich ist auch der Körpergeruch der Mutter – sei er noch so parfümüberlagert – bedeutsam. Im Sinne von Sinnesphysiologie und -psychologie ist es als negativ einzuschätzen, daß natürliche Riechreize durch übermäßigen Desodorantgebrauch verdeckt werden, weil dadurch dem Menschen heute seine natürliche Geruchsorientierung in seiner Umwelt nicht mehr möglich ist. In historischer Hinsicht spricht man gern von einer „olfaktorischen“ Revolution (Geruchsrevolution), die ungefähr zeitgleich mit dem Heraufziehen der französischen Revolution Mitte des 18. Jh. ansetzte. Vor 250 Jahren muß überall ein für uns unvorstellbarer Gestank geherrscht haben, und das nicht nur in den Hütten der Armen, sondern auch in den Palästen der Reichen. Diese olfaktorische Umwälzung sollte wohl aber eine Verkümmerng unseres Geruchsinns begünstigt haben. Der heute so weit-

verbreitete Gebrauch von Odorantien könnte Ausdruck von Unsicherheit sein. Wegen der starken und schnellen Habituation des Geruchs kann man ja immer nur bei Milieuwechsel wahrnehmen, wie etwas riecht. Die Dunstglocke, die man mit sich selbst herumträgt, riechen aber immer nur die anderen, die sich der Geruchsquelle nur kurzfristig nähern müssen.

## Buchbesprechung

Hans-Dieter Schmidt, Evelyn Richter „Entwicklungswunder Mensch“, 4. Auflage 1989, 256 S. mit 204 Ill. Leipzig, Jena, Berlin – Urania-Verlag 1989 ISBN 3-332-00048-9, Bestell-Nr. 6536177 Preis 25,- M

Ein Mensch wird geboren. Dies ist ein einzigartiger Vorgang. Aber bereits vor der Geburt und in ganz besonderem Maße danach müssen die Eltern dieses Kindes Verantwortung übernehmen, über deren Ausmaß man sich im klaren sein sollte. Auch die Gesellschaft ist gefordert. Denn von uns hängt es ab, ob sich ehrliche, mutige und gerade Menschen entwickeln oder Menschen ohne Selbstbewußtsein und Kreativität.

Der Textautor H. D. Schmidt und die Bildredakteurin E. Richter stellen sich mit diesem Buch die anspruchsvolle Aufgabe, die psychische Entwicklung des Kindes zwischen der Geburt und der Schuleinführung mit Wort und Bild zu beschreiben.

Wenn man dieses Buch zum ersten Mal in die Hand nimmt, fallen einem sicherlich die Vielzahl von ehrlichen und ungekünstelten Fotos auf, die eine hervorragende Ergänzung zum Text darstellen. Durch diese Einheit von Wort und Bild bekommt man auf viele Probleme eine neue Sicht. Der Psychologe Prof. Dr. Schmidt und E. Richter haben es verstanden, die schwierige Problematik der geistigen Entwicklung des „Entwicklungswunders Mensch“ für den Laien interessant und verständlich darzustellen.

Gegliedert in 4 große Abschnitte läßt man den Leser teilnehmen, wie aus einem Neugeborenen, der durch genetisch bedingte, vererbte Verhaltensmuster geprägt ist, eine aktive, bewußt handelnde und gemeinschaftstüchtige kindliche Persönlichkeit wird.

Dieses Buch ist ein Appell an alle diejenige, die direkt oder indirekt mit Kindern zu tun haben. Es richtet sich an alle Menschen, denen das Glück der Kinder am Herzen liegt, besonders natürlich an Eltern und Pädagogen, aber auch an „Angestellte von Behörden, die von ihnen geplante, projektierte und verteilte Ein- und Zweiraumwohnungen als ausreichendes Feld kindlicher Aktivitätsentfaltung ansehen – ja, für die ein Kleinkind noch gar nicht als Mieter zählt“.

Als positiv muß auch das weiterführende Literaturverzeichnis am Ende des Buches bewertet werden, obwohl ein Teil der angegebenen Literatur für den interessierten Leser schwierig zu beschaffen sein dürfte.

Alles in allem hebt sich dieses nunmehr in seiner 4. Auflage erschienene Buch nicht nur durch die drucktechnische Qualität, sondern auch durch seinen Inhalt wohltuend vom Durchschnitt der populärwissenschaftlichen und pädagogischen Literatur über das Vorschulkind ab.

**Gunter Kaiser**  
**Friedrich-Schiller-Universität Jena**  
**2. Studienjahr Physik**

## **DAS MENSCHLICHE OHR**

### **1. Einführung**

Nach dem Auge zählt das Ohr zu den wichtigsten Sinnesorganen des menschlichen Körpers. Es kann sicher jeder leicht ermes- sen, wieviel Information wir gerade mit dem Ohr über unsere Umgebung erhalten. Man- cher hat vielleicht auch die Erfahrung ma- chen müssen, wie unangenehm es ist, wenn die volle Funktionstüchtigkeit des Ohrs durch Erkrankung oder Verletzung nicht ge- geben ist. Spätestens in solch einer Situation kann sich jeder darüber klar werden, wie wichtig auch die akustische Information für den Menschen ist.

Das Ohr trägt außerdem nicht unwesentlich zu unserem physischen Wohlbefinden bei. Wir brauchen nur daran zu denken, in welch angenehme Emotionen uns der Besuch eines Konzerts zu versetzen vermag. Die Kehrseite dieser Medaille ist der Lärm, der uns in unserer industrialisierten Welt überall umgibt. Obwohl es sich fast um die gleiche Sache, nämlich um Schallwellen, handelt, empfinden wir es nicht in der gleichen Weise als angenehm, wenn sie von einem Sinfonieorchester oder von einem Dieselmotor stammen.

Dieser Artikel soll dazu beitragen, mit dem Aufbau und der Funktionsweise unseres Gehör- organs besser vertraut zu werden, so daß wir die einzigartige Perfektion dieses Systems erkennen. Wir werden erfahren, zu welch erstaunlichen Leistungen unser Ohr in der Lage ist. Wir werden aber auch sehen, wie empfindlich und zerstörbar dieses System ist.

Es soll zunächst eine eingehende Beschreibung des Aufbaus dieses Organs erfolgen. Wir werden die wesentlichen Bestandteile kennenlernen, die für die Schallübertragung und - wandlung bestimmt sind. Dabei wird systematisch von außen nach innen, dem Wege der Schallwellen folgend, vorgegangen. Danach folgt eine Funktionsbeschreibung mit Erklärung der wesentlichen physikalischen Wirkprinzipien. Abschließend werden wir etwas über die Leistungsfähigkeit und die Leistungsgrenzen unseres Ohrs erfahren. Wer sich über den Artikel hinaus noch informieren möchte, dem sei die am Schluß angegebene Literatur ein Hinweis.

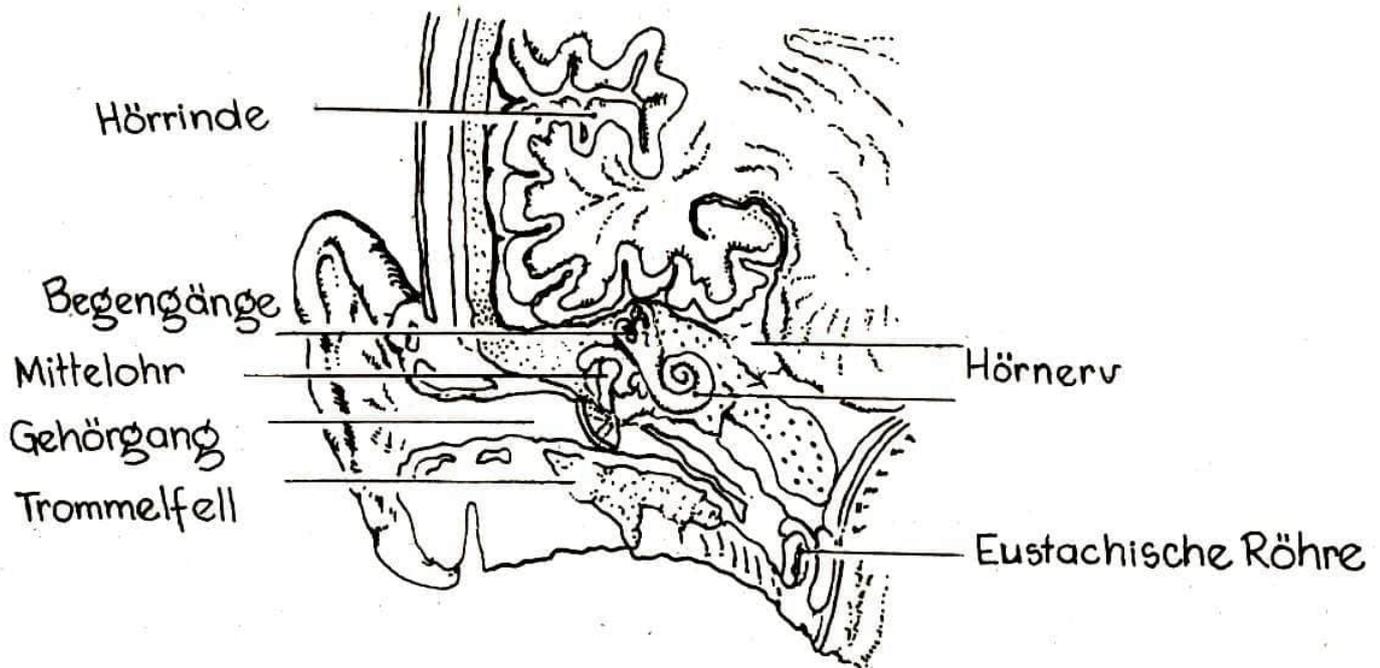
### **2. Das äußere Ohr**

Das äußere Ohr besteht aus der Ohrmuschel und dem äußeren Gehörgang. Die Ohrmuschel besteht hauptsächlich aus Knorpelgewebe und ist mittels Bänder und Muskelgewebe am Schädel fixiert.

Das Ohr läppchen stellt übrigens stammesgeschichtlich eine Neuheit dar. (Es fehlt beispiels- weise bei den Buschmännern.)

Der äußere Gehörgang ist die Fortsetzung der Höhlung der Ohrmuschel in das Schädel- innere und besteht aus einem knorpeligen kurzen und einem knöchernen längeren Ab- schnitt, die durch Bindegewebe miteinander verbunden sind. Er hat einen mehrfach geboge- nen Verlauf und eine Gesamtlänge von etwa 24 bis 27 mm.

Den Abschluß des äußeren Gehörgangs in Richtung Mittel- und Innenohr bildet das Trom- melfell. Es wird meist bereits zu den Bestandteilen des Mittelohrs gezählt und soll mit im folgenden Abschnitt besprochen werden.



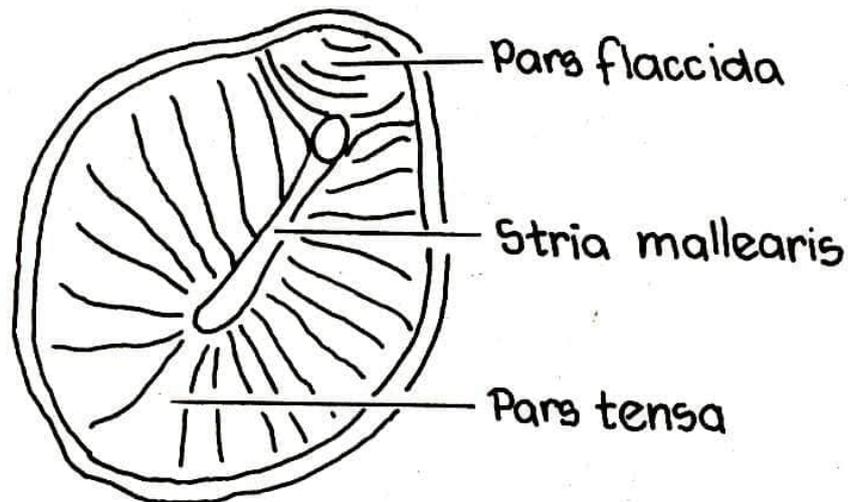
Übersicht menschl. Gehör

Abb. 1

### 3. Das Mittelohr

Das Mittelohr besteht aus dem Trommelfell, der Paukenhöhle, den Gehörknöchelchen und der Eustachischen Röhre.

Das Trommelfell hat ovale Form. Sein größter Durchmesser beträgt etwa 10 mm, seine Oberfläche 55 bis 100 mm<sup>2</sup> und seine Dicke 0,1 mm. Es ist mit einem knorpeligen Ring am Ende des äußeren Gehörganges fixiert und steht schräg mit einem Winkel von 45 Grad gegenüber der Horizontalen. Seine Oberfläche ist in einen großen gespannten und einen kleinen lockeren Bereich unterteilt. Durch diesen Aufbau wird am effektivsten den zwei wichtigsten Aufgaben des Trommelfells entsprochen, nämlich einerseits möglichst gut im Rhythmus der minimalen Schalldruckschwankungen zu schwingen, andererseits aber auch starken Druckschwankungen widerstehen zu können. Das dünne Gewebe des Trommelfells wird außen von einer dünnen Epidermis überzogen und innen von der Schleimhaut der Paukenhöhle. Das Gewebe des Trommelfells ist von Nerven und Blutgefäßen durchzogen und normalerweise von grauer Farbe. Das Trommelfell ist etwa in seiner Mitte in einer Falte nach innen gezogen. Das ist die Stelle, wo der Hammer mit dem Trommelfell verbunden ist.



Trommelfell

Abb. 2

Der Hammer gehört gemeinsam mit dem Amboß und dem Steigbügel zu den Gehörknöchelchen. Sie dienen der Übertragung der Schallwellen vom Trommelfell auf das Innenohr. Die Gehörknöchelchen sind von einer dünnen Schleimhaut umgeben, die hauptsächlich ihrer Ernährung dient. Die Gelenke zwischen den einzelnen Gehörknöchelchen sind nur in geringem Maße beweglich.

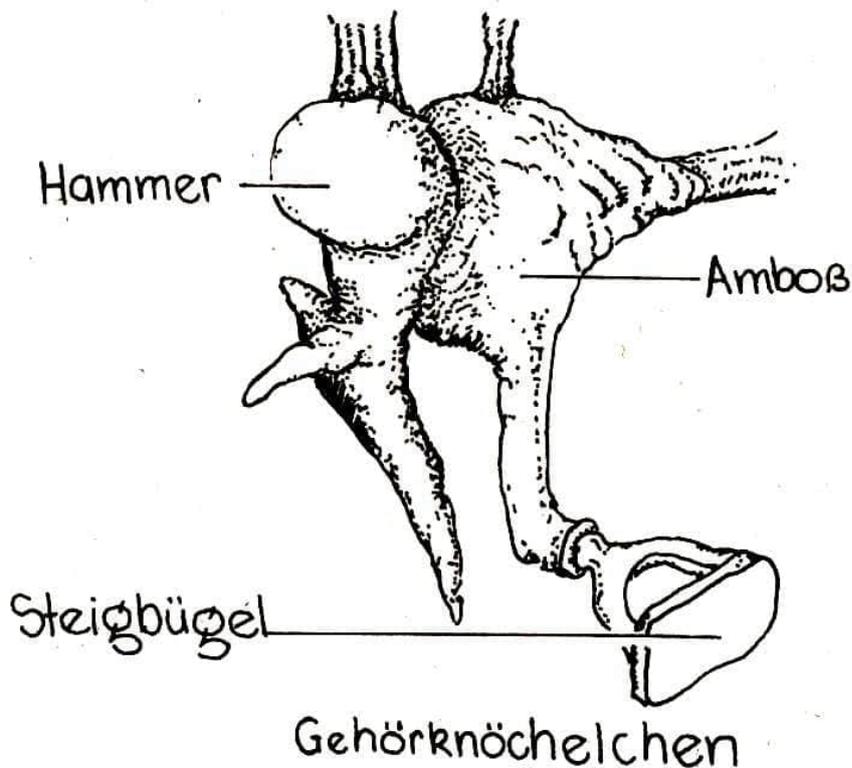


Abb. 3

Auf die Bewegung der Gehörknöchelchenkette können zwei quergestreifte Muskeln einwirken, ein mit dem Hammer verbundener Muskel und dessen Antagonist, der mit dem Steigbügel verbunden ist und mit nur 5 mm Länge den kleinsten quergestreiften Muskel des menschlichen Körpers bildet. Das gesamte System der drei Gehörknöchelchen und der

daran fixierten Muskeln befindet sich in der Paukenhöhle, einem mit Schleimhaut ausgekleideten, lufthaltigen Hohlraum von  $800 \text{ mm}^3$  Volumen, der die Form einer bikonkaven Linse hat.

Die Paukenhöhle ist über die Eustachische Röhre mit dem Nasen-Rachenraum verbunden. Die Eustachische Röhre hat eine Länge von etwa 30 bis 40 mm und sichert den Druckausgleich zwischen Mittelohr und Umgebung. Ihre spaltförmige Öffnung zum Nasen-Rachenraum wird durch zwei Muskeln geschlossen gehalten. Bei jedem Schluckvorgang erfolgt eine kurzzeitige Kontraktion der Muskeln, wobei eine Belüftung des Mittelohrs erfolgt. Überdruck in der Paukenhöhle löst den Schluckreflex aus.

#### 4. Das Innenohr

Das Innenohr stellt den eigentlichen Schallwandler im Gesamtsystem dar.

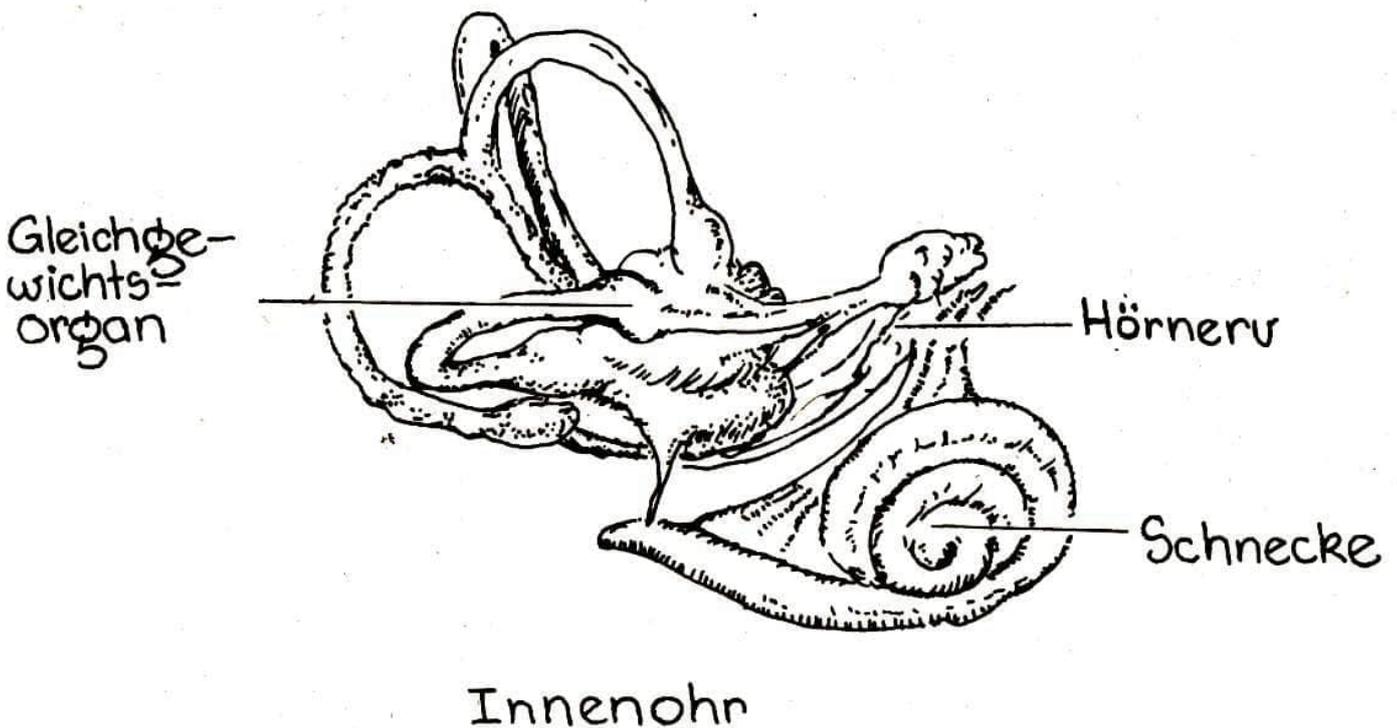
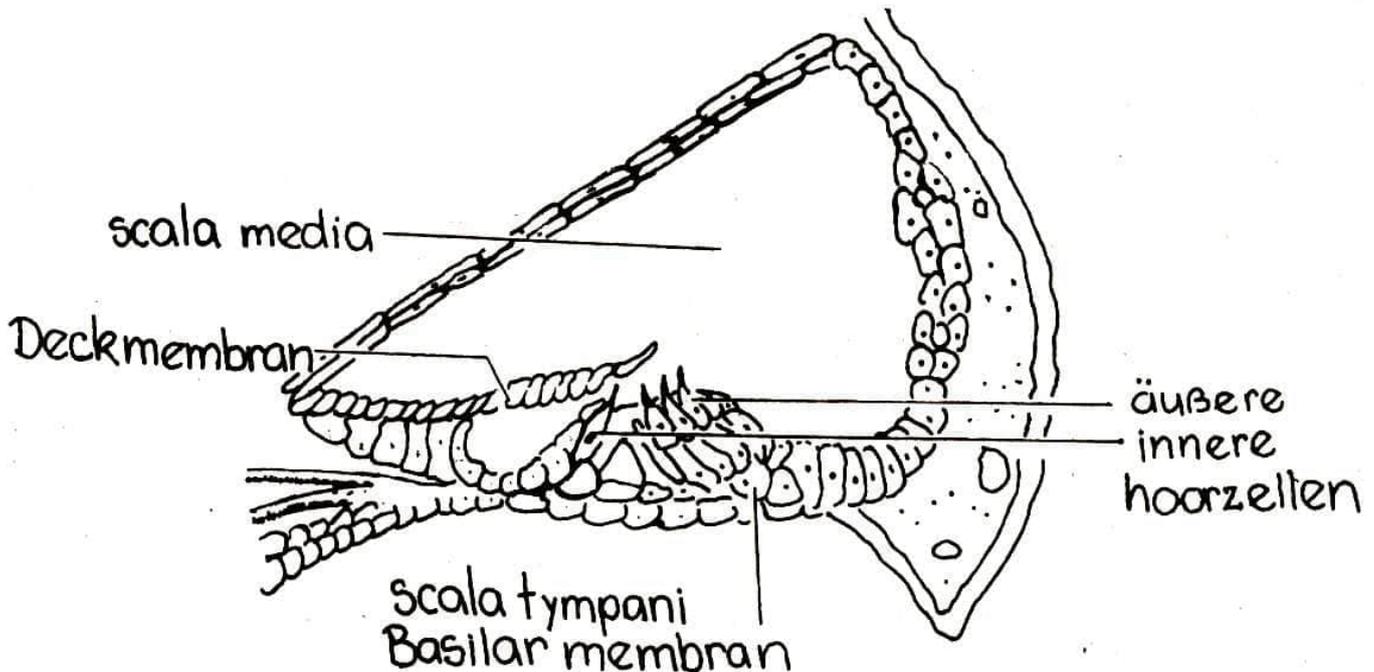


Abb. 4

Bestandteil des Innenohrs ist einmal der Vestibularapparat, der auch als Gleichgewichtsorgan bezeichnet wird. Er besteht aus zwei etwa senkrecht aufeinanderstehenden, jeweils  $\frac{2}{3}$  eines Kreisbogens beschreibenden Bogengängen. Dieses Organ dient der Lage und Bewegungserkennung des menschlichen Körpers und soll, da es keinerlei akustische Funktion hat, nicht näher betrachtet werden. Weitere Bestandteile des Innenohrs sind das Vestibulum mit seinen beiden durch häutige Membranen verschlossenen Öffnungen, dem ovalen Fenster und dem runden Fenster, die Gehörschnecke und der Gehörnerve. Das Vestibulum, die Gehörschnecke und der Gleichgewichtsapparat sind ein System von Hohlräumen, die z. T. miteinander verbunden und mit Lymphe gefüllt sind. Das ovale Fenster hat einen Flächeninhalt von etwa  $50 \text{ mm}^2$  und wird durch eine Membran verschlossen. Die Fußplatte des Steigbügels ist mit dieser Membran fest verbunden. Das runde Fenster hat etwa den gleichen Flächeninhalt und wird von einer doppelwandigen Membran verschlossen. Es sichert den Druckausgleich. Die Gehörschnecke besteht aus der häutigen Schnecke, die sich im Inneren der knöchernen Schnecke befindet. Sie hat ein Volumen von etwa  $100 \text{ mm}^3$ , eine  $10 \text{ mm}$

breite Basis und 5 mm Höhe von der Basis bis zur abgerundeten Spitze. Sie besteht beim Menschen aus  $2\frac{1}{2}$  bis  $2\frac{3}{4}$  Windungen einer sich verjüngenden Rechtsspirale beim rechten bzw. Linksspirale beim linken Ohr und einer zentralen Spindel. Der innere Hohlraum der Windungen ist längs in drei, mit Lymphe gefüllte Abschnitte aufgeteilt.



### Schnitt durch häutige Schnecke

Abb. 5

Das eigentliche Wandlerorgan (Corti-Organ) befindet sich auf der Basilmembran, einer Bindegewebsleiste im mittleren Abschnitt der Gehörschnecke. Das Corti-Organ besteht aus zwei Arten von Sinneszellen, den inneren und den äußeren Haarzellen, die von Stützstellen umgeben sind. Die Haarzellen tragen auf ihrer Oberfläche jeweils 50–100 Sinneshärchen, die Stützstellen sichern die mechanische Stabilität und den Energiestoffwechsel der Sinneszellen. Das Corti-Organ ist z. T. mit einer aus Proteinfibrillen bestehenden Membran abgedeckt. Vermutlich haben die feinen Sinneshärchen Kontakt zu dieser Deckmembran.

Die inneren Haarzellen (etwa 3500 Stück) stehen in einer Reihe, die äußeren (etwa 11000 Stück) stehen in drei hintereinander angeordneten Reihen. Die Haarzellen sind mit den Nervenfasern des Hörnervs verbunden, wobei die Innervierung der äußeren Haarzellen stark von der der inneren Haarzellen abweicht. Während eine Nervenfasern mit etwa 30 äußeren Haarzellen verbunden ist, gehen von jeder inneren Haarzelle etwa 20 Nervenfasern ab. Außerdem sind die inneren Haarzellen wesentlich widerstandsfähiger als die äußeren. Die Weiterleitung der gewandelten akustischen Information geschieht über die Hörbahn, die aus vier hintereinandergeschalteten Neuronen besteht, zur Hörrinde, einem Teil der Hirnrinde, in dem die akustische Information letztendlich wahrgenommen wird.

## 5. Funktion des menschlichen Ohres

Durch die Ohrmuschel und den leicht verjüngten Ohrgang werden die Schallwellen gebündelt, wobei der Schalldruck auf das Doppelte bzw. die Schallintensität auf das Vierfache verstärkt wird. Ob Resonanzeigenschaften des Gehörganges dabei eine Rolle spielen, ist noch ungeklärt. Der Gehörgang wäre durch seine Länge auf etwa 6 kHz abgestimmt. Am Ende des Gehörganges treffen die Schallwellen auf das Trommelfell, welches dadurch in Schwingungen versetzt wird. Sehr interessant ist nun die Funktion der Mechanik des Mittelohrs. Bedingt durch das Verhältnis der Oberflächen von Trommelfell und ovalem Fenster wäre die Druckamplitude am ovalen Fenster 20mal so groß. Nun kommt dazu noch die Hebelübersetzung der Gehörknöchelchenkette von 3:1 zugunsten des ovalen Fensters, wodurch sich effektiv ein Druckamplitudenverhältnis von 60:1 ergibt.

Diese Druckübersetzung dient der Anpassung der Schallimpedanz (Dichte mal Phasengeschwindigkeit) der Luft des Gehörganges von etwa  $440 \text{ Pa} \times \text{s/m}$  an die der Lymphe des Innenohrs von etwa  $1,58 \times 10^6 \text{ Pa} \times \text{s/m}$ . Ideale Anpassung liegt vor, wenn das Quadrat des Druckverhältnisses dem Verhältnis der Schallimpedanzen entspricht.

Wie wir sehen, sorgt das Mittelohr für praktisch ideale Anpassung der Schallimpedanzen, da ihr Verhältnis etwa 3600:1 ist.

Das Mittelohr stellt durch seine bewegten Massen und Rückstellkräfte ein System mit Resonanzeigenschaften dar. Die Resonanzfrequenz ist individuell verschieden und liegt zwischen 1 und 2 kHz. Oberhalb dieser Frequenz fällt das Übertragungsmaß mit dem Quadrat der Frequenz ab, unterhalb wird es ebenfalls rasch schlechter.

Die Eustachische Röhre sichert den Druckausgleich zwischen Mittelohr und Umgebung. Durch Infektion kann sie geschlossen sein, was sich in einem sehr schmerzhaften Druckanstieg in der Paukenhöhle bemerkbar macht. Manchmal kommt es bei einem solchen hermetischen Verschluss zu einer Vereiterung des Mittelohrs, wobei die Paukenhöhle z. T. mit Eiter gefüllt ist. Dabei können Übertragungsverluste von 50 bis 60 dB (Übertragungsmaß sinkt auf 1/300 bis 1/1000) auftreten.

Das menschliche Ohr hat im Gegensatz zu anderen Sinnesorganen (Auge) keinen wirklich effektiven Überlastungsschutz. Einen minimalen Effekt hat die Muskulatur des Mittelohrs. Sie kann durch Kontraktion die Beweglichkeit der Gehörknöchelchen einschränken, was zu einer Übertragungsreduzierung von 10 bis etwa 50 dB (individuell verschieden) führt. Dieser Mechanismus ist jedoch nicht auf einen plötzlichen Knall eingerichtet, so daß ein solcher ungedämpft auf das Innenohr wirken kann.

Was hinter dem ovalen Fenster vorgeht, ist z. T. noch ungeklärt. Es vollzieht sich wahrscheinlich folgendes:

Die durch Außenohr und Mittelohr verstärkten Schwingungen werden am ovalen Fenster auf die Lymphe übertragen, die sich in der Gehörschnecke befindet. Das Corti-Organ auf der Basilarmembran wirkt nun ähnlich einem Fourier-Analysator. Es findet eine Spektralanalyse der Schwingungen der Lymphe statt.

Grundlage dafür ist, daß jede beliebige Schwingung durch eine Überlagerung von Sinusschwingungen verschiedener Frequenz, Amplitude und Phasenlage erzeugt und in Umkehr dieses Verfahrens auch wieder zerlegt werden kann.

Wie das in der Gehörschnecke erfolgt, ist noch nicht völlig geklärt. Wir wollen dazu zwei der vielen Hypothesen näher betrachten. Beide sind Resonanztheorien.

Im ersten Fall handelt es sich um die allgemein in der Fachliteratur am meisten vertretene Resonanztheorie nach Helmholtz (aufgestellt um 1850). Es wird angenommen, daß jede der etwa 20000 Fasern der Basilarmembran auf eine Frequenz abgestimmt ist. Doch eine so

feine Abstimmung setzt sehr schwach gedämpfte Resonatoren voraus, die anatomisch fast undenkbar sind und vor allem sehr lange nachschwingen würden, was eine Aufnahme von rasch wechselnden Gehöreindrücken unmöglich machen würde.

Es ist anzunehmen, daß die nun folgende zweite Theorie eher zutreffend ist. Dabei wird davon ausgegangen, daß die gesamte Basilarmembran in Eigenschwingungen versetzt wird, wobei jedoch frequenzabhängige Amplitudenmaxima an verschiedenen Stellen der Membran auftreten, abhängig von Spannung und Breite der Membranstelle.

Beiden Theorien ist es eigen, daß sie davon ausgehen, daß bei einer bestimmten Frequenz ein bestimmter Ort der Basilarmembran erregt wird. Dennoch kennen sich nur recht wenige Menschen so gut auf ihrer Basilarmembran aus, daß sie ein absolutes Gehör haben. Nach diesen Theorien müßte aber für jeden Menschen ein absolutes Gehör trainierbar sein.

Die Erregung wird in den Sinneszellen in Impulse des bioelektrischen Aktionspotentials umcodiert. Dabei geht letztendlich die Phaseninformation weitgehend verloren. Die Potentiale der bioelektrischen Impulse sind im wesentlichen konstant. Die Endolymphe hat ein Potential von 80 mV, das Corti-Organ eins von  $-80$  mV gegenüber der Basilarmembran. Das bioelektrische Aktionspotential beträgt etwa 160 bis 180 mV. Im Ruhezustand werden von den Haarzellen stochastisch einige wenige Impulse pro Minute abgegeben. Bei maximaler Erregung werden bis zu 1000 Impulse pro Sekunde erzeugt. Dabei findet ein Verstärkungsvorgang statt, bei dem mehr Energie umgesetzt wird, als vom umliegenden Gewebe nachgeliefert werden kann. Der Stoffwechsel der Zelle verbraucht dabei innerhalb kürzester Zeit die gesamten Energiereserven der Zelle, was ihren baldigen Zelltod herbeiführt. Besonders betroffen sind dabei die Sinneszellen, die an der stoffwechselbenachteiligten Stelle bei 4 kHz auf der Basilarmembran angeordnet sind. Deshalb findet man bei Audiogrammen vieler Menschen Übertragungseinbrüche bei 4 kHz.

Die Impulse des bioelektrischen Aktionspotentials werden über die Hörbahn dem Hörzentrum zugeleitet. Über Rückkopplungseffekte kann die Aktivität der Sinneszellen geregelt werden. Eine weitere Möglichkeit des Hörens, die vor allem bei höheren Frequenzen (ab 6 bis 8 kHz) in den Vordergrund tritt, ist die direkte Leitung des Schalls über den Schädelknochen auf die Gehörschnecke. Dadurch wird der Übertragungsabfall durch Mittelohrresonanzen kompensiert. Der Tiefpaß Mittelohr wird dabei überbrückt.

## 6. Leistungen und Grenzen des menschlichen Gehörs

In diesem Abschnitt werden wir etwas über die außerordentliche Leistungsfähigkeit des menschlichen Ohrs erfahren.

Der Frequenzumfang des Gehörs beginnt beim Kleinkind bei etwa 16 Hz und endet bei 20 kHz. Mit zunehmendem Alter verlagert sich die obere Grenze zu tieferen Frequenzen hin. Jedoch sind die meisten 50jährigen noch in der Lage, Frequenzen von 16 kHz zu hören. Dies ist ein Frequenzumfang von etwa 10 Oktaven. Das menschliche Auge schneidet mit einer Oktave im Vergleich dazu schlecht ab.

Unser Ohr ist bei einer Frequenz von 2300 Hz am empfindlichsten. Bei dieser Frequenz sind wir in der Lage, Töne ab einem Schalldruck von  $5 \times 10^{-5}$  Pa zu hören. Die Luftsäule im Gehörgang schwingt dabei longitudinal (in Ausbreitungsrichtung) um weniger als den Durchmesser eines Wasserstoffatoms ( $10^{-10}$  m). Am Trommelfell wird dabei nur eine Leistung von  $10^{-17}$  W wirksam. Unser Ohr ist damit etwa genauso empfindlich wie unser Auge bei einer Wellenlänge von 510 nm. Wäre unser Ohr nur noch wenige Größenordnungen empfindlicher, so würden wir die Brownsche Molekularbewegung der Luftmoleküle als ständiges Störgeräusch hören. Wenn der Schalldruck bei 2300 Hz 500 Pa überschreitet, haben wir

Schmerzempfindungen. Der Dynamikumfang des Ohrs bezüglich des Schalldrucks beträgt also  $10^7:1$  oder 140 dB. Über den gesamten Frequenzbereich gemittelt beträgt die Schmerzgrenze jedoch nur 120 dB. Mit modernster Tontechnik (CD-Player) ist man bis jetzt nur fähig, eine Dynamik von maximal 100 dB zu erreichen. Gute Hi-Fi-Geräte der Inlandsproduktion erreichen etwas über 60 dB.

Das menschliche Gehör kann hauptsächlich durch zweierlei äußere Einwirkungen geschädigt werden, durch akute oder chronische Vergiftungen und durch Lärm. Bei den Vergiftungen gehen die Sinneszellen meist durch Sauerstoffmangel zugrunde. Dabei wird wieder die stoffwechselbenachteiligte 4-kHz-Stelle besonders leicht und dadurch zuerst geschädigt. Nervenzellen und Sinneszellen sind nur sehr begrenzt regenerierungsfähig, wodurch solch ein Gehörschaden meist irreparabel ist. Medikamente bewirken ebenfalls Vergiftungen der Sinneszellen, besonders Antibiotika der Aminomyzingruppen. Diese Antibiotika sollten nur gegen penizillinresistente Keime angewandt werden. Nach Anwendung dieser Medikamente ist mit einem meist hochgradigen Gehörschaden zu rechnen. Auch Krankheiten, wie Diabetes, Tuberkulose, Krebs, ja selbst grippale Infekte können Innenohrschäden bewirken. Außerdem gibt es 32 Fehler im Genom des Menschen, die Innenohrschäden zur Folge haben.

Akustische Schäden werden in drei Gruppen eingeteilt: Explosions-, Knall- und Lärmtraumen.

Beim Explosionstrauma treten Trommelfellzerreißen, Beschädigungen der Gehörknöchelchen und mehr oder weniger große Innenohrschäden auf. Die Schäden sind heutzutage mit mikrochirurgischen Methoden in gewissen Grenzen heilbar, wenn der Innenohrschaden klein war. Knalltraumen werden vor allen Dingen durch den Umgang mit Handfeuerwaffen (135 bis 165 dB) beim Sportschießen oder bei militärischen Übungen erworben. Sie sind sehr häufig anzutreffen. Dabei handelt es sich um Beschädigungen des Innenohrs, die die Wahrnehmung hoher Töne stark vermindern. Das Trommelfell und das Mittelohr werden meist nicht geschädigt. Nicht zuletzt wegen der Häufigkeit von Knalltraumen sollte der Umgang mit Handfeuerwaffen auf ein absolutes Minimum begrenzt werden. Militärische Schießübungen sollten nur mit gutem Gehörschutz (Gehörschutzmuscheln, die die Gehörmuschel vollständig umschließen) durchgeführt werden.

Lärmtraumen kommen am häufigsten vor. Sie entstehen meist durch jahrelange Einwirkung von hohen Lärmintensitäten am Arbeitsplatz. Meist sind es Stoffwechselschäden, seltener mechanische Schäden des Innenohrs.

Schädlich ist jede länger dauernde Lärmexposition über 85 dB. Man kann Lärmschäden auch im PKW und in der Diskothek erwerben. In Diskotheken wird oftmals der vorgeschriebene Grenzwert nicht eingehalten, nicht selten auch ohne Maß überschritten. Ein Hinweis dazu: *Wenn man sich auf zwei Meter Entfernung nur noch schreiend verständigen kann, ist es bereits viel zu laut.*

Nun noch abschließend einige Daten über unser Ohr. Geübte Musiker sind in der Lage, 300000 verschiedene Töne zu unterscheiden. Laufzeitdifferenzen zwischen zwei Impulsen werden unbewußt (als Richtung) ab  $30 \mu\text{s}$  wahrgenommen. Einen echten Doppeleindruck hat man ab 1,2 ms. Wir sind fähig, mittels unserer beiden Ohren eine Schallquelle in unserer Umgebung genau zu orten. Dabei spielen bis zu 3 kHz hauptsächlich Phasenunterschiede, ab 4 kHz hauptsächlich Intensitätsunterschiede eine Rolle. Unser Orientierungsvermögen ist bei 3 kHz und unterhalb 200 Hz am schlechtesten.

**Literatur:**

- Autorenkollektiv, *Taschenbuch Akustik*, 1. Aufl., Berlin 1984  
Bertolini, *Syst. Anatomie des Menschen*, 3. Aufl., Berlin 1986  
Schuschke, *Lärm und Gesundheit*, 1. Aufl., Berlin 1976  
Gerthsen, *Physik*, 15. Aufl., Berlin (West) 1986  
Grimsehl, *Lehrbuch der Physik*, 25. Aufl., Leipzig 1987

(Fortsetzung von S. 8)

Himmel dahinziehende Wolken regten sie an, sich mit der Luftfahrt zu beschäftigen. Sie fertigten Papiersäcke an, die sie in die Höhe steigen lassen wollten. Einige Versuche, dies mit Wasserdampf zu erreichen, schlugen fehl. Es war um 1780, als Joseph Montgolfier einen alltäglichen Vorgang beobachtet, Rauch steigt in die Höhe. Das brachte ihn und auch seinen Bruder auf die Idee, einen Kissenbezug mit der Öffnung über ein Feuer zu halten. Die Hülle füllte sich mit heißer Luft und schwebte empor.“ (Karl Rezac: „Rund um die großen Erfindungen“, Berlin 1986, S.160).

Die physikalische Grundlage ist dabei die gleiche, die auch für das Sinken und Aufsteigen von Unterseebooten verantwortlich ist: das Wirken eines Auftriebes.

In den nachfolgenden Jahren wurden vielfältige Ballonfahrten unternommen. So glückte im Jahre 1785 dem Franzosen Jean Pierre Blanchard auch der erstmalige Flug über den Ärmelkanal. Die zweieinhalbstündige Reise verlief dabei nicht gefahrlos, jedoch erfolgreich. Aber nicht nur für derartige Rekordfahrten wurde der Ballon genutzt, sondern auch für wissenschaftliche Zwecke. Um 1800 wurden z.B. Versuche unternommen, aus deren Ergebnissen die Naturforscher die Natur des Erdmagnetismus aufzuklären gedachten. Dabei erhob man sich mit dem neuen Hilfsmittel „Ballon“ vom Erdboden in recht beachtliche Höhe. Der bedeutende Physiker und Astronom Dominique Francois Jean Arago (1786–1853) erzählte in diesem Zusammenhang eine Anekdote über den bekannten Physiker und Chemiker Joseph Louis Gay-Lussac (1778–1850). Dieser stieg mit einem Ballon auf und warf, in einer Höhe von 7016 m (!) angelangt, bei dem Versuche, höher zu steigen, verschiedene Gegenstände aus dem Ballon. Darunter befand sich auch ein Stuhl aus weißem Holz, welcher zufällig in ein Gebüsch fiel, neben ein junges Mädchen, das Schafe hütete. Das Erstaunen der Hirtin war groß, und es entstand ein Streit darüber, ob der Stuhl direkt aus dem Paradies gekommen wäre, und wie, wenn das wahr wäre, man sich die mangelhafte Qualität der Arbeit erklären könne.

Erst als die Zeitschriften Einzelheiten über Gay-Lussacs Reise mitteilten, fand das Wunder seine Erklärung: „Aeronautische Versuche, um festzustellen, wie sich die Magnethnadel in der Atmosphäre verhält.“

Dieser Vorgang aus dem Jahre 1804 verdeutlicht in humorvoller Weise, daß ein an neuen Entwicklungen eigentlich unbeteiligter Mensch schnell mit den Auswirkungen dieses Neuen in Berührung kommen kann, und sei es durch Zufall.

**Dr. Dieter Martinetz**  
Leipzig

## **GEHEIMNISUMWITTERTE HALLUZINOGENE**

### **1. Einleitendes**

Zwei wesentliche Rauschdrogengruppen sind die Euphorika und die Halluzinogene. Besonders letztere scheinen uns durch ihre Wirkung bis heute geheimnisvoll und faszinierend. Im allgemeinen bewirken sie optische und akustische Erscheinungsbilder, die keine Entsprechung in der Wirklichkeit haben. Zielort dieser Stoffe ist das Zentralnervensystem, genauer die Synapsen der Neuronen im System der Nervenreizleitung. An diesen Nervenendigungen bewirkt das ankommende elektrische Aktionspotential die Freisetzung eines chemischen sogenannten Transmitterstoffes (Acetylcholin,

Noradrenalin, Dopamin, Serotonin,  $\gamma$ -Aminobuttersäure), der den synaptischen Spalt überwindet und an der postsynaptischen Neuronenmembran eine Änderung der Ionenpermeabilität bewirkt. Durch Ioneneinstrom wird nun wiederum ein elektrisches Signal induziert und im Nerv weitergeleitet. Der Transmitter wird nach Erfüllung seiner Aufgabe im allgemeinen enzymatisch zerstört, Acetylcholin z. B. durch endogene (körpereigene) Cholinesterase.

Man nimmt heute an, daß der weitaus größte Teil der Halluzinogene als Synapsengift wirkt, wobei sich zum einen direkte Transmittereigenschaften auswirken können, zum anderen der im Körper normal ablaufende Transmitterstoffwechsel gestört wird. Dadurch kommt es u. a. zu unkontrollierten Überlagerungen der mit allen Sinnesorganen aufgenommenen äußeren Reize mit neuen Mustern. Dies kann zu tiefgreifenden Bewußtseinstörungen führen. Dabei bildet sich eine psychische Abhängigkeit heraus.

Die heute bekannten natürlichen und synthetischen Halluzinogene lassen sich im wesentlichen fünf chemischen Verbindungsklassen zuordnen, die im folgenden übersichtsmäßig betrachtet werden sollen. Dabei muß klargelegt werden, daß nicht alle Verbindungen mit der jeweiligen Grundstruktur psychotrope Wirkungen entfalten, Substituenten sind wesentlich, ebenso sterische Effekte u. a.

### **2. Indolderivate**

Bereits 1496 beschrieb Ramon Pane, ein Begleiter des Christoph Columbus, den Rauschzustand, in den sich Indianer der Neuen Welt durch Schnupfen eines Pulvers (Cohoba, Yopo u. a. Namen) versetzten. Es stellte sich als Produkt aus den Bohnen und Samenhülsen der Fabacee *Anadenanthera peregrina* heraus. Erst Anfang unseres Jahrhunderts charakterisierte man den Hauptwirkstoff als DIMETHYLTRYPTAMIN, von dem 0,7 mg/kg für einen einstündigen Rausch ausreichen. Im Cohoba-Schnupfpulver wurde als Nebenalkaloid in geringen Mengen auch noch ein anderes Indolderivat, das BUFOTENIN, gefunden. Später isolierte man diese Verbindung auch aus den Hautsekreten von Kröten (spanisch Bufo, daher Bufotenin) und aus Vertretern der Knollenblätterpilze *Amanita* sp. (Agaricaceae). Die wirksame Dosis liegt bei 8–70 mg. Noch wirksamer zeigte sich das aus Krötensekreten isolierte o-Methyl-bufotenin. Ebenfalls seit dem Mittelalter ist in Europa der Pilz *Psilocybe mexicana* (Trophariaceae) bekannt. Der spanische Priester Bernardino de Sahagun berichtete über seine Anwendung bei religiösen Riten der Azteken, wo er Teonanacatl genannt wurde. In den vierziger Jahren unseres Jahrhunderts konnte der schweizer Chemiker Albert Hofmann PSILOCYBIN und PSILOCIN als verantwortliche Wirkstoffe isolieren.

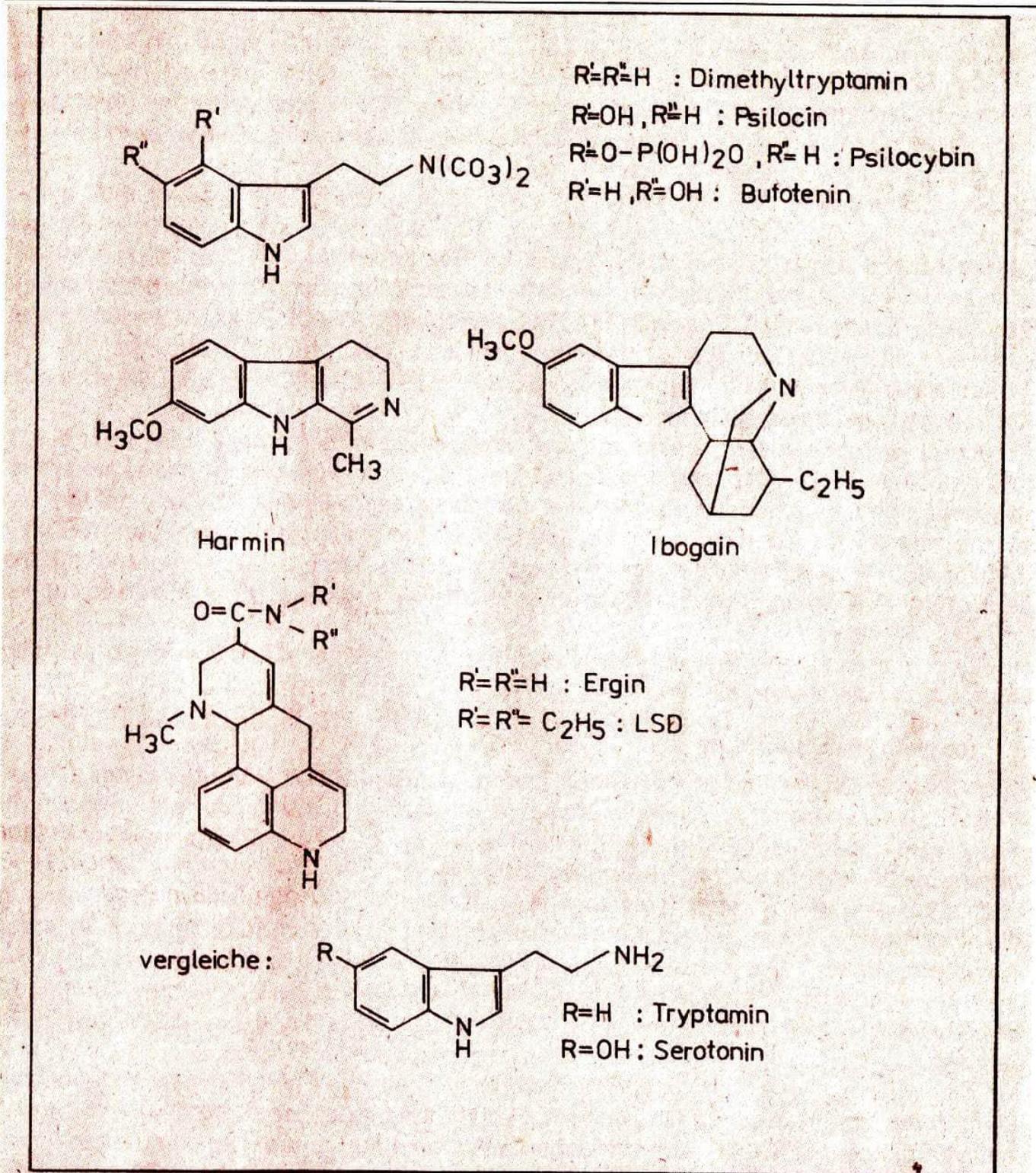


Abb.1 Indolderivate

Bleiben wir in Südamerika. Vor allem im Amazonasgebiet und am Orinoko gedeihen Banisteriopsis caapi und B. inebrians (Malpighiaceae), von den Eingeborenen Ayahuasca – Liane der Geister – genannt, die die „Seelen vom Körper löst“ und Kontakt mit den Ahnen vermittelt. Um 1970 wurde auch dieses Rätsel chemisch gelöst. Hauptwirkstoff ist das HARMIN, das auch in den Samen der asiatischen Steppenraute Peganum harmala (Zygophyllaceae) gefunden wurde, die schon Mitte des 1. Jahrhunderts der aus Spanien stammende Arzt Pedanios Dioskurides als berauschend beschrieben hatte.

Auch aus Zentralafrika sind seit Mitte vergangenen Jahrhunderts religiöse Riten unter Benut-

zung berauscher Mittel bekannt, die Kontakte zu den Vorfahren vermitteln sollen. Man benutzt dazu Aufgüsse aus der Rinde von Tabernanthe iboga (Apocynaceae), die als Iboga (Eboka) bezeichnet werden. Neben der halluzinogenen sollen sich auch eine aphrodisiakische Wirkung entfalten. 5 mg des verantwortlichen Inhaltsstoffes IBOGIAN bewirken einen mehrtägigen halluzinogenen Rausch.

Doch zurück in das an Halluzinogenen so reiche Südamerika. Eine uralte Zauberdroge der Azteken ist das Oloiuqui, das noch heute von den Zapoteken für magische Handlungen gebraucht wird. Um 1650 berichtete Francisco Hernandez de Toledo, der Leibarzt des spanischen Königs, daß die Samen einer kletternden Winde den Priestern erlaubten, mit ihren Göttern zu sprechen. Erst nach 1940 identifizierte man die Oloiuqui liefernden Winden botanisch als *Rivea Corymbosa*, *Impomoea violacea* und *I. tricolor*. Hauptinhaltsstoff ist (neben anderen Lysergsäurederivaten) das LYSERGSÄUREAMID (ERGIN), wie wiederum Albert Hofmann nachweisen konnte.

Ähnliche Lysergsäurederivate sind auch im gefährlichen Mutterkornpilz (*Claviceps purpurea*) enthalten, der im Mittelalter – als man eine Getreidereinigung noch nicht kannte – zu seuchenartigen Vergiftungen (Ergotismus, Antoniusfeuer, Kribbelkrankheit) geführt hat. 1943 synthetisierte Albert Hofmann bei seinen Arbeiten auf diesem Gebiet das LYSERGSÄUREDIIETHYLAMID, das die Laborbezeichnung LSD<sub>25P</sub> erhielt. Durch Zufall bemerkte er dessen extreme Wirkung; bereits 20 µg führen zu schwerwiegenden psychischen Störungen und Halluzinationen.

Die Indol-Halluzinogene sind strukturell eng mit dem biogenen Amin Tryptamin und dem Neurotransmitter Serotonin verwandt.

### 3. Phenylethylaminderivate

Auch bei den Phenylethylaminderivaten finden wir wesentliche Vertreter in der „Neuen Welt“. Es war wiederum der bereits erwähnte Bernardino de Sahagun, der um 1550 die Kunde vom berauschernden Peyotl-(Peyote-)Kaktus, der bis heute seine Beliebtheit in Südamerika nicht verloren hat, nach Europa brachte.

Nach dem bekannten Berliner Toxikologen Louis Lewin (1850–1929) zeitweise Anhalonium lewinii benannt, trägt er heute die wissenschaftliche Bezeichnung *Lophophora williamsii*. Außer als „Mittler“ zwischen Mensch und Göttern, diente er – ähnlich dem Alkohol in unserem Kulturkreis – stets auch zur „Anregung der Geselligkeit“. Um die Jahrhundertwende wurde als Halluzinogen das Mescaline isoliert, von dem oral etwa 0,2 bis 0,6 g (etwa ein Kaktus) zur Erzielung des gewünschten Rausches erforderlich sind.

Am aromatischen Ring andersartig substituierte synthetische Phenylethylamine fanden vor allem in der amerikanischen Drogenszene Verbreitung, besonders das 2,5-Dimethoxy-4-methyl-amphetamin (DOM), das in Mengen um 3 bis 4 mg zu mehrtägigem Rausch führt. Ähnlich wirken auch das 2,5-Dimethoxy-4-brom-amphetamin (DOB), das 3,4-Methylen-dioxy-amphetamin (MDA), das 3,4,5-Trimethoxy-amphetamin (TMA) und das 4-Methoxy-amphetamin (PMA).

Eine besondere Stellung nehmen die halluzinogenen Inhaltsstoffe der Muskatnuß *Myristica fragans* (Myristicaceae) ein, die vor allem in amerikanischen Gefängnissen in Ermangelung anderer Suchtmittel konsumiert wurden. Toxische Nebenwirkungen treten bei höherer Dosierung auf. Bereits im 7. Jahrhundert v. u. Z. war die Muskatnuß in Indien als „berauschernd“ bekannt, später wurde sie zeitweilig auch als Aphrodisiakum geschätzt, und um die Jahrhundertwende diente sie in hoher (schon toxischer) Dosierung als Abortivum. Die genuinen Inhaltsstoffe MYRISTICIN und ELEMICIN sind chemische Phenylpropenderivate, die erst

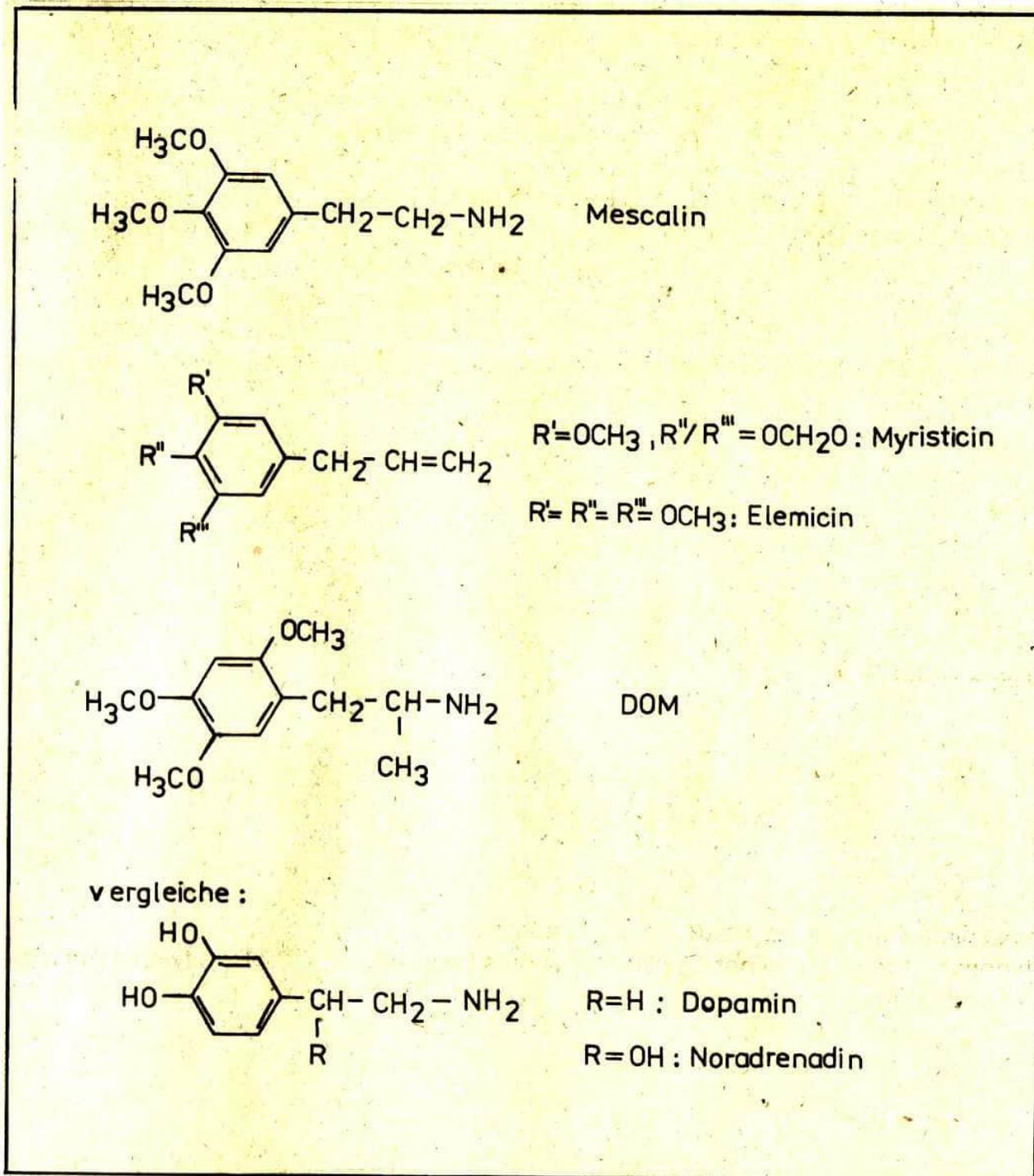


Abb. 2 Phenylethylaminderivate

im Organismus durch Transaminierung in die wirksame Amine umgewandelt werden. Aus der toxikologischen Literatur ist u. a. ein Fall bekannt, wo ein achtjähriger Junge bereits nach dem Genuß zweier Muskatnüsse nicht mehr gerettet werden konnte. Die erzeugten Rauschzustände halten bis zu 48 Stunden an.

Verwandt sind die Phenylethylamine mit dem biogenen Amin Adrenalin sowie den Neurotransmittern Noradrenalin und Dopamin.

#### 4. Piperidinderivate

Die einzigen natürlichen Halluzinogene unserer Breiten kommen in der Tollkirsche (*Atropa* ~~low~~ *ladonna*), dem Bilsenkraut (*Hyoscyamus niger*) und dem Stechapfel (*Datura stramonium*)

vor; weiter südlich ist als Vertreter der Solanaceae noch die Mandragora oder Alraunme (*Mandragora officinarum*) zu nennen.

„Magische“ Wirkung und Giftigkeit dieser Nachtschattengewächse waren bereits den alten Ägyptern und anderen alten Völkern geläufig. Im Mittelalter begegnen sie uns als unabdingbare Bestandteile von Hexensalben und Liebestränken. Charakteristisch für ihre halluzinogene Potenz sind Flugerlebnisse (Hexenritt), Tierverwandlung (Werwölfglauben) und erotische Erlebnisse (sexuelle Orgien), die den „Geständnissen“ der Hexenprozesse entsprechen. In der Neuzeit belegen Selbstversuche die Wirksamkeit von Salbenzubereitungen aus den genannten Pflanzen, die in wechselnder Zusammensetzung als Wirkstoffe die Tropinester L-HYOSCYAMIN, ATROPIN (D,L-HYOSCYAMIN) und SCOPOLAMIN enthalten.

Strukturelle Ähnlichkeiten in Molekülteilen bestehen mit dem Neurotransmitter Acetylcholin.

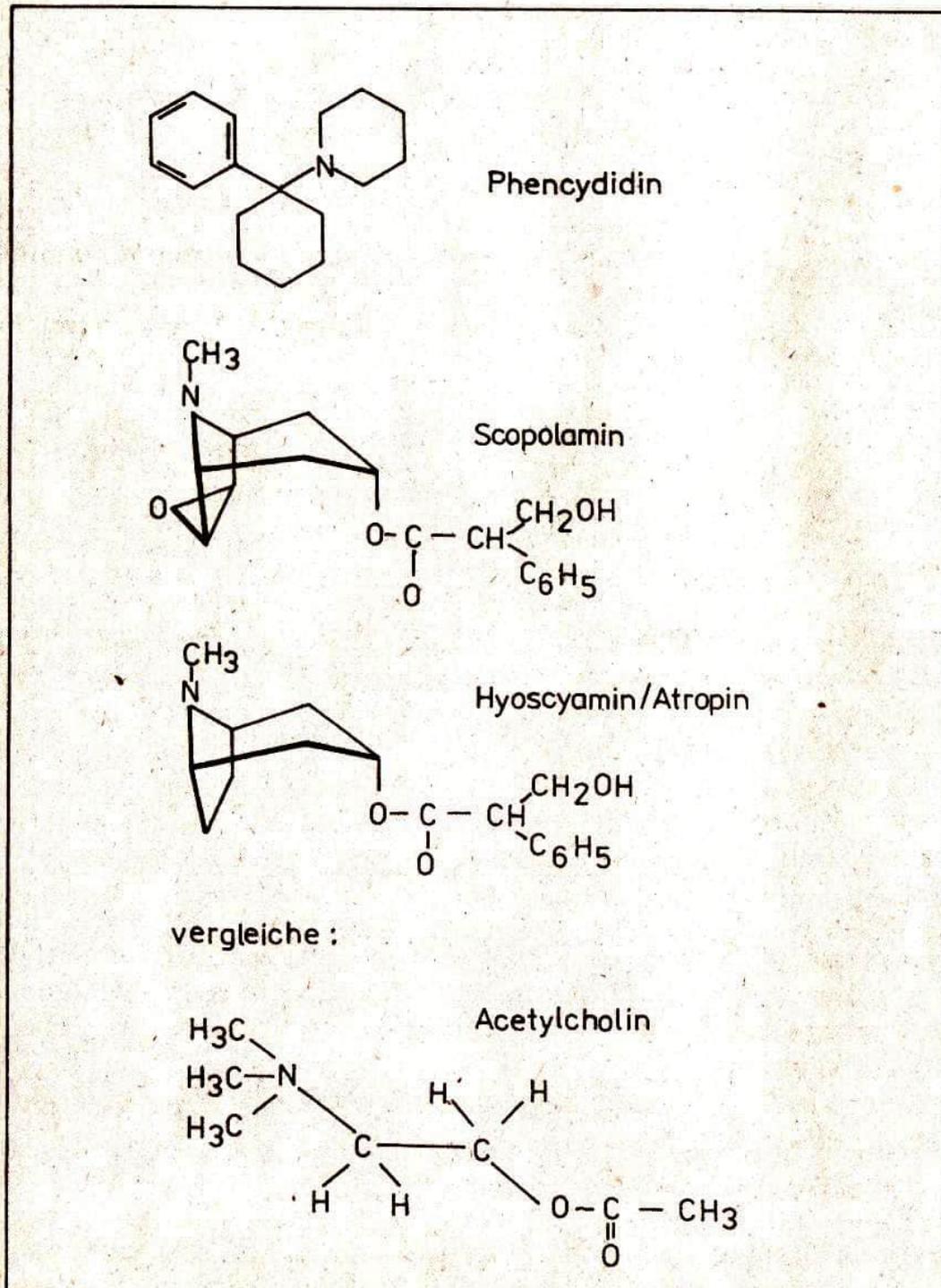


Abb. 3  
Piperidinderivate

Auch eine Reihe synthetischer Piperidinderivate zeigt ausgeprägte halluzinogene Aktivität, so z. B. das als „Engelsstaub“ bekannt gewordene PHENCYCLIDIN, das in den fünfziger Jahren als starkes Analgetikum und Anästhetikum entwickelt wurde, aber bereits 1965 wegen seiner psychotropen Nebenwirkungen in der Humanmedizin nicht mehr verwendet wurde. Oft werden sogenannte Horrortrips beschrieben, und bereits bei geringen Überdosen treten toxische Wirkungen wie Krämpfe bis zum Koma auf. Trotzdem war die Droge in den USA über Jahre das meistgebrauchte Halluzinogen.

Bereits zu den Psychokampfstoffen zählt man die Synthetika DITRAN und N-METHYL-3-PIPERIDYL-BENZILAT, die für 3 Tage Horrortrips, Angstpsychosen und Lähmungen bewirken.

### 5. Isoxazolderivate

Im alten Indien war „Soma“ eine zur Gottheit erhobene Rauschdroge. Erst 1968 wurde endgültig nachgewiesen, daß es sich dabei um den Fliegenpilz *Amanita muscaria* (*Agaricaceae*) handelte. Im Spätmittelalter wurde auch aus Nordeuropa und Teilen Rußlands der suchtmäßige Gebrauch des Fliegenpilzes bekannt. Der Pilz galt dort als Kostbarkeit, die dem Wert eines Rentieres entsprach. Allein aus diesem Grund wurde auch der Urin der Berauschten nochmals, sozusagen sekundär, verwertet. Oft wurde beobachtet, daß der unter dem Einfluß der Fliegenpilzdroge Stehende zu Gewalttätigkeiten neigt. Vielleicht rührt daher der Ausspruch: Er wütet wie ein Berserker (nordischer Volksstamm bzw. Krieger). Als aktive Wirkstoffe wurden von schweizer Forschern die IBOTENSÄURE und das MUSCIMOL charakterisiert. Obwohl auch hier gewisse Molekülteile dem Acetylcholin ähneln, dürfte dies für den Wirkungsmechanismus nicht entscheidend sein, denn das schon im vergangenen Jahrhundert isolierte MUSCARIN (das in psychoaktiven sibirischen Pilzen nicht gefunden wurde) besitzt bei ähnlicher Grundstruktur keine halluzinogene Potenz.

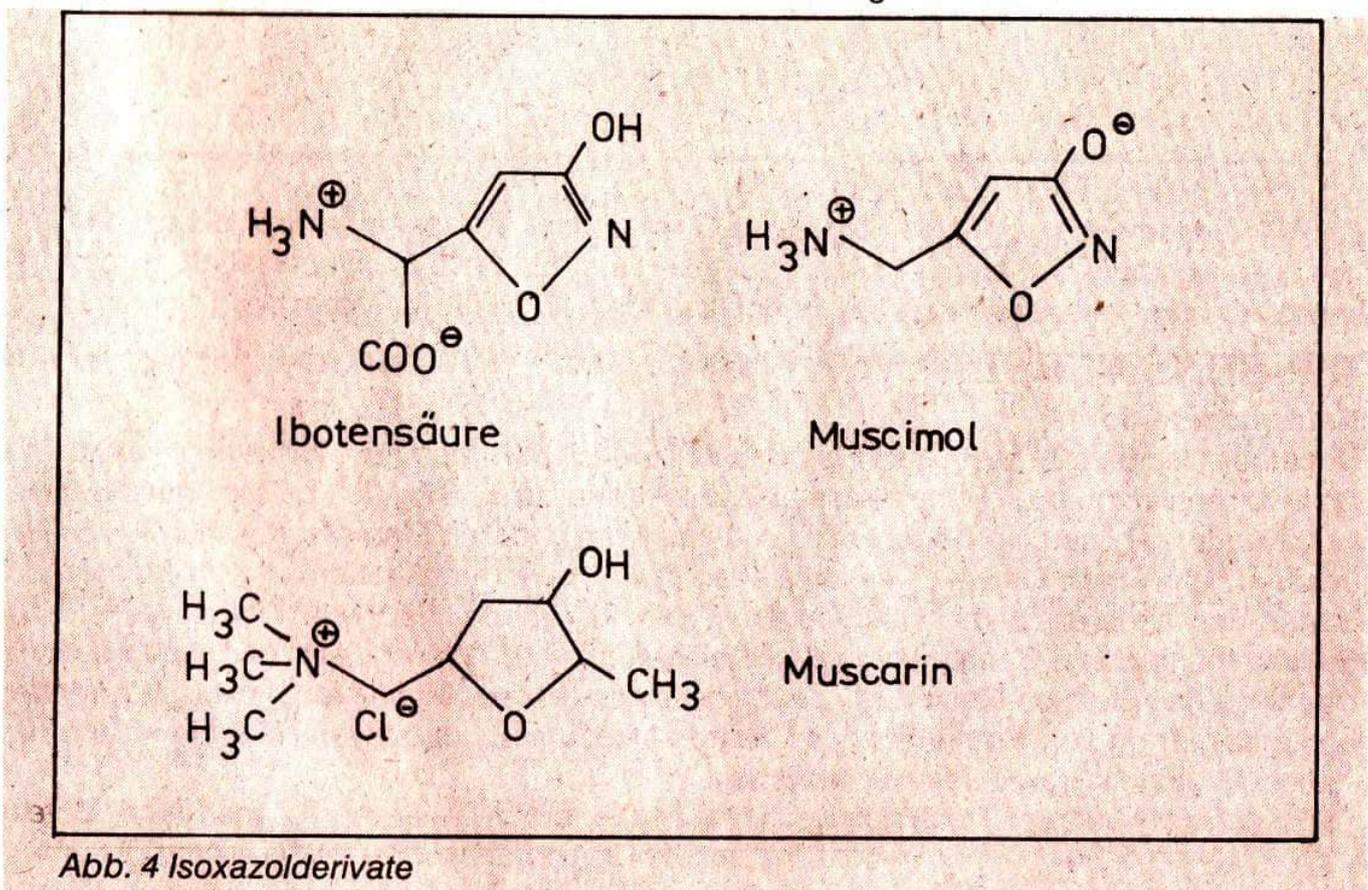


Abb. 4 Isoxazolderivate

## 6. Dibenzopyranolderivate

Die wohl bekanntesten Rauschmittel sind Haschisch und Marihuana (das Harz bzw. die Blätter des indischen Hanfs *Cannabis sativa* var. *indica*). Die klassischen Völkerschaften kannten und nutzten die Pflanze in verschiedener Weise. In China wird bereits um 200 v. u. Z. von ihrer betäubenden Kraft berichtet. Bis heute ist Cannabis in der westlichen Welt eine der Modedrogen geblieben, deren Gefährlichkeit, besonders als „Einstiegsdroge“ teilweise unterschätzt oder heruntergespielt wird. Unter einer ganzen Gruppe verwandter Inhaltsstoffe, den sogenannten Cannabinoiden, kommt allein dem  $\Delta^1$ -3,4-TETRAHYDRO-CANNABINOL (THC) die rauscherzeugende Wirkung zu.

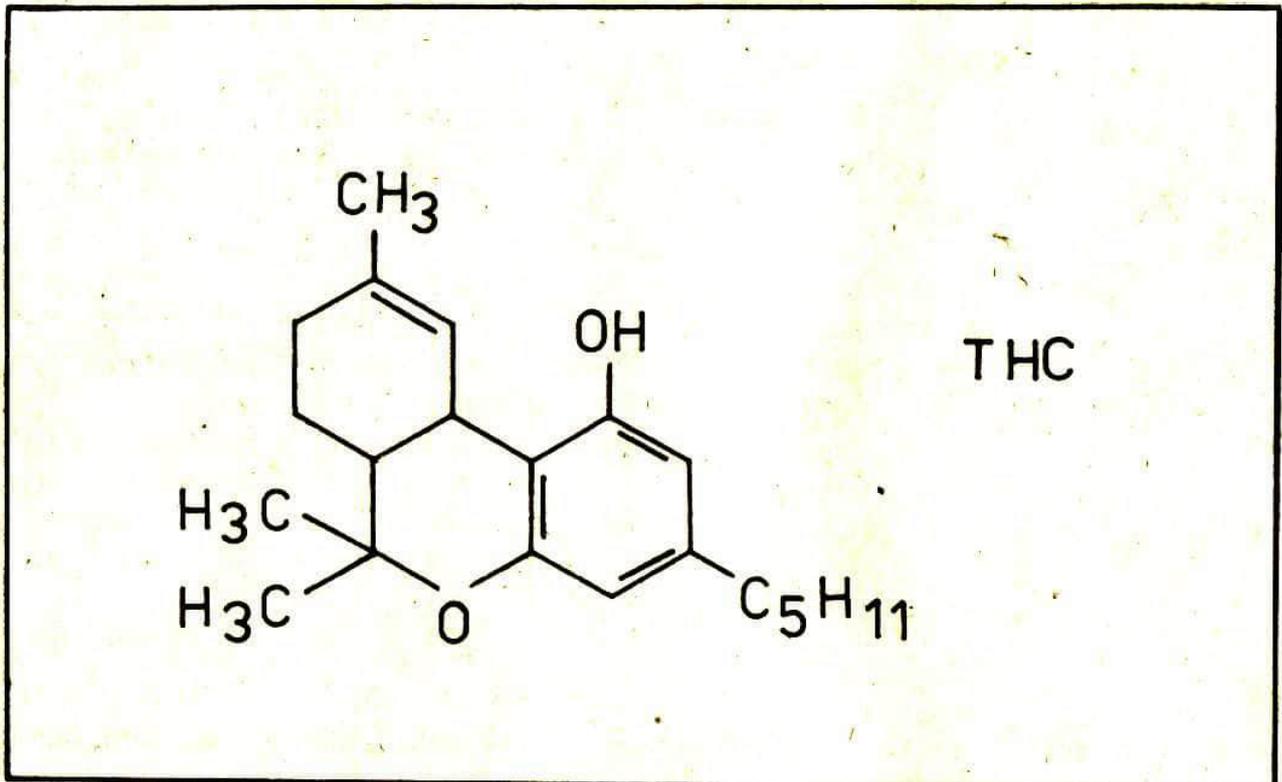


Abb. 5 Dibenzopyranolderivate

Der Wirkungsmechanismus der Dibenzopyranole dürfte etwas anders sein als bei den vorher besprochenen Substanzklassen, da keinerlei strukturelle Verwandtschaft zu den bekannten Neurotransmittern besteht. Endgültige Klarheit darüber besteht noch nicht.

## WISSENSWERTES

### Neutrinodetektoren

Neutrinos sind (fast?) masselose Elementarteilchen, ihre Ruhemasse ist bis heute als kleiner  $20 \text{ eV}/c^2$  bestimmt. (Vgl. Ruhemasse eines Elektrons: ca.  $500 \text{ keV}/c^2$ ,  $c$  – Lichtgeschwindigkeit) Neutrinos bilden, im Gegensatz zu den meisten anderen Elementarteilchen, einen Teil unserer natürlichen Umwelt. Sie entstehen bei den Kernreaktionen, die im Inneren der Sonne und anderer Sterne ablaufen. Das Neutrino wurde 1931 von Wolfgang Pauli zur Beschreibung des  $\beta$ -Zerfalls hypotetisch eingeführt, erst 1956 gelang der experimentelle Nachweis des Elektron-Neutrinos  $\nu_e$ , 1962 der Nachweis des Myon-Neutrinos  $\nu_\mu$ . Wir kennen heute drei Arten von Neutrinos: das Elektron-Neutrino  $\nu_e$ , das Myon-Neutrino  $\nu_\mu$  und das Tauon-Neutrino  $\nu_\tau$  sowie deren Antiteilchen.

Die elektrisch neutralen Neutrinos wechselwirken kaum mit anderen Teilchen. Von  $10^{21}$  auf  
(Fortsetzung auf S.31 unten)

**Lars Kästner**  
Redaktion **PENNE NEWS**

## **SCHÜLERZEITUNG IN GERA**

**PENNE NEWS** – eine grüne Tafel mit gelber Schrift. Sie steht seit Oktober 1988 im Atrium der EOS II „J. W. Goethe“ Gera.

Leider war ein Druck der Zeitung trotz vielfältiger Bemühungen nicht möglich. Die Schülerzeitung bringt monatlich eine neue Ausgabe. Den Themen sind dabei keine Grenzen gesetzt, von schulinternen über Annoncen, Politik, Computergrafiken, Interviews, Veranstaltungstips, Kunst und Kultur bis hin zu naturwissenschaftlichen Artikeln, wie ein Bericht über die Wasserrose (Feuchtraumbiotop in Gera), eine kurze Abhandlung zur Fraktaltheorie, verschiedene Beiträge zum Umweltschutz oder Informationen aus im-

puls 68, zum Beispiel der Artikel Wissenswertes aus Heft 1/89. (Bildungsreformfragen in der Sowjetunion).

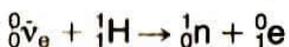
So wollte die Redaktion der **PN** auch den Beitrag „Das Element Uran und seine Folgen“, impuls 3/89, auszugsweise veröffentlichen. Dies wurde mit der Begründung, die Darlegung in impuls 68 ist wissenschaftlich widerlegt, nicht genehmigt.

Doch da uns bekannt ist, daß Rückschläge im Leben durchaus normal sind und dazu gehören, werden wir uns auch weiterhin um eine gute Qualität der **PENNE NEWS** bemühen.

(Fortsetzung von S. 30)

die Erde fallenden Neutrinos wechselwirkt nur ein einziges mit einem anderen Elementarteilchen, die anderen durchdringen die Erde völlig unbeeinflusst. Der experimentelle Nachweis von Neutrinos gestaltet sich damit trotz der großen Zahl einfallender Teilchen außerordentlich schwierig. (Eine Fläche von der Größe des Punktes am Ende dieses Satzes wird in der Sekunde von 100 Millionen Neutrinos durchsetzt.) Aber gerade die Beobachtung des Neutrinostroms, der ständig von der Sonne auf die Erde fällt, ist von großem Interesse, da er Einblicke ins Sonneninnere erlaubt, während die von der Sonne kommende elektromagnetische Strahlung im wesentlichen aus oberflächennahen Bereichen kommt. Die vor zwei Jahren im Gebiet der Magellanschen Wolke auftretende Supernova konnte mittels unter Bergmassiven aufgestellter Neutrinodetektoren nachgewiesen werden, damit wurde die Funktionstüchtigkeit solcher Detektoren endgültig unter Beweis gestellt. Neutrinodetektoren werden i. allg. unter Tage aufgestellt, um jegliche Störung durch Teilchen der Höhenstrahlung auszuschließen. So befinden sich im Kaukasus in 1500 m Tiefe einige 1000 t Detektormaterial in Kavernen.

Der Nachweis von Neutrinos erfolgt indirekt, durch die Registrierung der elektrisch geladenen Teilchen, die bei der Wechselwirkung von Neutrinos mit Nukleonen oder anderen Elementarteilchen entstehen. Z. B. sind folgende Prozesse möglich: (mit einem Querstrich bezeichnen wir die jeweiligen Antiteilchen)



Der Nachweis erfolgt durch Detektoren, die die sog. Cerenkov-Strahlung nachweisen, Strahlung, die entsteht, wenn ein elektrisch geladenes Teilchen mit der Geschwindigkeit  $v$  durch

ein Medium mit der Brechzahl  $n$  fliegt, wobei die Ungleichung  $v/c > 1/n$  erfüllt sein muß. Von dem amerikanischen Physiker Raymond Davis und seinen Mitarbeitern vom Brooklin National Laboratory wurde in einem Bergwerk in Lead (South Dakota) ein Neutrinodetektor aufgestellt.

In einem Tank befinden sich 500 000 Liter Äthylenchlorid, eine Chemikalie, die man u. a. zum Reinigen von Kleidung benutzt. Zum Nachweis der Neutrinos wird folgende Reaktion ausgenutzt:



Es wurden Methoden entwickelt, um das radioaktive Argon 37 abzutrennen und quantitativ nachzuweisen. Die Theorie sagt aus, daß in dem Tank pro Tag 5 bis 6 Neutrinos nachweisbar sein müßten, es wurden nur etwa 2 Neutrinos pro Tag gemessen.

Diese Unterschiede zwischen Theorie und Experiment sind nur schwer zu erklären, man weiß einfach zu wenig über das Neutrino.

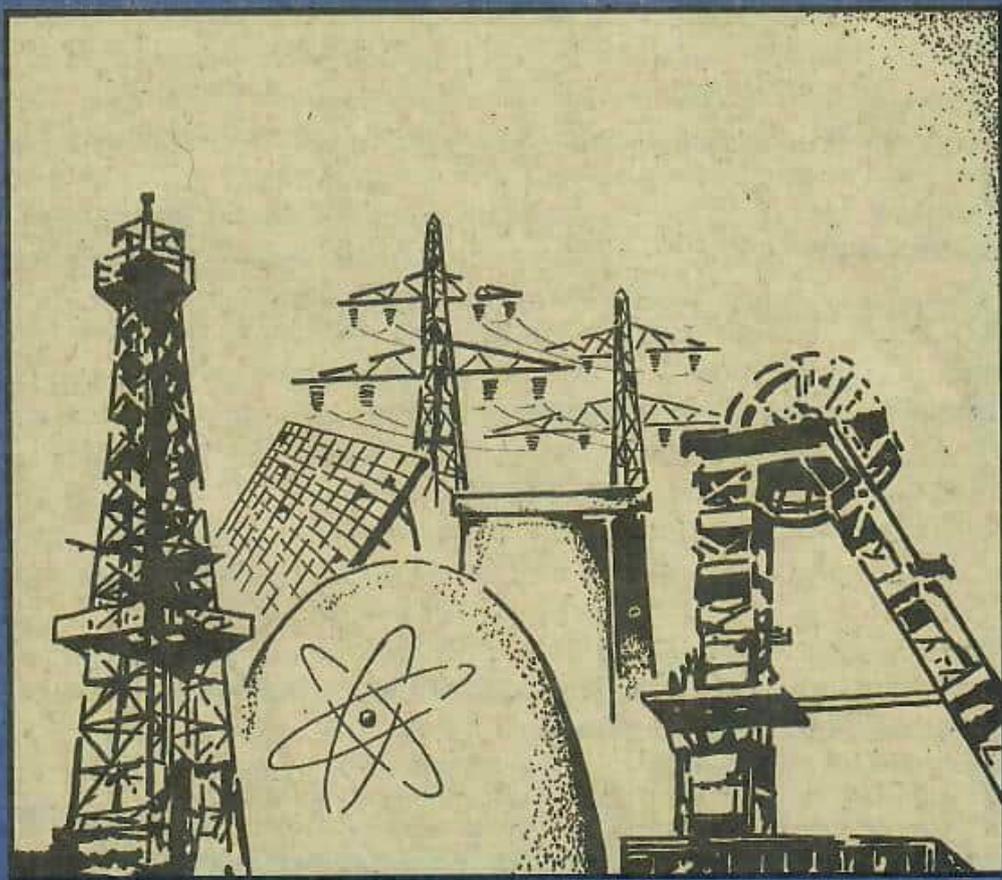
Wie „bild der wissenschaft“ (Heft 2/1989, S.20) mitteilt, wird derzeit im Pazifik-Becken von Wissenschaftlern aus den USA, der BRD, Japan und der Schweiz ein Neutrinodetektor vorbereitet, der als Nachweismedium Meerwasser verwendet. Für die Standortwahl war das klare Wasser und die geringe biologische Aktivität ausschlaggebend. Es sollen Myonen nachgewiesen werden, die bei der Wechselwirkung von Neutrinos mit den Nukleonen des Meerwassers entstehen. Die dabei ablaufenden Prozesse sind wesentlich komplizierter als die oben angegebenen Beispiele. In einer Probephase, bei der die Myonen der kosmischen Strahlung nachgewiesen wurden, waren an einem 60 m langen Kabel, welches in 4000 m Tiefe im Pazifik hing, 7 Multiplier befestigt. Der die Erdoberfläche (Meereshöhe) erreichende Teil der kosmischen Strahlung besteht zu 90 % aus Myonen. Registriert wurde die nach Myon-Nukleon-Stößen entstehende Cerenkov-Strahlung in 17 m Umkreis des Kabels. Der Neutrinodetektor soll auf 20 000 m<sup>2</sup> Fläche neun je 330 m lange Kabel enthalten, die jeweils mit 24 Multiplier bestückt sind.

*Wolfram Meinhardt*

# Impuls 68

Schülerzeitschrift  
für Physik, Chemie  
und Biologie

INDEX 322004 · ISSN 0232-9220 · 24. JAHRGANG · PREIS: 0,60 M



Geht uns die Energie aus?

2/90

# impuls 68

<i>A. Erdmann</i> In eigener Sache . . . . .	3
<i>Peter Kulle</i> Bioenergie . . . . .	4
<i>Wolfram Meinhardt</i> Physikalische Grundlagen der Kernenergienutzung . . . . .	10
<i>Andreas Erdmann</i> Energie von der Sonne . . . . .	20
Geht uns die Energie aus? . . . . .	25
<i>Olaf Fischer</i> Vom Rollen, Fallen und Werfen – bewegte Gedanken . . . . .	27
Buchbesprechung . . . . .	29

**impuls 68** – Schülerzeitschrift für Physik, Chemie und Biologie

Herausgeber: 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

Texterfassung: **impuls 68**

Textverarbeitung und Rollenoffsetdruck: Druckhaus Gera, AN (EDV) 13228

Chefredakteur: Andreas Erdmann; stellv. Chefredakteur: Burkhard Fleck

Redaktionsmitglieder: Peter Kroll Reiner Strobel, Wolfram Meinhardt, Matthias Müller, Andreas Chawala, Petra Richter, Steffen Steinberg, Gustavo Rodriguez Zurita, Peter Kulle, Norbert Gutmann, Michael Kempe

Gestaltung: **impuls 68**

Redaktionsschluß: 15. 1. 1990

Titelfoto: Geht uns die Energie aus? (nach Horizont 38/1979)

## In eigener Sache

In den letzten Monaten haben uns zahlreiche Zuschriften bezüglich der Hefte 2, 3 und 4/89 erreicht. Teilweise war es zu Verzögerungen bzw. Nichtzustellung von Heften gekommen. Da nun auch in unsere Presselandschaft endlich Offenheit eingezogen ist, können wir hier einmal Stellung beziehen. Eine kurze Chronik der Ereignisse:

Im März erscheint das Heft 2/89. Das Interview mit Prof. Hehl stößt auf den Widerspruch der damaligen Volksbildungsministerin. Prof. Hehl wird vor den Rektor der Friedrich-Schiller-Universität, Prof. Schmigalla, zitiert. Dort wird versucht, ihm klarzumachen, daß er im Interesse der Friedrich-Schiller-Universität keine persönliche Meinung, die gegen unser „Bildungskonzept“ gerichtet ist, zu äußern habe. Er solle seinen Einfluß auf die Redaktion ausüben, daß die begonnene Schülerdiskussion nicht veröffentlicht wird. Der Redaktion wird „dringlichst empfohlen“, auf den Abdruck einer uns vorliegenden Schülermeinung zur Gestaltung der Abiturstufe zu verzichten.

Im Mai erscheint Heft 3/89 mit dem Artikel „Das Element Uran: Geschichte und Gegenwart“ von Michael Beleites. Der Artikel setzt sich kritisch mit den Umweltfolgen des Uranabbaus auseinander. Das Literaturverzeichnis wird aus technischen Gründen (Hefeteilung mit Hilfe des neuen Druckverfahrens) nur unvollständig abgedruckt. Die Universitätsleitung fürchtet wieder Schwierigkeiten „von oben“. Nach einer Sitzung von Rektor, Universitätsparteileitung und FDJ-Leitung der Universität wird der Redaktion ultimativ mitgeteilt, daß a) der Vertrieb des Heftes 3/89 unverzüglich einzustellen ist und b) die zukünftigen Hefte einer Kommission zur Begutachtung vorzulegen sind.

Dementsprechend verzögert sich der Druck des Heftes 4/89 bis September. Für die Redaktion ergeben sich weitere personelle Konsequenzen. Klaus-Dieter Herbst, der mit seiner Arbeit zu einer wesentlichen Profilierung von „impuls 68“ beigetragen hatte, schied aus der Redaktion aus. Zum einen war er nicht bereit, seine Arbeit durch einen „Beirat“ überwachen zu lassen. Der Entzug der Eigenverantwortung nahm ihm einen Großteil seiner Motivation für eine weitere Mitarbeit. Andererseits wurde ihm aber auch von der Leitung seines Institutes „empfohlen“, sich künftig auf seine fachliche Arbeit zu konzentrieren. Darüber hinaus wurde ihm das Leistungsstipendium ab September 1989 entzogen.

Inzwischen haben sich die Zeiten geändert. Das Heft 3/89 kann mit einem frankierten A5-Umschlag bei uns bestellt werden. Die Arbeit einer „Beratergruppe“ entfällt. Klaus-Dieter Herbst ist wieder bereit, bei uns mitzuarbeiten und erhält hoffentlich ab Januar 1990 wieder sein Leistungsstipendium. Wir hoffen, daß auch Ihr als unsere Leser künftig viel intensiver bei der Gestaltung von „impuls 68“ mitarbeitet, sei es durch kritische Hinweise zu unserer Arbeit oder durch eigene Beiträge. Übrigens sind wir nicht nur an Artikeln, sondern auch an Karikaturen (schwarz/weiß) zur Auflockerung unserer Hefte interessiert. Vielleicht habt Ihr ein paar interessante Ideen? Die besten werden wir mit Bücherschecks prämiieren.

Noch eine weitere Neuerung: Ab diesem Jahr wollen wir von unseren Lesern den „Artikel des Jahres“ wählen lassen. Schreibt uns also Eure persönliche Reihenfolge der besten drei Artikel des Jahres 1989. Unter den Einsendern verlosen wir einen Bücherscheck und drei Jahresabonnements von „impuls 68“.

A. Erdmann  
Chefredakteur

**Peter Kulle**  
Friedrich-Schiller-Universität Jena  
Sektion Biologie

## Bioenergie

Das vergangene Jahrzehnt ist durch gewaltige Fortschritte auf den verschiedensten Gebieten der Biotechnologie gekennzeichnet. Welche Möglichkeiten sieht diese fachübergreifende Wissenschaft in der Nutzung regenerierbarer bzw. „nachwachsender“ Energiequellen?

Wir begeben uns damit auf das Gebiet der sogenannten *Bioenergetik*. Bioenergie basiert direkt oder indirekt auf der Sonnenenergie. Um es gleich vorwegzunehmen: Technische Systeme zur *direkten Nutzung* dieser universellen Energiequelle, die die Grundvoraussetzung für das Leben auf unserem Planeten darstellt, sind derzeit ökonomisch

nicht erstellbar. Man spekuliert mit Entwicklungszeiten von 15–20 Jahren. Sie führen im wesentlichen zu Wasserstoff oder elektrischer Energie.

Wasserstoff weist einige Eigenschaften auf, die ihn zu einem interessanten Energieträger der Zukunft machen. Bei gleicher Masse enthält er wesentlich mehr Energie als die bekannten Brennstoffe. Da er zu Wasser oxydiert, ist er umweltfreundlich einsetzbar. Über Entfernungen von mehr als 1000 km läßt er sich billiger als Strom transportieren. Probleme gibt es bei der Speicherung des im Gemisch mit Sauerstoff explosiven Gases.

Wasserstoff läßt sich mit Hilfe der unerschöpflichen Sonnenenergie aus dem ebenfalls universell verfügbaren Wasser abspalten. Vorbild für ein mögliches technisches Verfahren ist die Photolyse, ein Teilprozeß der Photosynthese der grünen Pflanzen, der unerlässlich für unsere Existenz (u. a. Sauerstoffproduktion) ist.

Die Photosyntheseorganellen, die chlorophyllhaltigen Chloroplasten, werden isoliert und an geeignete Trägerstoffe fixiert. D. h. man arbeitet mit sogenannten *zellfreien Systemen*. Die Anwendung ist bisher noch auf den Labormaßstab beschränkt.

Neben der Photosynthese der grünen Pflanzen ist die *bakterielle Photosynthese* von Interesse. Da hierbei keine Spaltung von Wasser auftritt, wird kein Sauerstoff freigesetzt. Der Wasserstoff stammt aus anorganischen Schwefelverbindungen ( $H_2S$ ) oder organischen Substanzen. Schwefelfreie Purpurbakterien bilden Wasserstoff im Sonnenlicht beim anaeroben ( $O_2$ -freien) Wachstum auf billigen zuckerhaltigen Substanzen, z. B. Abfällen der Lebensmittelindustrie, der Zuckerfabriken und der Papierherstellung.

Die erzeugten Mengen reichen noch nicht aus, um den biotechnisch erzeugten Wasserstoff konkurrenzfähig zu machen. Ökonomisch günstiger erscheint er dann, wenn man den Reinigungseffekt von Abwässern, ihre Entgiftung und die eventuelle Nutzung der Biomasse mitbetrachtet.

In sogenannten *Biobatterien* wird nutzbare elektrische Energie erzeugt. Das erste derartige System, in dem in Verbindung mit dem Stoffwechsel von Zellen und mit Enzymen ein elektrisches Potential aufgebaut wurde, stammt bereits aus dem Jahre 1911 und lieferte eine Spannung von 0,32 Volt.

Trotz der Weiterentwicklung und Fortschritten seit jener Zeit ist ein Durchbruch zur konkurrenzfähigen Elektroenergieerzeugung nicht in Sicht.

Mit Hilfe von Membranen des Bakteriums *Halobacterium halobium* gelang es, ein zellfreies System als *Solarzelle* aufzubauen. Diese Membranen enthalten Bakteriorhodopsin, einen

Protein-Farbstoff, der der bakteriellen Photosynthese dient. Isolierte, trägerfixierte Bakteriorhodopsin-Membranen lassen sich zu Elementen vereinigen. Erfolgreiche technische Anwendung setzt Erfolge bei der Zucht von Bakterienzellen mit möglichst viel Membranmaterial, die Abtrennung der Membranen und geeignete Trägersubstanzen sowie die richtige Orientierung der Membranen voraus.

Die Kosten derartiger Systeme schätzen amerikanische Autoren auf 0,2 Dollar/Watt – also wesentlich billiger als für herkömmliche Solarzellen.

Produktion und Verbrauch von Treibstoffen haben phantastische Größenordnungen erreicht: Allein in der Bundesrepublik Deutschland wurden 1984 rund 32 Milliarden Liter Benzin und Diesel verfahren!

Kann man *Bioalkohol* als Alternative dazu betrachten?

In den letzten Jahren sind Bioalkohol-Fabriken in Brasilien wie Pilze aus dem Boden geschossen. Die Jahresproduktion beläuft sich schon jetzt auf 4 Milliarden Liter. Etwa die Fläche der BRD ist in Brasilien mit Zuckerrohr für die Bioalkoholerzeugung bepflanzt. Bei der Vergärung des zuckerhaltigen Extraktes durch Hefepilze entsteht das kostbare Produkt.

Brasiliens Automobile fahren schon jetzt mit Kraftstoff, der 10-15 % Alkohol enthält. Dennoch sind staatliche Subventionen nötig, da Bioalkohol immer noch teurer als Benzin ist.

Ist der brasilianische Weg auf Europa übertragbar?

Innerhalb der Europäischen Gemeinschaft sind beträchtliche Agrarüberschüsse vorhanden. Aus diesen könnte Bioalkohol erzeugt werden.

Tabelle 1: Bedarfsdeckung in der Europäischen Gemeinschaft durch Eigenproduktion (1980)

Produkt	Deckung in %
Milch	112
Fleisch	102
Zucker	124
Getreide	107
Mais	66
Pflanzenöl	25
Holz und Zellulose	48

EG-Überschuß an Getreide 6,4 Mill. t 1985

25 Mill. t 2000

(nach Angaben der Kommission der Europ. Gemeinschaft)

Zuckerrüben würden z. Z. pro Fläche den meisten und billigsten Alkohol liefern: Man schätzt 5,4 Liter/Hektar. Das entspricht 0,92 DM pro Liter Alkohol (bei 75 t/ha Ertrag) bei einem Rüben-Zuckergehalt von 12%. Kalkulieren könnte man mit erreichbaren 7,5 Litern Alkohol pro Hektar (105 t/ha) bei weiterer Ertragssteigerung.

Bei Getreide (57% Stärke) ist die Situation etwas anders: 1,59 Liter Alkohol pro Hektar (4,5 t/ha Ertrag) entsprechen 1,43 DM/Liter. Man rechnet mit erreichbaren 2,3 l/ha, was Erträge von 6,5 t/ha voraussetzt. (Preisangaben enthalten keine Steuern.)

Ein Fünftel der Fläche der BRD müßte mit Zuckerrüben bepflanzt werden, wollte man den gesamten Treibstoffbedarf der Bundesrepublik mit Bioalkohol decken. Das ist und bleibt natürlich eine Utopie. Trotz der gegenüber Benzin und Dieselkraftstoff vergleichsweise hohen Herstellungskosten sollte mit Hilfe staatlicher Subventionen der Bau von Bioalkohol-Anlagen gefördert werden.

Von Interesse für die Energieversorgung sowohl der Industrieländer als auch der Entwicklungsländer ist die Produktion von *Biogas*. Es besteht zu 40–65 % aus Methan, 35–60 % Kohlendioxid und Spuren einiger anderer Gase, vor allem  $H_2S$ . Es entsteht in der Natur überall dort, wo in Abwesenheit von Sauerstoff organisches Material von Mikroorganismen umgesetzt wird.

Zu solchen sauerstofffreien Bereichen gehören nasse Böden, insbesondere aber die schlammigen Sedimente von Flüssen, Seen und Ozeanen. Sie sind Lebensraum der Methanbakterien, und dort vollzieht sich eine Methanproduktion gigantischen Ausmaßes. Sie wird weltweit auf 700 Mill. Tonnen pro Jahr geschätzt. (Zum Vergleich: Die Erdgasförderung betrug 1980 1600 Mill. Tonnen.)

Der Energieinhalt pro Kubikmeter Biogas entspricht mit 20–25 MJ etwa einem halben Liter Benzin oder einem Liter Alkohol. Zur Bildung dieser Menge genügen etwa 2 kg trockene organische Substanz.

Den Gedanken, Biogas als Brennstoff einzusetzen, verwirklichte man bereits um 1850 erstmals in einer indischen Leprakolonie. In Europa dienten seit 1890 bei der Faulung von Abwasserschlämmlinien entstehende Gasmengen zum Heizen der Faulbehälter. Überschüssiges Gas gelangte in die öffentliche Gasversorgung.

Für die Gewinnung von Biogas kommen folgende Ausgangsmaterialien in Frage:

- 1) Klärschlämme, die in gewaltigen Faultürmen einer bakteriellen Zersetzung ausgesetzt sind,
- 2) Rückstände aus der Lebensmittelindustrie (z. B. Brauereischlamm, Abwässer aus Molkereien, Zuckerfabriken bzw. Schlachthöfen,
- 3) Hausmüll,
- 4) Pflanzenmaterial (z. B. Stroh) sowie Abfallprodukte der Tierproduktion (z. B. Dung, Gülle).

Der letztgenannte Punkt bedarf noch einer näheren Erläuterung. Eine uralte bäuerliche Praxis besteht darin, Pflanzenmaterial sowie tierische Abprodukte dem Boden wieder zuzuführen, und zwar in einer solchen Form, daß sie von den Boden-Mikroorganismen optimal genutzt werden und damit zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit beitragen. Doch wie sieht das heute aus? Der moderne Mensch „erfand“ die industrielle Produktion in der Landwirtschaft. Fort waren die jahrhundertealten bäuerlichen Erfahrungen und Praktiken, die im Einklang mit der Natur standen. An ihre Stelle trat ein übersteigertes Ertragsstreben, auf Kosten der Natur – letztlich auf Kosten unser selbst. Die Chemie trat einen gewaltigen „Siegeszug“ an. Wohin wird das führen? Unsere Böden degenerieren, der Mensch begeht Suizid.

Im Zuge all dieser Veränderungen in der Landwirtschaft, auch Fortschritt genannt, entstand u.a. ein riesiges Meer lästigen Abfalls – ein gewaltiges Meer an Gülle aus der Intensivhaltung unserer Tiere. (In der DDR werden ca 60 % der Rinder und Schweine in Intensivhaltung auf Güllebasis gehalten.) Welcher Wahnsinn sich aus ökologischer Sicht hinter dieser Entwicklung verbirgt, begreift man heute nach und nach: gewaltige lokale Probleme resultieren aus der Gülleanwendung (Waldschäden, Grundwasserprobleme, Transportaufwendungen etc.). Wohin mit diesen Unmengen?

Auch die Biogasgewinnung aus Gülle stellt in diesem Zusammenhang keine befriedigende Alternative, sondern vielmehr einen kläglichen Versuch dar, der Massentierhaltung und ihren Begleit- bzw. Folgeerscheinungen einen Funken Positives abzugewinnen.

Doch gehen wir trotzdem einigen Überlegungen nach, aus oben genannten Ausgangsmaterialien Biogas gewinnen zu können.

Weniger als 3 % des Energiebedarfs in Europa kann mit Biogas gedeckt werden. Es wird

also herkömmliche Energiequellen unter unseren Verhältnissen nicht ersetzen. Würde beispielsweise die Landwirtschaft ihre gesamten Abfälle der Biogasproduktion zuführen, so lieferte das nur 8% der allein von den landwirtschaftlichen Betrieben benötigten Energie. Was sind die Gründe dafür?

Methanbakterien arbeiten relativ langsam, was Verweilzeiten des organischen Materials im Faulgasbehälter von 15 bis 20 Tagen notwendig macht. Darüber hinaus bevorzugen Methanbakterien Temperaturen oberhalb von 35 Grad Celsius. Der riesige Faulgasbehälter mitsamt seinem Schlamm und Wasser muß daher ständig beheizt werden. Das ist besonders aufwendig, wenn die Außentemperaturen sehr niedrig sind. Selbst bei Außentemperaturen von 20 Grad Celsius müßten 53% der aus Biogas gewinnbaren Energie für den Betrieb der Anlage verbraucht werden!

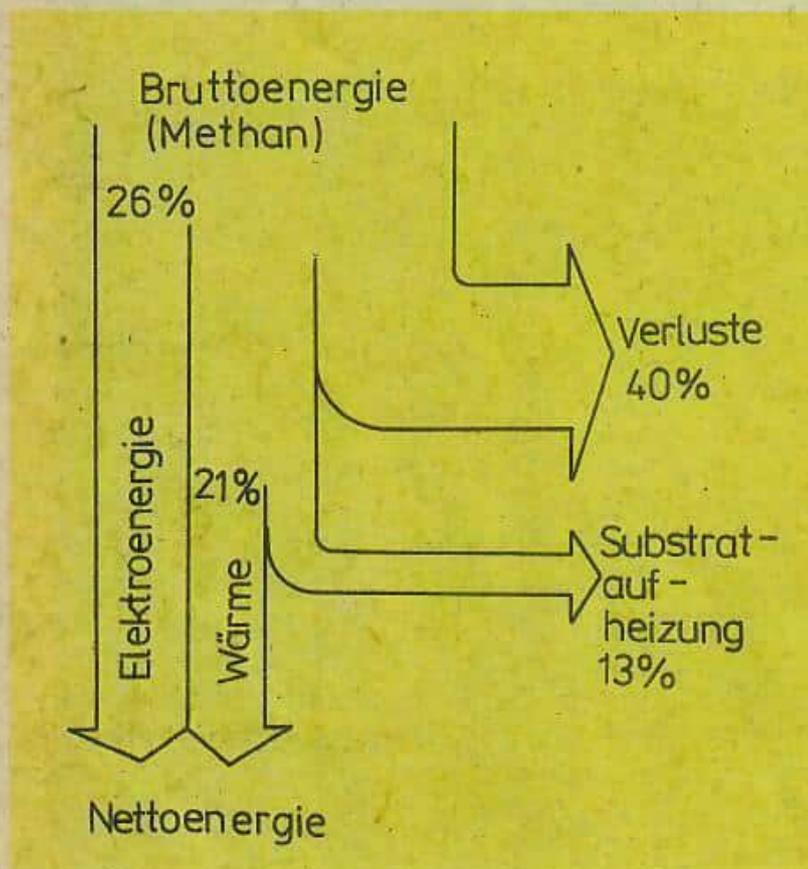


Abb. 1: Energiebilanz bei der Energiegewinnung über Methanbakterien

In den klimatisch begünstigten asiatischen Ländern haben allerdings derartige Anlagen besonders in der Landwirtschaft energiewirtschaftliche Bedeutung. In Indien, China, Pakistan, Südkorea, Thailand und auf den Philippinen sind mehrere tausend Biogasreaktoren mit wechselndem Erfolg installiert worden. Probleme ergeben sich hier vor allem aus hohen Installationskosten, Anfälligkeit der Reaktoren gegen Temperaturschwankungen im Sommer und Winter und der Notwendigkeit einer gewissen Menge vergärbaren Materials mit verhältnismäßig konstanter Zusammensetzung. Die häufigste Reaktorform in den Entwicklungsländern ist eine kugelförmige bis elliptische, mittels Ziegeln unter der Erde gemauerte Faulgrube mit einem Fassungsvermögen von 4 bis max. 30 m<sup>3</sup>.

Etwa 70000 Anlagen vom sogenannten „Gobar-Typ“ werden in Indien betrieben. Diese werden sukzessiv, dem Gasdruck entsprechend, mit tierischen und auch menschlichen Fäkalien, zellulosehaltigen Abfällen aus der Pflanzenproduktion und Wasser gefüllt. Die täg-

lich gebildete Gasmenge kann  $0,1-0,2 \text{ m}^3$  je  $\text{m}^3$  Faulraum betragen und den Familienbedarf einer Familie decken. So können andere Energieträger, in den Entwicklungsländern vor allem Holz, geschont werden.

Auch in China ist Brennmaterial von jeher knapp, die Energieversorgung schwierig, insbesondere in abgelegenen Gebieten ist Elektrizität nicht überall verfügbar. Die Biogastechnik versorgt bereits 800 Millionen Landbewohner.

Doch treten immer wieder Schäden an der Apparatur auf. Risse in der Wandung der Güllebehälter lassen sich schlecht orten und reparieren, da diese im Boden eingelassen und daher schwer zugänglich sind. Luftsauerstoff dringt in die Tanks, sodaß anaerobe Prozesse behindert werden und sogar zum Erliegen kommen können. Entsorgungsarbeiten, wie die Beseitigung des „verbrauchten“ organischen Materials, sind bei den Betreibern wenig beliebt, denn die Geruchsbelästigung ist groß.

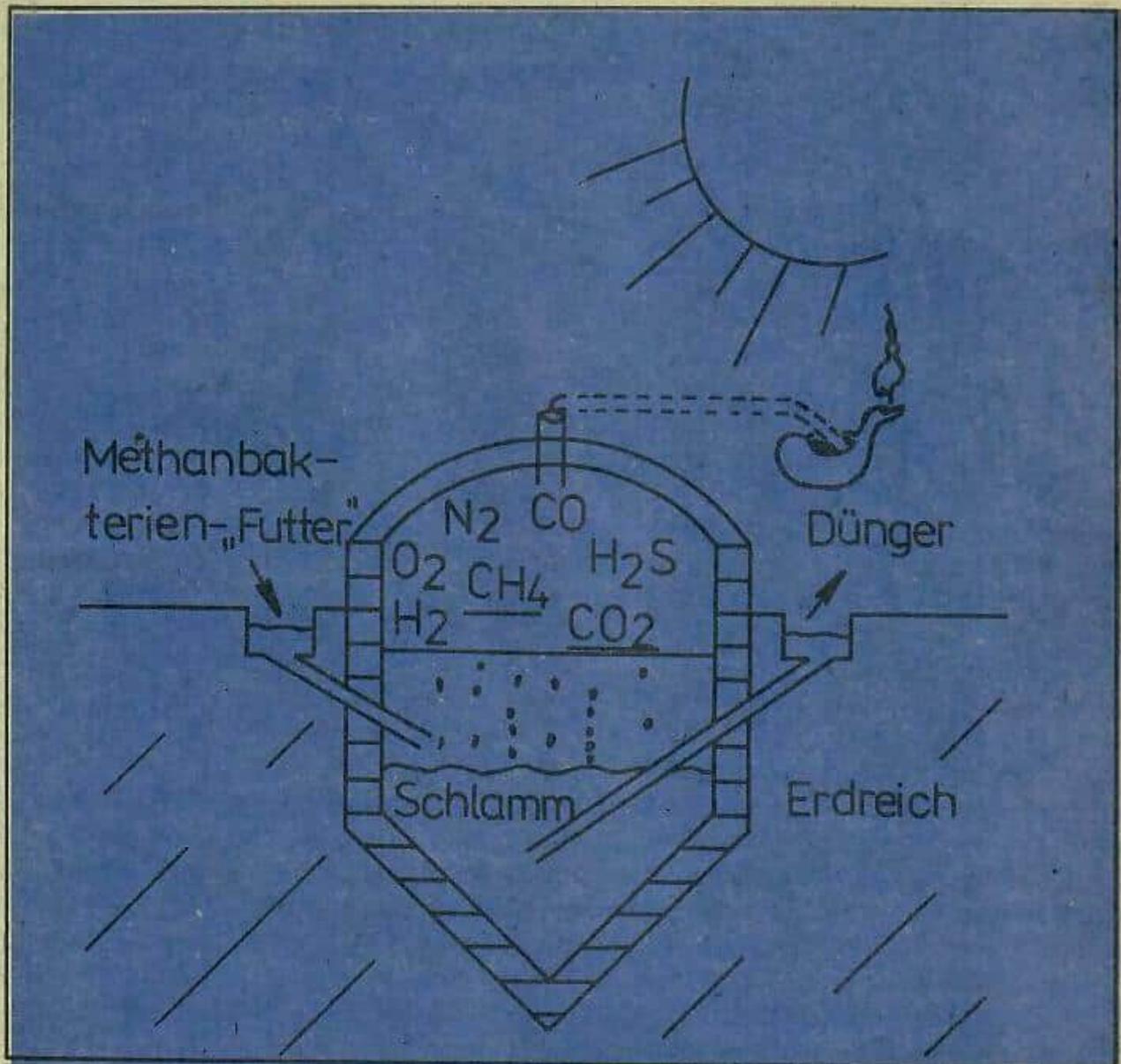


Abb. 2: Einfache Biogasanlage (Indien, China)

Jüngst entwickelte man rechteckige Biogasbehälter aus Betonplatten, die eine schräge Abdeckung aus dunklem Glas aufweisen. Infolge der Sonnenstrahlung erwärmt sich der Inhalt wie in einem Treibhaus um etwa 10 Grad. Wärme fördert den Gärungsvorgang und damit die Bildung von Biogas. Die Ausbeute kann um 50 % steigen. Für das klimatisch kältere Nord-China bedeutet die „Solarhilfe“ eine Verlängerung der Produktionszeit um 2 Monate.

Eine Familie benötigt pro Tag ca. 1 m<sup>3</sup> Biogas für Beleuchtung und Heizung. Mit dem neuentwickelten Verfahren genügen nun Behälter von 1 m<sup>3</sup> Volumen; bislang war ein 8-m<sup>3</sup>-Generator dafür nötig. Die gesamte Apparatur ist nun handlicher und sicherer.

1987 erhielt eine Biogasanlage in einem Zisterzienserkloster Nordirlands einen der drei begehrten Preise, die jährlich für umweltschützende technologische Entwicklungen zur Beseitigung von Abfällen vergeben werden. Aus landwirtschaftlichen Abfällen wird hier Biogas und Kompost erzeugt. Mit den täglich anfallenden 450 m<sup>3</sup> Biogas werden die Zentralheizung des Klosters versorgt und das eingebrachte Getreide getrocknet. Der erzeugte Kompost wird in Säcke abgefüllt und verkauft, verbleibende flüssige Abprodukte düngen Weizenfelder. Der 210 m<sup>3</sup> fassende Behälter kann täglich bis zu 14,4 t Abprodukte verarbeiten. Die Vorteile der Anlage sind beträchtlich: Die Mönche sparen pro Monat rund 1000 £ Heizungskosten.

Die kalifornische Firma National Energy Associates betreibt ein Kraftwerk, in dem Kuh-Kot von 15 Mastbetrieben verheizt wird. (Der bisherige Abtransport des Kotes auf Müllkippen kam zu teuer! Angeblich zu hoher Salzgehalt sowie Gehalt an Unkrautsamen würde den Kot als Dünger unbrauchbar machen!) Es werden täglich ca. 800 t Kot zu einem Preis von 1 Dollar pro Tonne Dung verbrannt. Seit dem letzten Winter wird diese Energie in das örtliche Energienetz eingespeist: 15–20 000 Haushalte werden versorgt.

Zur Zeit befindet sich ein neues Projekt im Bau: ein 17 MW-Werk soll entstehen. 250 000 Kühe werden dafür „benötigt“.

In Indien ist es ebenfalls üblich, tierischen Kot zu verbrennen. Kuh-Dung – und dieser fällt in einem Land, in dem die Kuh ein heiliges Tier ist reichlich an (man schätzt landesweit über 10 Millionen Tiere) – wird zu runden Fladen geformt, in der Sonne getrocknet, in dieser Form auch lagerfähig, und schließlich zum Beheizen der Öfen benutzt.

#### Zusammenfassung:

Insgesamt ist die Rohstoffbasis für die indirekte Nutzung von Produkten der Photosynthese noch schmal: Von den 3–4 Mrd. Tonnen des land- und forstwirtschaftlichen Rohstoffaufkommens geht die überwiegende Menge in die Nahrungsversorgung und Industrie. Das wird so bleiben, bis Anbaumöglichkeiten für entsprechende „Energie-Pflanzen“ – bei gesicherter Versorgung des Menschen mit Nahrungsmitteln – existieren und die Wirkungsgrade der entsprechenden technischen Anlagen entscheidend verbessert werden. Gegenwärtig sind nur Abprodukte verfügbar, die allerdings regional erhebliche Mengen ausmachen und nennenswerte Beiträge zur Energieversorgung bringen können.

**HEUTE**  
Bohnen-  
eintopf



**Wolfram Meinhardt**  
Friedrich-Schiller-Universität Jena  
Sektion Physik

## Physikalische Grundlagen der Kernenergienutzung

### 1. Einführung

Dieser Artikel ist der Auftakt einer kleinen Serie über Kernenergie, deren Ziel es ist, Wissen über die Physik der Kernspaltung, über Chancen und Risiken der Kernkraftnutzung zu vermitteln.

### 2. Physikalische Grundlagen

Der Urankern zerfällt nach Neutroneneinfang in zwei Bruchstücke, deren Kernladungen sich zu 92, der Kernladungszahl des Urans, addieren. Um sich den Vorgang der Kernspaltung des  $^{235}_{92}\text{U}$  zu veranschaulichen, stellt man sich den Atomkern als kugelförmigen Tropfen vor (*Tröpfchenmodell*). Dies ist die energetisch günstigste Form, da eine Kugel die kleinstmögliche Oberflächenenergie besitzt. Ein absorbiertes Neutron bringt soviel Energie mit, daß der Kern deformiert wird (d. h. Vergrößerung der Oberflächenenergie) und Schwingungen ausführt. Dabei nimmt der sich zwischenzeitlich bildende Kern  $^{236}_{92}\text{U}$  eine Hantelform an. Die beiden dabei entstehenden positiven Ladungsschwerpunkte stoßen sich ab, der Kern zerreißt. Beide Bruchstücke und eine gewisse Anzahl freier Neutronen (hier: 3) fliegen mit hoher Energie auseinander.

gel die kleinstmögliche Oberflächenenergie besitzt. Ein absorbiertes Neutron bringt soviel Energie mit, daß der Kern deformiert wird (d. h. Vergrößerung der Oberflächenenergie) und Schwingungen ausführt. Dabei nimmt der sich zwischenzeitlich bildende Kern  $^{236}_{92}\text{U}$  eine Hantelform an. Die beiden dabei entstehenden positiven Ladungsschwerpunkte stoßen sich ab, der Kern zerreißt. Beide Bruchstücke und eine gewisse Anzahl freier Neutronen (hier: 3) fliegen mit hoher Energie auseinander.

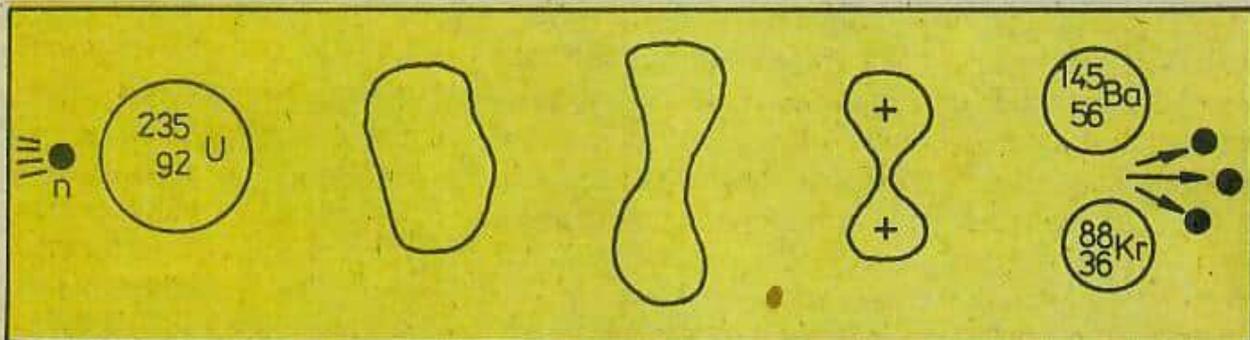


Abb. 1: Tröpfchenmodell der Kernspaltung

Nicht alle Kerne sind gleich leicht spaltbar. Entscheidend für eine Kernspaltung ist, daß die Anregungsenergie ausreicht, um eine Energieschwelle, die sogenannte *Spaltbarriere* zu überwinden. Die Energie des einfallenden Teilchens im Kerninneren setzt sich aus seiner kinetischen Energie (Einschubenergie) und der Bindungsenergie zusammen. Durch Stoßprozesse mit den Kernbestandteilen verteilt sich diese Energie statistisch auf die Nukleonen im Kern. Es entsteht ein angeregter Kern, der, wenn die Anregungsenergie größer als die Spaltbarriere ist, in zwei, im allgemeinen verschieden schwere Bruchstücke zerfällt. Messungen haben ergeben, daß besonders schwere Kerne schon im Grundzustand nicht mehr kugelförmig sind, deshalb sind diese bereits durch sehr langsame (thermische) Neutronen spaltbar.

Da die Bindungsenergie eines eingefangenen Neutrons und die Höhe der Spaltbarriere von Nuklid zu Nuklid unterschiedlich ist, ergibt sich für verschiedene Nuklide unterschiedliche Spaltbarkeit. Dies soll am Beispiel der Uranisotope  $^{235}\text{U}$  und  $^{238}\text{U}$  verdeutlicht werden. Im Uranisotop  $^{235}\text{U}$  beträgt die Bindungsenergie des eingefangenen Neutrons 6,5 MeV, die

Spaltbarriere des  $^{236}\text{U}$  liegt jedoch bei 6,0 MeV, d. h. zur Spaltung des  $^{235}\text{U}$  reichen thermische Neutronen aus. Fängt ein  $^{238}\text{U}$ -Kern ein Neutron ein, dann werden 6,0 MeV Bindungsenergie frei. Das reicht nicht aus, um die 7,0 MeV hohe Spaltbarriere des  $^{239}\text{U}$  zu überwinden. Deshalb muß das einfallende Neutron mindestens eine kinetische Energie von 1 MeV haben, wenn damit eine Kernspaltung ausgelöst werden soll./2/

Für den Einfang eines Neutrons ist eine Größe besonders wichtig, der *Wirkungsquerschnitt*, im Falle der Untersuchung von Kernspaltungen auch *Spaltquerschnitt* genannt.

### INFORMATIONSKASTEN Wirkungsquerschnitt

Fällt ein Strom von Teilchen auf eine Substanz (Target), dann werden einige einfallende Teilchen mit Targetteilchen zusammenstoßen. Die Wahrscheinlichkeit dafür, daß dabei ein Wechselwirkungsprozeß (z. B. elastische Streuung, Einfang von Teilchen u. a.) stattfindet, wird Wirkungsquerschnitt  $\sigma$  genannt.

$$\sigma = \frac{\text{Anzahl der beobachteten Reaktionen}}{\text{Anzahl der auftreffenden Teilchen pro cm}^2}$$

Der Wirkungsquerschnitt hat die Dimension einer Fläche und wird üblicherweise in Barn (barn (engl.) – Scheune) gemessen. Das SI-System schreibt die Einheit Femtometerquadrat vor.

$$1 \text{ Barn} = 1 \text{ b} = 10^{-24} \text{ cm}^2 = 100 \text{ fm}^2$$

Mit der Bezeichnung Barn soll angedeutet werden, daß für ein Nukleon ein Barn so groß wie ein Scheunentor ist. Der Wirkungsquerschnitt hat mit dem geometrischen Querschnitt nichts zu tun.

Der Wirkungsquerschnitt für eine Kernreaktion wird nicht nur durch die Eigenschaften des Targetkerns, sondern auch durch die des einfallenden Teilchens, vor allem seiner Geschwindigkeit, bestimmt. Man kann berechnen, daß der Wirkungsquerschnitt für den Einfang eines Neutrons proportional zu  $1/v$  ist. ( $v$  – Geschwindigkeit des einfallenden Neutrons). Noch ein Wort zur Schwierigkeit, den Atomkern mit einem Neutron zu treffen. Das Atom ist im wesentlichen leer. Der Kern, in dem fast die gesamte Masse des Atoms konzentriert ist, hat einen rund eine Milliarde mal kleineren geometrischen Querschnitt als das Atom. „Die Trefferwahrscheinlichkeit ist nicht größer, als wenn jemand bei Nacht in einer Gegend, wo Enten selten sind, mit einem Gewehr in der Hand aufs Geratewohl in den Himmel schießt.“ (A. Einstein) (nach /1/)

Auf Grund der  $1/v$ -Abhängigkeit steigt der Wirkungsquerschnitt für thermische Neutronen stark an.  $^{235}\text{U}$  hat einen großen Spaltquerschnitt für thermische Neutronen, dagegen ist der Wirkungsquerschnitt des  $^{238}\text{U}$  für die zur Spaltung notwendigen Neutronen mit Energien um 1 MeV sehr klein. Deshalb ist  $^{238}\text{U}$  zur Verwendung als Kernbrennstoff ungeeignet. Die Größe der bei einer Spaltung des Urankerns entstehenden Bruchstücke ist vom Zufall abhängig. Es zeigt sich jedoch, daß der Fall zweier gleich großer Bruchstücke sehr selten ist, es entstehen in den meisten Fällen zwei Kerne mit einem Massenverhältnis von ca. 2 : 3. Dies kann man mit dem Schalenmodell des Kernaufbaus erklären, was aber hier zu weit führen würde. Bei jeder Kernspaltung entstehen noch eine gewisse Anzahl von (prompten) Neutronen, meist 2 bis 3. Die Spaltprodukte des Urans sind im allgemeinen radioaktiv, und zwar

$\beta^-$ - und  $\gamma$ -Strahler. Schwere Kerne besitzen im Verhältnis mehr Neutronen als leichte und mittelschwere Kerne. Die  $\beta^-$ -Strahlung entsteht, wenn sich in den Spaltprodukten überschüssige Neutronen in Protonen umwandeln. Die Spaltprodukte befinden sich im angeregten Zustand (in den Reaktionsgleichungen durch einen Stern charakterisiert) und geben einen Teil ihrer Energie in Form von  $\gamma$ -Strahlung ab.

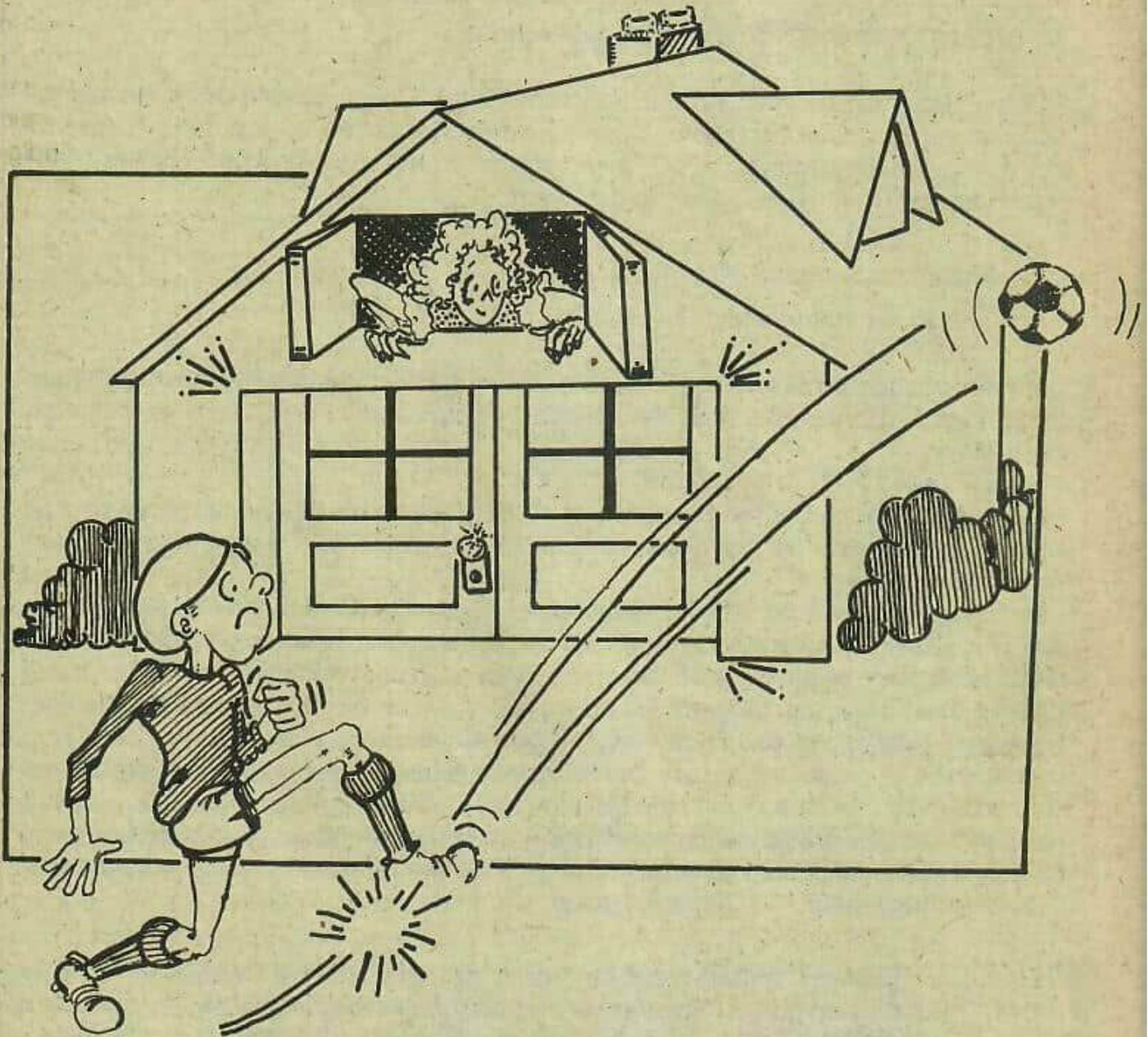
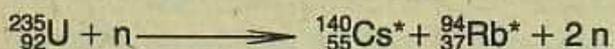
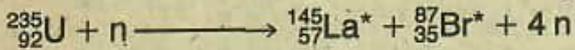
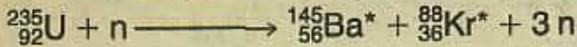


Abb.2:  $\sigma = 1 \text{ Treffer}/10 \text{ Schuß pro Scheunentorfläche}$   
 $= 0,1 \text{ Scheunentorfläche}$

Einige Beispiele für mögliche Uranspaltungen: //





Neben den prompten Neutronen entstehen im Zeitraum von 0,05s bis 56s nach der Kernspaltung noch eine gewisse Anzahl (verzögerter) Neutronen. /1/ Diese sind für die Steuerung der Kettenreaktion in einem Reaktor besonders wichtig. Insgesamt treten etwa 0,65 % der Spaltneutronen als verzögerte Neutronen auf. /4/

Durch Spaltung eines schweren Atomkerns wird Energie freigesetzt, die Reaktion verläuft exotherm. Wo kommt diese Energie her?

Bei allen Atomkernen ist das Phänomen beobachtbar, daß die Masse des Atomkerns kleiner ist als die Summe der Massen seiner Bausteine. Diese Differenz wird als *Massendefekt* bezeichnet. Mit dem Massendefekt steht über die Gleichung  $E = mc^2$  ( $c$  – Lichtgeschwindigkeit) die Bindungsenergie in Zusammenhang. Diese ist negativ, da sie beim Aufbau des Kerns frei wird. Betrachten wir die Abbildung 3, so stellen wir fest, daß ab einem Minimum bei  $A \approx 56$  (Gebiet um Eisen) die Bindungsenergie pro Nukleon zu größeren Massenzahlen betragsmäßig kleiner wird. Deshalb wird bei der Spaltung eines schweren Kerns Energie frei.

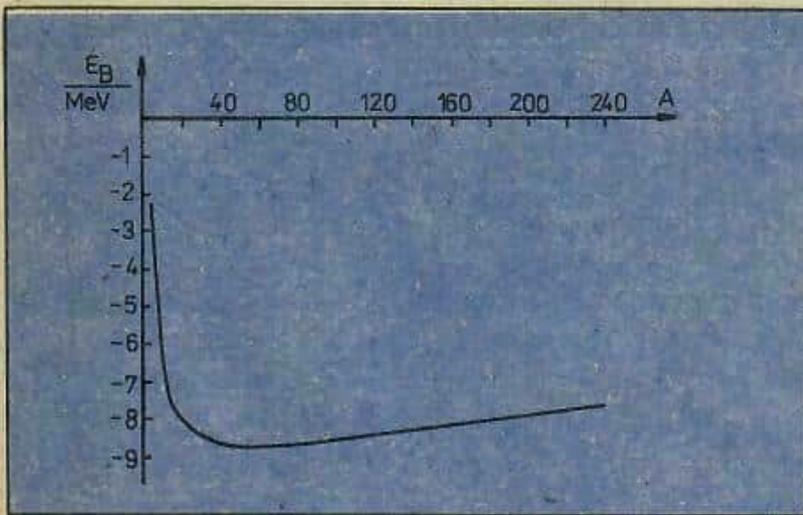


Abb. 3: Bindungsenergie pro Nukleon

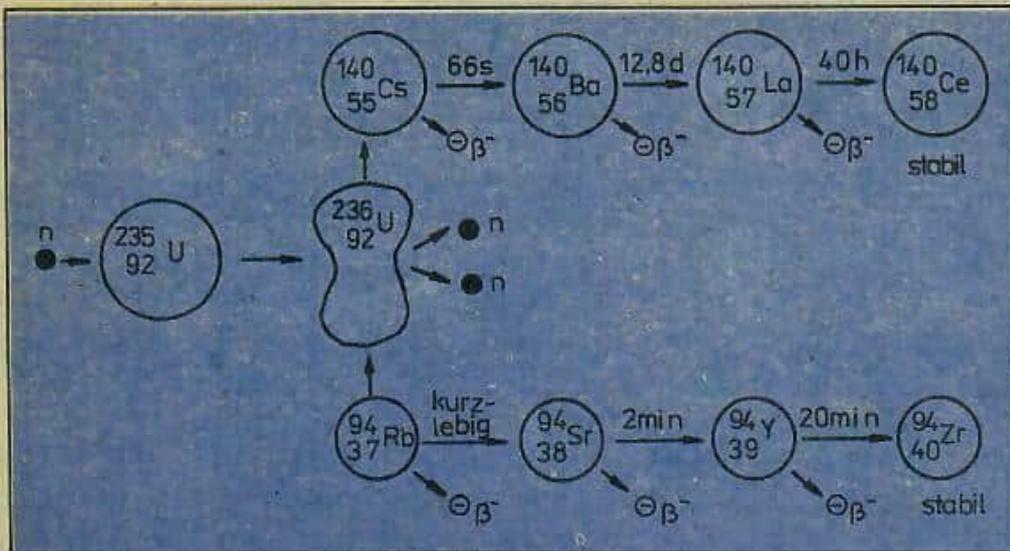


Abb. 4: möglicher Ablauf der Uranspaltung

Tab. 1: Berechnung der Spaltungsenergie (nach /1/)

vor der Spaltung:	$^{235}\text{U}$	1 n	gesamt		
relative Atommasse:	235,0440	1,0087	236,0527		
nach der Spaltung:	$^{94}\text{Zr}$	$^{140}\text{Ce}$	2 n	$6 e^-$	gesamt
relative Atommasse:	93,9063	139,9055	2,0174	0,0033	235,8325
Massendefekt:	0,2202 u $\longrightarrow$ Kernspaltungsenergie: $E = 205 \text{ MeV}$				
(u: atomare Masseneinheit, $1 \text{ u} = 1,66057 \cdot 10^{-24} \text{ g}$ )					

Der größte Teil der bei der Spaltung eines Kerns freiwerdenden Energie befindet sich in der kinetischen Energie der entstehenden Tochterkerne (etwa 165 MeV), der Rest verteilt sich auf die kinetische Energie der freien Neutronen (5 MeV), Gammastrahlung (7 MeV), Strahlung der Spaltprodukte (13 MeV) und bei der Spaltung entstehende Neutrinos (10 MeV). /1/ Die kinetische Energie der Spaltprodukte verteilt sich durch Stöße in der Substanz, was zu einer Temperaturerhöhung führt. Die bei der Spaltung eines  $^{235}\text{U}$ -Kerns freiwerdenden Neutronen (im Mittel  $2,3 \pm 0,3$  /2/) können, wenn sie auf einen weiteren  $^{235}\text{U}$ -Kern treffen, wieder eine Kernspaltung auslösen. Dadurch kann die Zahl der freien Neutronen in der Substanz lawinenartig anwachsen. Es besteht die Möglichkeit einer Kettenreaktion. Dazu muß die sogenannte *Lawinenbedingung* erfüllt sein: In der Substanz müssen pro Zeiteinheit durch Spaltprozesse mehr (mindestens aber genausoviel) Neutronen freigesetzt werden als in der gleichen Zeit verloren gehen. Dies ist nicht so einfach zu bewerkstelligen, da mehrere Verlustmechanismen dem Anwachsen der Neutronenzahl entgegenwirken. Eine große Zahl freier Neutronen wird die Substanz verlassen, ohne auf einen weiteren Atomkern zu treffen. Weiterhin ist es vollständig unmöglich, chemisch 100%ig reine Stoffe herzustellen. Trifft ein Neutron auf den Kern eines Fremdatoms, kann es durch diesen eingefangen werden und steht für weitere Spaltungsreaktionen nicht mehr zur Verfügung, die Verunreinigungen werden dadurch meist radioaktiv. Eine dritte Verlustquelle liegt in der Zusammensetzung des Urans selbst. Natürliches Uran enthält 99,274%  $^{238}\text{U}$ . Dieses  $^{238}\text{U}$  fängt Neutronen ein und spaltet sich auf Grund der hohen Spaltbarriere nur in geringem Umfang. Deshalb muß das im Uran enthaltene Isotop  $^{235}\text{U}$  auf 1% ... 5% angereichert werden, um eine Kettenreaktion aufrechterhalten zu können.

Tab. 2: Isotopenzusammensetzung des natürlichen Urans (nach /1/)

Massenzahl	238	235	234	233
relative Häufigkeit	99,274 %	0,72 %	0,0057 %	—

Um eine Kettenreaktion auszulösen, müssen freie Neutronen vorhanden sein. Da jedoch durch spontan stattfindende Kernspaltungen und durch den Einfluß der kosmischen Strahlung immer Neutronen vorhanden sind, beginnt die Reaktion oft ohne weitere äußere Einflußnahme.

Die Menge spaltbaren Stoffs, bei dem eine Kettenreaktion in Gang kommen kann, wird *kritische Masse* genannt. Diese kann in Abhängigkeit vom Element, dessen Isotopenzusammensetzung und der geometrischen Form des Körpers unterschiedlich groß sein. Die kritische Masse von reinem  $^{235}\text{U}$  beträgt 50 kg, ihr entspricht eine Kugel von 16,8 cm Durchmesser. /4/ Umgibt man das spaltbare Material mit einem Neutronenreflektor, um aus dem Uran austretende Neutronen in das Uran zurückzubringen, verkleinert sich die kritische Masse. Verwendet man reines  $^{235}\text{U}$  in Kugelform, Polyäthylen als Moderator (s. u.) und Beryllium als

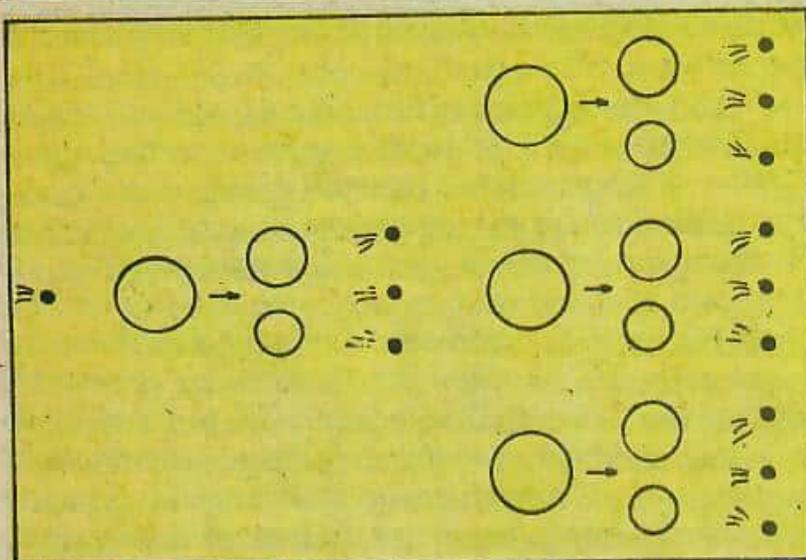


Abb. 5: Ablauf einer ungesteuerten Kettenreaktion

Neutronenreflektor, dann liegt die kritische Masse dieser Anordnung bei 242 g Uran. /1/ Sind in dem Uran Verunreinigungen enthalten, wird die kritische Masse größer, sie liegt bei Natururan (ohne Moderator, Neutronenreflektor u. ä.) bei um ein Vielfaches höheren Werten. Weiterhin legt das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen des Körpers seine kritische Masse fest, welche in Kugelform die niedrigsten Werte hat.

Die bei der Spaltung eines  $^{235}\text{U}$ -Kerns entstehenden Neutronen haben Geschwindigkeiten zwischen 10 km/s und  $3 \times 10^4$  km/s. /1/ Der Einfangquerschnitt für Neutronen ist proportional  $1/v$ . Es ist deshalb unwahrscheinlich, daß für den Betrieb einer Kettenreaktion ausreichend viele schnelle Neutronen neue Spaltprozesse auslösen. Die schnellen Neutronen müssen durch Stöße abgebremst werden. Die dazu verwendeten Substanzen werden als *Moderatoren* bezeichnet. Sie müssen die Eigenschaft haben, selbst keine oder möglichst wenig Neutronen zu absorbieren. Zunächst erscheint Wasserstoff als die geeignetste Substanz, da Proton und Neutron fast die gleiche Masse besitzen. Um Neutronen auf thermische Energien (etwa 0,025 eV) abzubremsen, sind, wenn man von einer Neutronenenergie von 5 MeV ausgeht, 19 Zusammenstöße des Neutrons mit einem H-Kern ausreichend. /1/ Besitzen die Atome der Moderatorsubstanz höhere Atommassen, sind weitaus mehr Stöße erforderlich. Beim Beschuß von Protonen mit Neutronen bildet sich jedoch Deuterium, was zu Neutronenverlusten führt. Deshalb sind Deuterium, Beryllium oder Kohlenstoff geeigneter als Wasserstoff.

Weiterhin müssen Vorkehrungen getroffen werden, daß nicht zu viele Neutronen von  $^{238}\text{U}$ -Kernen eingefangen werden. Während des Abbremsens der Neutronen durch Stoßprozesse werden viele Neutronen im Energiebereich zwischen der thermischen Energie und 1 MeV vorliegen. Hier gibt es jedoch einige Energiewerte, bei denen der Einfangquerschnitt des  $^{238}\text{U}$  besonders hohe Werte hat (Resonanzen). Die größte Resonanz liegt bei 6,7 eV. /1/ Die vom  $^{238}\text{U}$  absorbierten Neutronen können jedoch, da ihre Energie unter 1 MeV liegt, die Spaltung des Urans nicht auslösen.

### 3. Kernreaktoren

#### 3.1 Grundlagen der Reaktorsteuerung

Um eine Kettenreaktion in Gang zu halten, muß jedes thermische Neutron der  $i$ -ten Generation mindestens ein thermisches Neutron erzeugen, welches in der darauffolgenden Genera-

tion wieder zu einer Kernspaltung führt. Bezeichnen wir die Anzahl der im spaltbaren Material absorbierten Neutronen mit  $N_i$ , so können wir durch die Größe  $k = N_{i+1}/N_i$  ( $i = 1, 2, \dots$ ), die wir als *Multiplikationsfaktor* bezeichnen, (4/) diesen Vorgang beschreiben. Ist  $k < 1$  (*unterkritischer* Reaktor), so bricht die Reaktion ab, für  $k = 1$  (*kritischer* Reaktor) findet eine stationäre Kettenreaktion statt. Im Fall  $k > 1$  (*überkritischer* Reaktor) kommt es bei genügend kurzer Generationsdauer zur Kernexplosion. Da im natürlichen Uran fast alle Neutronen an der Resonanzstelle des  $^{238}\text{U}$  absorbiert werden, kommt keine Kettenreaktion zustande. Durch den Einsatz von Moderatoren oder/und eine Anreicherung des Isotops  $^{235}\text{U}$  kann man eine Kettenreaktion erreichen. Für den Reaktorbetrieb lautet zunächst die Bedingung  $k = 1$ , welche, um eine Explosion oder das Abreißen der Reaktion zu verhindern, innerhalb bestimmter Grenzen eingehalten werden muß. Die Regelung des Neutronenflusses erfolgt auf mechanischem Wege, indem neutronenabsorbierende Stäbe in den Reaktor hineingeschoben oder herausgezogen werden. Als Absorbermaterial eignen sich Bor oder Cadmium. Da 0,65 % der Neutronen als verzögerte Neutronen frei werden, ist diese mechanische Regelung möglich. Durch die verzögerten Neutronen hat die Reaktorperiode, das ist die Zeit, in der die Anzahl der Spaltungen auf das e-fache der ursprünglichen Zahl angewachsen ist, eine Länge von 15 s, wenn der Multiplikationsfaktor zwischen  $k = 1$  und  $k = 1,0065$  liegt. (4/) (*prompt unterkritischer* Reaktor) Für  $k > 1,0065$  (*prompt überkritischer*,  $k = 1,0065$  *prompt kritischer* Reaktor) wird die Kettenreaktion nur durch die prompten Neutronen aufrecht erhalten, damit ist auf Grund der kurzen Reaktorperiode eine mechanische Steuerung der Reaktion kaum noch möglich.

### 3.2 Mechanischer Aufbau

In jedem Kernreaktor befindet sich eine überkritische Masse spaltbaren Materials. Der Bereich des Reaktors, in dem die gesteuerte Kettenreaktion (kontinuierlich oder impulsartig) abläuft, bezeichnet man als Spaltzone oder aktive Zone. In ihr befindet sich neben dem spaltbaren Material auch der Moderator, die Regelstäbe des Reaktors, Neutronenreflektoren und ein Kühlmittel. Der Kühlmittelkreislauf ist in zwei Teilkreisläufe, den aktiven und den inaktiven, getrennt. Damit wird eine radioaktive Belastung der Umgebung des Kernkraftwerks verhindert. Der aktive Kreislauf transportiert die in der aktiven Zone bei der Abbremsung der Spaltprodukte entstehende Wärme zu einem Wärmetauscher. Hier wird die Energie auf den inaktiven Kreislauf übertragen, welcher wie in einem Kohlekraftwerk die Turbinen zur Elektroenergiegewinnung antreibt.

Um die Umgebung des Kraftwerks vor einer Strahlenbelastung zu schützen, ist die aktive Zone von einem Strahlenschutzmantel, im allgemeinen aus meterdicken Beton, umgeben. Man unterscheidet *homogene und heterogene* Reaktoren. In homogenen Reaktoren sind Spaltstoff und Moderator homogen gemischt, während sie in heterogenen Reaktoren räumlich getrennt sind. Dabei hat der heterogene Reaktor gewisse Vorteile. Hier befinden sich die Brennelemente in einem strukturierten Moderatorblock. Dadurch wird, durch die räumliche Trennung von Spaltstoff und dem Bereich der Neutronenabbremmung, besonders die Resonanzabsorption des  $^{238}\text{U}$  stark eingeschränkt. Beim Aufbau eines Reaktors zu beachten ist neben der Forderung nach höchster chemischer Reinheit von Spaltstoff und Moderator, daß Kühlmittel und Konstruktionselemente keine oder nicht zu viele Neutronen absorbieren.

### 3.3 Reaktortypen und Beispiele

Bevor einige Reaktortypen beschrieben werden sollen, noch einige Bemerkungen zur Einteilung der Reaktoren in *thermische und schnelle Reaktoren*.

In thermischen Reaktoren kann man nur  $^{233}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  und  $^{239}\text{Pu}$  als Brennstoff verwenden. Davon kommt nur  $^{235}\text{U}$  natürlich vor,  $^{233}\text{U}$  und  $^{239}\text{Pu}$  müssen in Brutreaktoren „erbrütet“ werden. Alle drei Nuklide haben eine gemeinsame Eigenschaft: Ihre Spaltbarriere ist so niedrig, daß sie mit thermischen Neutronen im Energiebereich zwischen 0,01 eV und 1 eV gespalten werden können. Die bei ihrer Spaltung freiwerdenden Neutronen liegen im Energiebereich von 0,05 MeV bis 10 MeV mit einem Maximum bei 2 MeV. /2/ Diese Neutronen müssen abgebremst werden, deshalb enthalten alle thermischen Reaktoren Moderatoren. Auch im Moderator (z. B. Wasserstoff, Deuterium, Helium, Kohlenstoff oder Sauerstoff) finden Neutronenverluste statt. So hat der Wasserstoffkern einen großen Einfangquerschnitt für thermische Neutronen. Deshalb kann man aus Natururan und leichtem Wasser keinen Kernreaktor bauen. Hier muß das Isotop  $^{235}\text{U}$  auf mindestens 5 % angereichert werden. Ein Reaktor mit Natururan und schwerem Wasser ist möglich, da der Einfangquerschnitt des Deuterons eintausendmal kleiner als der des Protons ist.

Mit einer Anordnung aus Natururan und schwerem Wasser konnten im März 1942 Heisenberg und Döpel in Leipzig erstmals eine Neutronenvermehrung um 10 % erreichen und damit beweisen, daß eine Kettenreaktion möglich ist. Die ersten Reaktoren (USA: 1942, E. Fermi; UdSSR: 1946, I. W. Kurtschatov) wurden jedoch aus Graphitziegeln mit eingebauten Uranklötzen gebaut. (Im Deutschen damals als „Uranmeiler“ bezeichnet.) Sie enthielten noch keine Kühlung und verwendeten Natururan. Wichtig ist hier der geringe Einfangquerschnitt von  $^{12}\text{C}$ .

Die schnellen Reaktoren sind unter der Bezeichnung „*schnelle Brüter*“ bekannt. Sie dienen neben der Energiegewinnung auch der Produktion von Spaltstoff, dem sogenannten „Brüten“. In ihnen werden die Nuklide  $^{233}\text{U}$  und  $^{239}\text{Pu}$  aus  $^{232}\text{Th}$  bzw.  $^{238}\text{U}$  erbrütet. Sie verwenden schnelle Neutronen mit einem energetischen Maximum bei 100 keV. Deshalb befindet sich in diesen Reaktoren nur wenig oder oft sogar keine Moderatorsubstanz. Da bei Neutronenenergien um 100 keV der Spaltquerschnitt um zwei Größenordnungen kleiner ist als bei Verwendung thermischer Neutronen, muß man mit hochangereichertem Material arbeiten, unter Umständen bis zu 50 %  $^{235}\text{U}$  oder  $^{239}\text{Pu}$ . Schnelle Brüter haben neben der Produktion von Spaltstoff einen weiteren Vorteil: Ihr Wirkungsgrad liegt mit etwa 42% über dem eines thermischen Reaktors (etwa 34 %). /1/ Dem stehen aber entscheidende Nachteile gegenüber: Zum einen ist die Leistungsdichte im Reaktorkern auf Grund der hohen Anreicherung sehr groß. Zum anderen wird wegen des intensiven Wärmestromes mit flüssigen Metallen gekühlt. Dazu eignet sich besonders wegen seiner guten Wärmeleitfähigkeit flüssiges Natrium. Dieses hat aber die Eigenschaft, bei Kontakt mit der Umgebungsluft heftig zu reagieren, was ein nicht zu unterschätzendes Risikopotential in sich birgt.

Brutreaktoren werden mit dem Ziel betrieben, mehr Spaltstoff zu erzeugen als zum Reaktorbetrieb verbraucht wird. Zur Charakterisierung eines Brutreaktors werden zwei Größen verwendet (vgl. /1/), zum einen die Brutrate

$$\text{Brutrate} = \frac{\text{Anzahl der gewonnenen spaltbaren Kerne}}{\text{Anzahl der verbrauchten Kerne}}$$

und zum anderen der Brutgewinn (= Brutrate - 1). Um auch die die Spaltzone des Reaktors verlassenden Neutronen zu nutzen, wird die aktive Zone mit Brutstoff ( $^{238}\text{U}$ ) umgeben, welcher auch schnelle Neutronen absorbieren kann. Dadurch reichert sich  $^{239}\text{Pu}$  im Brutstoff an. Nur mit thermischen Neutronen wäre das Ziel Brutgewinn > 0 nicht erreichbar.

Ein Vorteil des „Plutoniumbrütens“ besteht darin, daß es zur Herstellung neuer Brennelemente leichter ist, das erbrütete Plutonium chemisch abzutrennen als das Isotop  $^{235}\text{U}$  durch Isotopentrennung anzureichern.

Abschließend einige Beispiele:

Der derzeit wirtschaftlichste Reaktor ist der *Leichtwasserreaktor* (LWR). Hier wird leichtes Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) sowohl als Moderator, Kühlmittel als auch als Neutronenreflektor benutzt. Als Brennstoff wird angereichertes Uran mit einem Anteil von 1 % bis 5 %  $^{235}\text{U}$  verwendet. Uran und Wasser reagieren stark miteinander. Deshalb wird Uran als  $\text{UO}_2$  (Urandioxyd) in keramischer Form verwendet. Damit wird eine chemische Reaktion zwischen Uran und Wasser bei einer eventuellen mechanischen Zerstörung des Brennelements verhindert. Leichtwasserreaktoren werden in zwei Typen gebaut.

Der *Siedewasserreaktor* (BWR – Boiling Water Reactor) arbeitet bei einem Betriebsdruck des Wassers von 70 at bis 100 at. /4/ Das Wasser siedet direkt an der Oberfläche der Brennelemente und wird direkt auf die Turbine geleitet. Das hat den Nachteil, daß dadurch die Turbine leicht radioaktiv wird. /3/ Ein Siedewasserreaktor mit einer elektrischen Leistung von 670 MW steht in Würgassen a. d. Weser.

Der zweite Typ des Leichtwasserreaktors ist der *Druckwasserreaktor* (PWR – Pressurized Water Reactor). Der Druck des Kühlmittels beträgt etwa 150 at, seine maximale Temperatur liegt etwa 50 grd unter der Siedetemperatur. Der hohe Druck des Wassers erfordert große Wandstärken des Reaktors. Deshalb ist die maximale Leistung eines Druckwasserreaktors auf 1 GW begrenzt. /4/ Die Kernkraftwerke der DDR (Rheinsberg und KKW Nord in Lubmin) sind Druckwasserreaktoren.

Leichtwasserreaktoren haben einen entscheidenden Nachteil. Die Temperatur des Urandioxyds ist im normalen Betrieb höher als dessen Schmelztemperatur. Bei einem Kühlmittelverlust würde die Umhüllung des Brennstoffs innerhalb einer Minute schmelzen. Eine radioaktive Verseuchung wäre die Folge, unter Umständen sogar eine Kernschmelze. Deshalb werden Kühlsysteme mehrfach hintereinander gestaffelt. /14/ Trotzdem ist eine 100%ige Sicherheit nicht erreichbar.

Es gibt mit dem *Hochtemperaturreaktor* (HTR, auch als Kugelhaufenreaktor bezeichnet) einen Reaktortyp, der die Nachteile des Leichtwasserreaktors nicht besitzt. In 100000 tennisballgroßen Graphitkugeln befindet sich Spalt- oder Brutstoff. Der Graphit wirkt als Moderator. Durch Helium gekühlt, glühen die Graphitkugeln bei etwa 1000 °C in der aktiven Zone, durch die sie in einem langsamen Kreislauf wandern, dabei werden ausgebrannte bzw. defekte Kugeln automatisch ausgesondert. /1/ Die Bezeichnung Hochtemperaturreaktor stimmt insofern nicht, da die Temperatur im Vergleich zum Leichtwasserreaktor deutlich geringer ist. Der wesentlichste Effekt beim Hochtemperaturreaktor ist der negative Temperaturkoeffizient, d. h. bei Ausfall der Kühlung (steigende Temperatur) kommt die Kettenreaktion von selbst zum Erlöschen. Bei den meisten anderen Reaktortypen ist der Temperaturkoeffizient positiv, d. h. bei Kühlausfall (Temperaturerhöhung) läuft die Kettenreaktion verstärkt ab, was zu einer weiteren Temperaturerhöhung führt, der Prozeß schaukelt sich auf (z. B. Tschernobyl). Am 22. 9. 1970 wurde mit dem Hochtemperaturreaktor in Jülich (Nordrhein-Westfalen) folgendes Experiment durchgeführt: Bei voller Reaktorleistung wurde die Kühlung abgeschaltet und die Abschaltautomatik blockiert. Mit dem sich selbst überlassenen Reaktor passierte im wesentlichen nichts, die Temperatur stieg leicht an und die Kettenreaktion brach ab. /14/ Besonders vorteilhaft ist die geringe Energiedichte im Reaktor. Damit ist jedoch die thermische Leistung des Hochtemperaturreaktors auf maximal 250 MW begrenzt.

Bei Kerntechnikern hat jedoch ein Umdenken eingesetzt: „Small is beautiful“, ausgelöst durch Harrisburg und Tschernobyl. /14/

Die Problematik der Sicherheit von Kernkraftwerken, des Schutzes vor radioaktiver Strahlung und der Entsorgung von Atommüll behandelnde Artikel sowie ein Bericht über die Kernkraftwerke der DDR werden in den nächsten Heften zu lesen sein.

## WISSENSWERTES

In der ČSSR gibt es seit 10 Jahren die

### „Schulen in der Natur“

Mit großer Freude und Bewegung hörte ich die Nachricht, daß die Personalstärke der NVA um 10000 Mann verringert und 10 Prozent der Militärausgaben eingespart werden sollen. Wird sich meine Hoffnung erfüllen, daß zumindest ein Teil dieser Arbeitskräfte und der freiwerdenden Mittel für dringend erforderliche Verbesserungen unserer Umwelt eingesetzt werden?

Einzelne medizinische Veröffentlichungen der DDR belegen, was längst kein Geheimnis mehr ist: Die Verunreinigung der Luft mit Schwefeldioxid, Stickoxiden, Fluor, Kohlenwasserstoffen und Schwermetallen steht in Zusammenhang mit Häufigkeit und Schwere von Erkrankungen. Bei Kindern treten Atemwegserkrankungen (Bronchitis, Pseudo-Krupp) gehäuft auf. Aber auch die Psyche von Kindern in belasteten Gebieten wird beeinflusst. Rostocker Ärzte verglichen Schüler von 4. Klassen aus einem Ballungsraum mit Schülern eines lufthygienisch wenig belasteten Ortes. Die Kinder des Industriegebietes wiesen dabei im Durchschnitt eine geringere Konzentrations- und Leistungsfähigkeit auf. Diese Werte verbesserten sich deutlich nach einem vierwöchigen Kuraufenthalt der beobachteten Kinder.

Derartige Erkenntnisse stehen hinter der bereits 1979 in der ČSSR erlassenen Verfügung über die „Schulen in der Natur“. Nach dem Grad der Umweltbelastung sind Regionen der ČSSR drei Gruppen zugeordnet. Zur Gruppe 1, die Gebiete mit der höchsten Verunreinigung erfaßt, zählt zum Beispiel Nordböhmen. Prag liegt in der Gruppe 2, Dörfer in Mähren gehören zur Gruppe 3. Den jeweiligen Gruppen entsprechend variieren Häufigkeit und Aufenthaltsdauer der Kinder in wenig beeinträchtigten Gebieten. Kinder aus Orten der Gruppe 1 verreisen z.B. jährlich zweimal drei Wochen außerhalb der Ferien. Die Regelungen betreffen die Kindergärten und Schüler bis zur vierten Klasse, außerdem Kinder von Hilfs- und Sonderschulen (außer Körperbehinderte) bis einschließlich 8. Klasse. Das Einverständnis der Eltern zur Verschickung ihrer Kinder ist erforderlich. Es verreisen jeweils Klassen, die von Lehrern und Erziehern ihrer Schule begleitet werden. Fahren Schüler nicht mit, nehmen sie am Unterricht in anderen Klassen teil. Ein Satz fiel mir besonders auf: Wenn das Wetter es erlaubt, muß der Unterricht im Freien stattfinden.

Mit der zeitweiligen Herauslösung der Kinder aus den Ballungsgebieten sollen Symptome kuriert werden. Die unbedingt erforderliche Reduzierung des Schadstoffausstoßes wird dadurch natürlich nicht ersetzt. Die Verfügung ist somit kein Ruhekitzel. In der gegenwärtigen Situation erscheint sie mir dennoch nachahmenswert.

Und ich denke, mit den „Schulen in der Natur“ ist ein Aspekt verbunden, der auch für die Zukunft Gültigkeit behalten wird. Für die spätere Einstellung und den Umgang mit der Natur ist es wichtig, daß Kinder sie unmittelbar erleben, gefühlsmäßig wahrnehmen, in ein direktes Verhältnis zu ihr treten. Sicher ist dazu eine einfühlsame Begleitung durch Lehrer und Erzieher notwendig, Unterricht und Aufenthalt im Freien bieten aber gute Voraussetzungen dafür.

*Karin Flachowsky (aus Glaube und Heimat 10/89)*

**Andreas Erdmann**  
 Friedrich-Schiller-Universität Jena  
 Sektion Physik

## Energie von der Sonne

### 1. Einleitung

Die Energie von der Sonne, welche uns auf der Erde über deren Strahlung erreicht, bildet eine der entscheidenden Grundlagen unseres Lebens. Wie läßt sich diese eingestrahle Energie aber noch unmittelbarer nutzen?

Hier können wir zwischen direkter und indirekter Nutzung unterscheiden /1/. Der Mensch kann die Energie der einfallenden Sonnenstrahlung direkt in verschiedene Energieformen (Wärmeenergie, elektrische und chemische Energie) umwandeln. Andererseits wird die von der Sonne einfallende Energie aber auch in verschiedenen Natur-

vorgängen auf der Erde gespeichert. Dazu zählen beispielsweise die in Erdreich, Wasser und Luft gespeicherte Sonnenwärme, die Windenergie und die Energie, welche im Kreislauf des Wassers steckt (z. B. über Wasserkraftwerke nutzbar). Letztendlich reihen sich hier über den Umweg der Photosynthese auch die fossilen Energieträger und die Energie im Biogas ein, die in anderen Beiträgen von „impuls 68“ behandelt werden.

In der vorliegenden Arbeit wollen wir uns auf verschiedene Formen der direkten Nutzung der Sonnenenergie beschränken.

### 2. Eigenschaften der einfallenden Sonnenstrahlung

In erster Linie läßt sich die einfallende Sonnenstrahlung durch die Strahlungsleistung kennzeichnen, die von einer senkrecht zur Strahlungsrichtung liegenden Fläche empfangen wird. Außerhalb der Erdatmosphäre ergibt sich hier ein jährlich gemittelter Wert von  $1,37 \text{ kW/m}^2$ . Auf der Erdoberfläche hängt der entsprechende Wert von der Absorption in der Atmosphäre und damit vom Klima des jeweiligen Ortes ab. Einige jährliche Durchschnittswerte sind in folgender Tabelle angegeben /1/:

Ort	jährliche mittlere Strahlungsleistung ( $\text{W/m}^2$ )
Stockholm	105
München	130
Madrid	185
Kairo	240
Assuan	290

Für den ununterbrochenen Betrieb einer 100-W-Glühlampe ist also in unseren Breiten bei 100 % Wirkungsgrad der Umsetzung von Sonnenenergie in elektrische Energie eine Empfangsfläche von  $1 \text{ m}^2$  notwendig. Darüber hinaus ist zu beachten, daß diese Werte starken zeitlichen Schwankungen (Tag-Nacht; Sommer-Winter) unterliegen. Ein weiteres Problem ergibt sich daraus, daß an Orten hohen Energiebedarfes – den Städten – nur relativ geringe Empfängerflächen zur Verfügung stehen.

Lassen wir uns aber nicht gleich zu pessimistisch stimmen. Insgesamt entspricht die

Energie der auf der gesamten Erdoberfläche auftreffenden Sonnenstrahlung dem  $10^4$ -fachen des Weltenergieverbrauches von 1983 /2/. Zur Nutzung dieser Energie müßten wir allerdings die gesamte Erdoberfläche mit Empfängern bedecken. Auch für geringere Teile der Erdoberfläche kann das schon nicht absehbare Umweltfolgen mit sich bringen.

Eine weitere wichtige Rolle spielt die spektrale Zusammensetzung der Sonnenstrahlung. Das Maximum liegt im Bereich des grünen Lichtes (ca. 500 nm). Auch hier hat sich die Natur mit der grünen Färbung der Blätter (Photosynthese) maximal angepaßt.

### 3. Möglichkeiten der direkten Nutzung von Sonnenenergie

#### 3.1. Niedrigtemperaturwärme aus Flachkollektoren

Die Flachkollektoren stellen wohl die einfachste Bauform zur direkten Nutzbarmachung der Sonnenenergie dar. Entsprechend Abb. 1 setzen sie sich aus folgenden Bauteilen zusammen /3/:

1. Einem Absorber, der eine möglichst vollständige Absorption der einfallenden Sonnenstrahlung gewährleistet. Dazu werden matte schwarze Oberflächen verwendet.
2. Fluidkanälen mit einem Wärmeträger zur Abführung der Wärme. Als billigster Wärmeträger kann Wasser verwendet werden. Dies kann aber schnell zu einem Verkalken bzw. im Winter zum Einfrieren der Anlage führen. Außerdem können auch in unseren Breiten bei maximaler Sonneneinstrahlung Absorbertemperaturen bis  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  auftreten, die ein Verdampfen des Wärmeträgers verursachen würden. Alternativen bieten sich mit dem Einsatz spezieller Öle als Fluide an.
3. Eine Isolation zur Vermeidung von Wärmeverlusten an Rück- und Seitenflächen.
4. Einer Abdeckung durch Glas- oder Kunststoffscheiben. Eine solche Abdeckung soll eine Wärmeabstrahlung im infraroten Spektralbereich verhindern und eine Auskühlung durch Konvektion und Wind vermeiden.

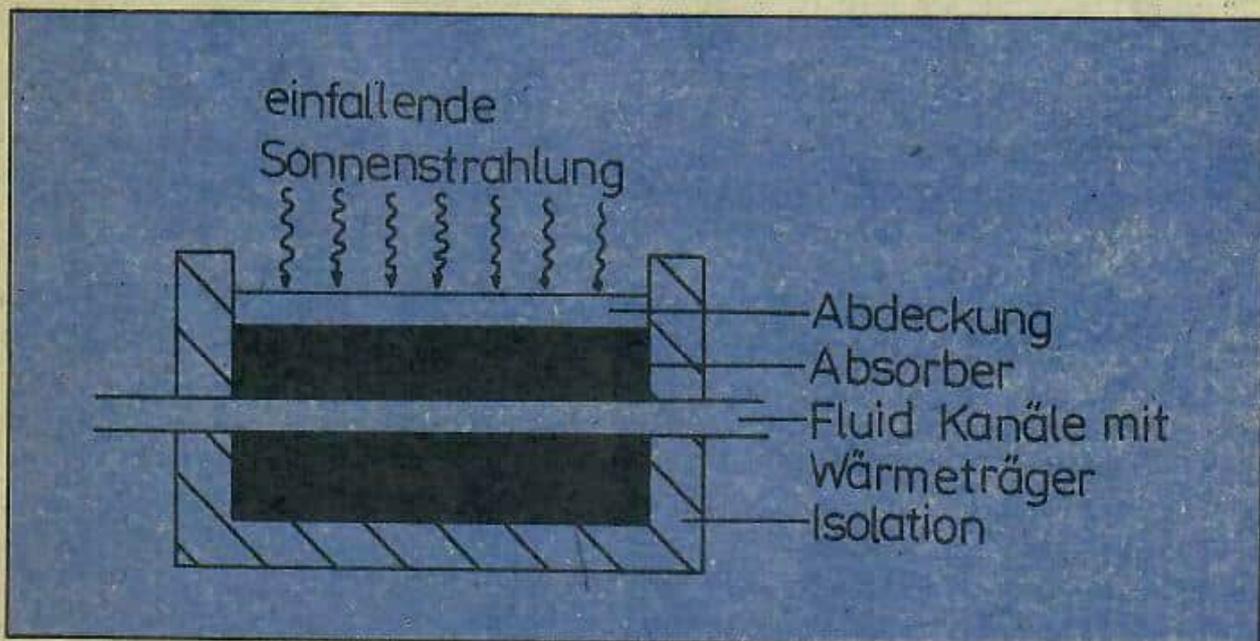


Abb. 1: Flachkollektor

Da nur ein senkrechter Lichteinfall auf den Kollektor eine optimale Wirkung garantiert, sind die Probleme der Mitführung der Anlage mit dem Lauf der Sonne zu lösen. Bei fester Installation der Kollektoren auf Dächern muß natürlich immer ein Kompromiß eingegangen werden.

Soll nun als nächster Schritt die Umwandlung der erhaltenen Wärmeenergie in mechanische oder elektrische Energie erfolgen, so wird der Wirkungsgrad dieser Umwandlung (Verhältnis der erhaltenen elektrischen oder mechanischen Energie zur hineingesteckten Wärmeenergie) für die Bewertung des Gesamtprozesses entscheidend. Der Wirkungsgrad solcher Umwandlungen wird aber um so kleiner, je kleiner die Temperaturunterschiede zwischen erhitztem Wärmeträger und Umgebung sind (vgl. Lehrbuch Physik Klasse 1.1). Die mit Hilfe der Flachkollektoren erhaltene Niedrigtemperaturwärme läßt sich so nur mit geringen Wirkungsgraden in andere Energieformen umwandeln. Der Gesamtwirkungsgrad solcher Anlagen liegt unter 2%. Dementsprechend ist der hier beschriebene Typ von Kollektoren nicht zur Erzeugung elektrischen Stromes geeignet.

Trotzdem sollten wir kein vorschnelles Urteil fällen. In der BRD wird allein 50% der Primärenergie zur Erzeugung von Wärme im Temperaturbereich unter 100°C genutzt /3/.

### 3.2. Hochtemperaturwärme aus konzentrierenden Kollektoren

Entsprechend der Aussagen aus dem vorangegangenen Abschnitt kann ein hoher Wirkungsgrad der Umwandlung von Wärme in andere Energieformen nur mit Hilfe hoher Temperaturdifferenzen erreicht werden. Wir haben dementsprechend die Sonnenstrahlung auf einen Absorber zu konzentrieren. Dies kann beispielsweise mit Hilfe großer Linsen oder Parabolspiegel erfolgen. Das Problem der Mitführung der gesamten Anlage mit der Sonne wird komplizierter aber auch wichtiger. Damit erhöhen sich die Kosten der Anlage. In unseren Breiten sind solche Anlagen kaum rentabel zu betreiben.

Diese Aussage gilt nicht unbedingt für südlichere Gefilde. In der Mojave-Wüste (Kalifornien) wurde schon ein Projekt beachtlichen Ausmaßes realisiert. Riesige Reihen von Parabolspiegeln konzentrieren das einfallende Sonnenlicht auf Absorberrohre. Das Öl im Inneren dieser Rohre wird bis auf 400°C aufgewärmt. Der Wirkungsgrad der Anlage liegt bei 17%. Sieben derartige Kraftwerke liefern eine Leistung von 195 MW und das bei Produktionskosten von 0,3 DM/kW /vgl. 4/.

Sicher können wir nicht alle unsere Wüsten mit solchen Sonnenkraftwerken zupflastern, auch das könnte unabsehbare ökologische Folgen haben. Immerhin kann ein Ausbau derartiger Projekte aber zu einer entscheidenden Entlastung der Weltenergiesituation beitragen.

### 3.3. Photovoltaik

Bisher sind wir bei der Erzeugung elektrischer Energie aus Sonnenenergie immer den Umweg über die Wärmeenergie gegangen. Zweimalige Umwandlung bedeutet aber auch zweimalige Verluste. Liegt die Zukunft vielleicht in der direkten Umwandlung von Licht in Strom? Photovoltaische Solarzellen ermöglichen einen solchen direkten Umwandlungsprozeß. Der Grundaufbau solcher Zellen ist in Abb. 2 dargestellt. Sie bestehen aus einem Halbleitermaterial (in der Regel Silizium), welches zwei verschieden dotierte Bereiche besitzt. Im n-dotierten Bereich sind fünfwertige Atome eingebaut (z. B. Phosphor), im p-dotierten Bereich sind es dreiwertige Atome (z. B. Bor). Zwischen p- und n-dotiertem Bereich baut sich ein Raumladungsfeld auf. Fällt nun Licht durch den fingerförmigen Kontakt auf das Halbleitermaterial, so werden frei bewegliche Ladungsträger angeregt, die sich im Raumladungsfeld bewegen. Es erfolgt eine Trennung von positiven und negativen Ladungsträgern. Zwischen Front- und Rückseitenkontakt kann eine Spannung abgegriffen werden.

Bisher erreichte Wirkungsgrade solcher Solarzellen liegen im Bereich von 12 bis 15% – also noch unterhalb des Wirkungsgrades der Anlage in der Mojave-Wüste. Eine Verbesserung des Wirkungsgrades könnte unter anderem durch folgende Maßnahmen bewirkt werden /2,5/:

- Optimierung der einzelnen Schichtdicken zur vollständigen Ausnutzung der Raumladungszone;
- Verkleinerung der Frontflächenkontakte;
- Verminderung von Reflexionen des Sonnenlichtes an der Halbleiteroberfläche;
- Verwendung neuer Halbleitermaterialien – z.B. GaAs (was allerdings die Umweltverträglichkeit vermindert).

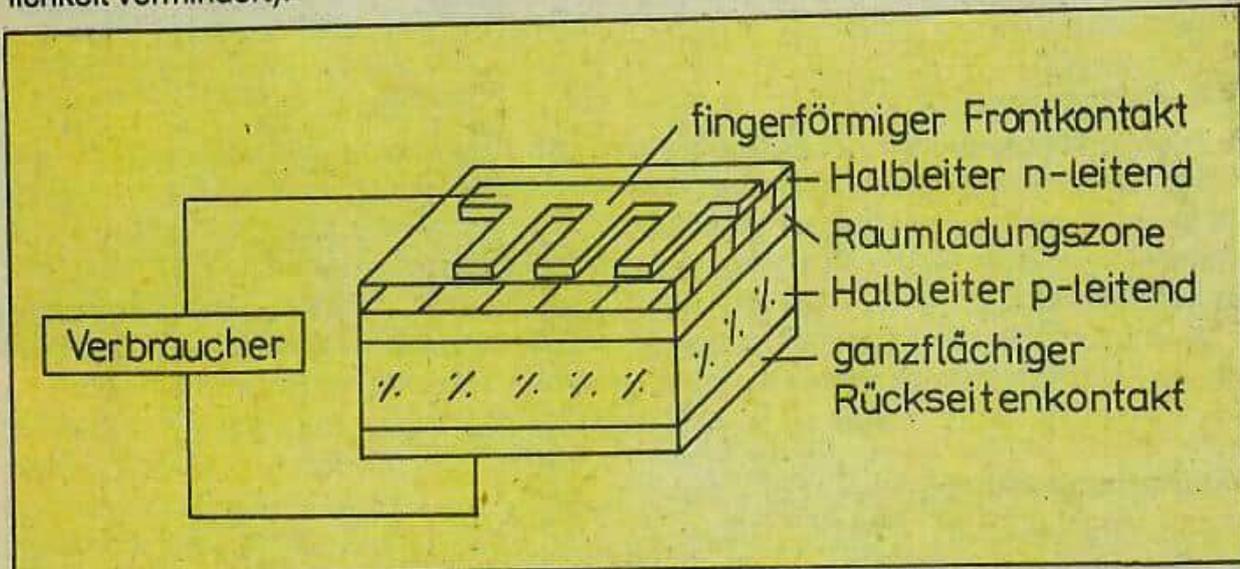


Abb. 2: Photovoltaische Solarzelle

Noch bedeutender als der Wirkungsgrad von Solarzellen sind allerdings deren Preise. In den letzten Jahren ist es gelungen, eine Absenkung von 30 DM/W<sup>N</sup> (DM pro Watt Nutzenergie) auf 8 DM/W<sup>N</sup> zu erreichen. Derzeit muß aber immer noch davon ausgegangen werden, daß die Energieaufwendungen für die Produktion einer Solarzelle denjenigen entsprechen, die mit Hilfe der Solarzelle „im Laufe ihres Lebens“ gewonnen werden können /6/. Ziel muß es sein, Preise unter 1 DM/W<sup>N</sup> zu realisieren. Hinzu kommt noch, daß sich Maßnahmen zur Verbilligung und zur Steigerung des Wirkungsgrades oft widersprechen.

Ein Einsatz von Solarzellen in Großkraftwerken ist dementsprechend zur Zeit nicht rentabel. Dennoch stellt die Photovoltaik in vielen westlichen Ländern einen Forschungsschwerpunkt für die kommenden Jahre dar – eine Investition in die Zukunft, die sich bestimmt lohnt.

### 3.4. Photochemische Umwandlung der Sonnenenergie in chemische Energie

Nicht immer benötigen wir die Energie an dem Ort und zu dem Zeitpunkt, an dem sie erzeugt wird. Die Speicherung und der Transport von Energie mit Hilfe spezieller Gase sind uns nicht unbekannt. Eine weitere Möglichkeit der Nutzung von Sonnenenergie besteht also darin, sie in chemische Energie umzuwandeln und dem Verbraucher in Form von Brennstoffen zukommen zu lassen. Endotherme Reaktionen, die infolge der Absorption von Lichtquanten ablaufen, können eine solche Umwandlung von Licht in chemische Energie bewerkstelligen. Um aber das System effektiv und praktikabel zu machen, stehen einige wesentliche Forderungen /7/:

- Solche Systeme müssen den maximalen Anteil des Sonnenspektrums absorbieren;
- die Absorption der Strahlung muß die endotherme Reaktion auslösen;
- um einen geschlossenen Kreislauf zu gewährleisten, muß das System leicht in den Ausgangszustand gebracht werden können;

- der Ertrag der endothermen Reaktion muß groß sein;
  - die exotherme Reaktion, welche den Kreislauf schließt, muß unter kontrollierten Bedingungen ablaufen;
  - die Reaktionsprodukte müssen sich für Transport und Speicherung eignen;
  - das System muß ökonomisch durchführbar sein.
- Eine Möglichkeit, die sich hier anbietet, ist die Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff.



Die Energie könnte dem Verbraucher in Form von Wasserstoff und Sauerstoff zugeführt werden. Das Problem besteht allerdings darin, daß obige Reaktion nur bei Einstrahlung von Licht im ultravioletten Spektralbereich abläuft. Durch Verwendung von Katalysatoren (z. B. Europium) konnte die für die Anregung der Reaktion notwendige Wellenlänge schon fast bis in den sichtbaren Bereich ( $\lambda = 360 \text{ nm}$ ) verschoben werden. Allerdings ist damit noch nicht der Maximalbereich der Sonnenstrahlung ( $\lambda = 500 \text{ nm}$ ) erfaßt. Dementsprechend kann in nächster Zukunft eine technische Realisierung solcher Projekte nicht erwartet werden.

#### 4. Zusammenfassung

Aus dem bisher gesagten wurde deutlich, daß alle Varianten der direkten Nutzbarmachung von Sonnenenergie noch eine Vielzahl von Problemen beinhalten. Es wäre utopisch anzunehmen, daß in absehbarer Zeit ein vollständiger Ersatz fossiler Energieträger bzw. der Kernenergie zu erwarten ist. Jedoch können sinnvolle Varianten der Sonnenenergienutzung zu einer erheblichen Entlastung der globalen Energieproblematik führen. Als solche Einsatzvarianten werden vor allem diskutiert:

##### 1. *Energieversorgung in dezentralen Bereichen*

Wenn man bedenkt, daß die Investitionskosten für die Energieverteilung ca. 10000 DM/km betragen und bei dieser Verteilung etwa 15% Verluste auftreten /5/, so kann in abgelegenen Gebieten der Einsatz von Solartechnik doch wirtschaftlicher werden. Diese Aussage läßt sich auch auf abgelegene Sendeeinrichtungen, Verstärker- und Relaisstationen, sowie Signal- und Überwachungsanlagen (Bojen, Eisenbahnsignale, Wetter- und Umweltmeßstationen) beziehen.

##### 2. *Energieversorgung in Entwicklungsländern mit günstigen klimatischen Bedingungen*

Insbesondere in Entwicklungsländern ist in den kommenden Jahren ein sprunghafter Anstieg des Energiebedarfs zu erwarten. Projekte, wie jenes in der Mojave-Wüste, könnten hier den Aufbau einer ökologischen Energieversorgung begünstigen. Allerdings können die entsprechenden Investitionen nicht von den Ländern selbst getragen werden.

##### 3. *Einsatz von Flachkollektoren zur Heizung bzw. Warmwasserbereitung*

Auch in unseren Breiten ist eine derartige Entlastung des Energienetzes begrüßenswert – ein Zeichen für gewachsenes Umweltbewußtsein. Allerdings wurden beispielsweise in der BRD solche Flachkollektoren mehr aus Pioniergeist als aus Rentabilitätsüberlegungen gekauft.

##### 4. *Einsatz im Freizeit-, Hobby- und Konsumgüterbereich*

In diesem Bereich verspricht der Einsatz von Solartechnik insbesondere Netzunabhängigkeit und originelle Spezialeffekte. Von wesentlichen Energieeinsparungen kann nicht gesprochen werden.

## Geht uns die Energie aus?

Als wir uns im September 1989 in der Redaktion von „impuls 68“ entschlossen, das globale Problem der Energieversorgung in unserem Land und in der Welt anzugehen und für Euch darzustellen, wußten wir nicht, zu welchen Schlußfolgerungen wir kommen würden und wie wir sie unseren Lesern darstellen könnten. Die vorangegangenen drei Artikel und zukünftige Beiträge zu fossilen Brennstoffen und zu weiteren Aspekten der Kernenergienutzung sollen Euch vor allem dazu in die Lage versetzen, Euch einen eigenen Standpunkt zu der Problematik zu bilden. Natürlich wollen wir auch unsere eigene Meinung nicht verschweigen und sie hier einmal kurz zur Diskussion stellen.

Die Beschäftigung mit den verschiedenen Formen der Energiegewinnung zeigte uns, daß es nicht die „allein seelig machende“ Energiequelle gibt.

Die fossilen Brennstoffe werden in Europa bald zur Neige gehen. Besonders in der DDR hat der intensive Einsatz der Braunkohle zu noch nicht abschätzbaren Umweltschäden geführt. Allgemein wird davon ausgegangen, daß der Anteil der fossilen Brennstoffe zukünftig weltweit zurückgehen wird.

Die Nutzung alternativer oder erneuerbarer Energiequellen wird in absehbarer Zukunft nicht den Bedarf der Menschheit an Energie decken können. So wird zum Beispiel abgeschätzt, daß in der BRD durch maximale Ausnutzung aller erneuerbaren Energiequellen ca. 12% des gegenwärtigen Verbrauchs an Nutzenergie gedeckt werden könnten /1/. Dabei sind auch die hier nicht vorgestellten Möglichkeiten der Wasserkraft- und Erdwärmenutzung keinesfalls als vorbehaltlos umweltschonend einzuschätzen.

Allerdings spielen die alternativen Energiequellen schon jetzt dort eine Rolle, wo sie sinnvoll und vor allem ökonomisch vertretbar eingesetzt werden können. Bei der ökonomischen Bewertung sind vor allem auch jene Mittel zu berücksichtigen, die für die Beseitigung von Umweltschäden durch andere Formen der Energiegewinnung aufgewendet werden müssen. Besonders in Entwicklungsländern mit klimatisch günstigen Voraussetzungen kann eine rechtzeitige Orientierung auf alternative Energiequellen (Sonnenenergie, Biogas) eine ökologisch orientierte Entwicklung der Energiebasis begünstigen. Dazu sind aber Investitionen der ökonomisch stärksten Länder erforderlich.

So bleibt nur noch die Kernenergie. Nach der Meinung vieler Experten wird sich deren Anteil in Europa in den nächsten Jahren vergrößern /1,2/. Dabei müssen wir natürlich sofort an Tschernobyl denken. Die Fragen der Sicherheit und Entsorgungskonzepte müssen bei Strafe der Vernichtung von vielen Menschenleben unmittelbar an Bedeutung gewinnen. An dieser Stelle dürfen weder Zeit noch Geld gespart werden. Das Anwachsen des Anteils der Kernenergie hat also so langsam wie möglich zu erfolgen.

Hier kann es unserer Meinung nach nur ein Konzept geben – Energie zu sparen. Gerade auf diesem Gebiet wurde in der Vergangenheit in unserem Land vieles versäumt. Die DDR gehört zu den Ländern mit dem höchsten Prokopfverbrauch an Energie in der Welt. Dafür gibt es vor allem drei Ursachen:

– der große Anteil veralteter Produktionsanlagen,

- der große Anteil chemischer Industrie und
  - das miserable Umweltbewußtsein eines Großteils unserer Bevölkerung /3/.
- Was den letzten Punkt betrifft, so haben die Informationspolitik „des positiven Beispiels“ und die Subvention der Energiepreise verheerende Wirkungen gezeigt. Unserer Meinung nach kann nur eine drastische Erhöhung der Energiepreise verbunden mit der Darstellung von Möglichkeiten der Energieeinsparung Wirkung zeigen.

Deshalb möchten wir Euch dazu auffordern, Euch Gedanken zur Energieeinsparung zu machen. Schreibt uns mal Eure Ideen, wie Ihr zu Hause oder in der Schule Energie sparen könnt. Diskutiert aber diese Ideen auch mit Euren Freunden und Freundinnen und helft sie praktisch umzusetzen!

Das Literaturverzeichnis zu den Artikeln der Energieproblematik könnt Ihr wie gewohnt bei uns anfordern. Abschließend möchten wir noch Herrn Dr. Schulz aus dem KKW Nord in Lubmin, Herrn Dr. Ziegler von der Sektion Physik der FSU Jena und Jens Blochberger aus Oberseifersdorf danken, die uns mit Material und Ideen bei der Erarbeitung dieser Artikel unterstützt haben.

*Die Autoren der Beiträge zum Thema Energie*

## **Lösungen zu den Aufgaben aus Heft 6/89**

### **Zur 1. Aufgabe:**

Wenn die Lampe  $L_2$  durchbrennt, wird der Widerstand zwischen A und B unendlich groß. Demzufolge liegt die gesamte Spannung (12 V) zwischen A und B.

### **Zur 2. Aufgabe:**

a) Der Vorwiderstand  $R_V$  beträgt 18.8  $\Omega$ , da  $R_V = 196/10.4 \text{ V/A}$  gilt.

b) Die am Widerstand umgesetzte Leistung  $P_V$  beträgt 2038 W

( $P_V = 196 \text{ V} > 10.4 \text{ A}$ ). Der Vorschlag, einen Vorwiderstand zu verwenden, ist also sehr unökonomisch, da die Leistung der Projektionslampe nur 250 W beträgt.

### **Zur 3. Aufgabe:**

Der stabförmige Dauermagnet übt mit seinen beiden Stabenden (Polen) eine Kraft auf den anderen Stahlstab aus. Die Mitte des stabförmigen Dauermagneten übt hingegen keine Kraft auf den Stahlstab aus. Mit diesen Kenntnissen findet man durch Probieren den Dauermagneten heraus.

*(Fortsetzung auf S. 31)*

**Olaf Fischer**  
**Friedrich-Schiller-Universität Jena**  
**Sektion Physik**

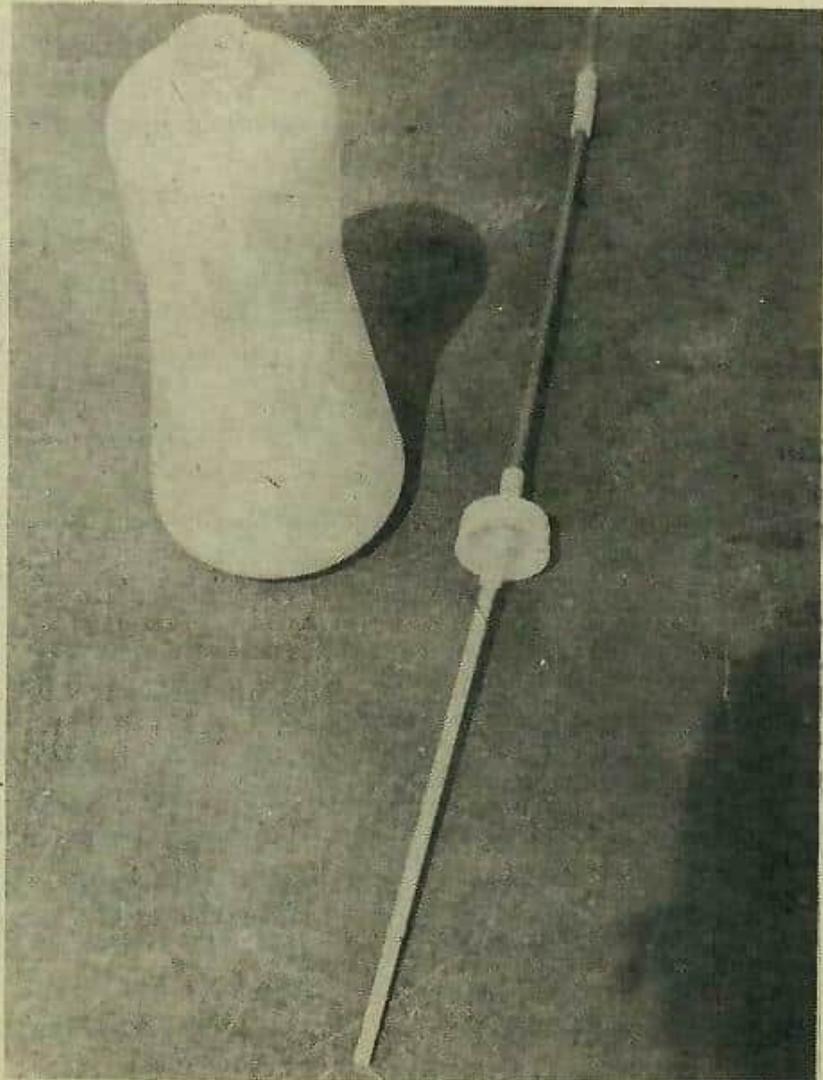
**Vom Rollen, Fallen und  
 Werfen – bewegte Gedanken**

Die Lageänderung eines Körpers relativ zu einem anderen („Bezugskörper“) bezeichnet der Physiker als Bewegung. Der Philosoph sieht im Begriff Bewegung viel mehr, nämlich die Daseinsweise der Materie, d. h. die Entwicklung und Veränderung in der Welt, wozu auch die Lageänderung gehört. Die drei folgenden einfachen und doch verblüffenden Experimente beleuchten einige Aspekte des physikalischen Vorgangs „Bewegung“ und werden so sicherlich die Gedanken zu dieser Thematik bewegen bzw. entwickeln.

... zum In-Bewegung-Kommen: Man nehme zwei Eier gleicher Form und Masse, von denen das eine roh, das andere gekocht sein

soll. Beide sollen gleichzeitig nebeneinander eine geneigte Ebene hinabrollen. Welches Ei ist zuerst am Ziel?

... zu Bewegung und Kraft: Gebraucht werden eine leere Spülmittelflasche mit dicht schließendem Schraubverschluß, zwei oder mehr zusammengesteckte Trinkhalme und plastikverbindender Klebstoff (Cenusil o.ä.).

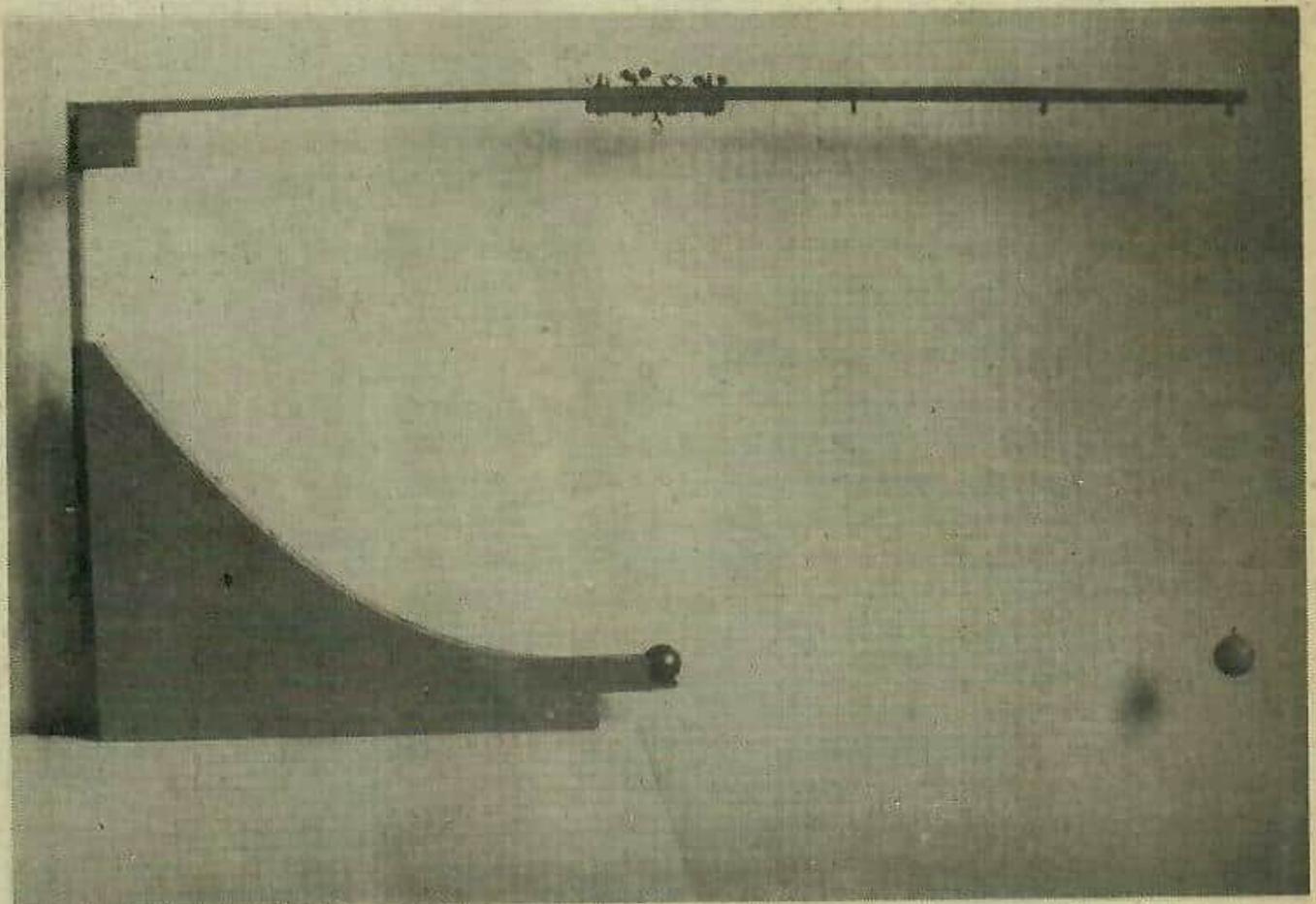


Der Schraubverschluß muß durchbohrt werden, so daß die Trinkhalmröhre durchgesteckt und anschließend dicht verklebt werden kann. Die Röhre soll fast bis zum Boden der Flasche in diese hineinragen, wenn diese, halb mit Wasser gefüllt, dicht verschraubt wird. Nun muß noch kräftig durch die weit über die Flasche hinausragende Röhre in diese geblasen werden, bis der entstehende Überdruck bei Unterbrechung des Blasens das Wasser aus der Röhre drückt.

Für „Uneingeweihte“ gibt es eine Überraschung, wenn die Flasche fallen gelassen wird, die man durch die Art der Vorführung noch verstärken kann.

. . . wenn bewegte Körper bewegt werden: Die Frage, ob eine frei fallende Luftgewehrkugel oder eine aus gleicher Höhe waagrecht abgeschossene Kugel gleicher Art zuerst den Erdboden erreicht, kann experimentell beantwortet werden.

Es wird eine Anordnung benötigt, die bei Beginn des waagerechten Wurfes eines Körpers (z. B. geneigte Ebene mit kurzem waagerechten unteren Ende für den „Abwurf“ ähnlich einer Sprungschanze) den freien Fall des zweiten Körpers auslöst (z. B. durch das Lösen des Fadens, an dem dieser aufgehängt ist). Die Startorte beider Körper sollten im Sinne des Versuchsergebnisses ein kurzes Stück voneinander entfernt liegen. Die Justierung der Anordnung sollte außerdem gewährleisten, daß die Abwurfrichtung zum Startort der fallenden Kugel zeigt. Welche Antwort gibt das Experiment wohl auf die Frage?



Wir wünschen viel Spaß und hoffen, mit den Experimenten einiges in Bewegung gebracht zu haben.

**Buchbesprechung**

*Hans-Dieter Schmidt, Evelyn Richter* „Entwicklungswunder Mensch“, 4. Auflage 1989, 256 S. mit 204 Ill., Leipzig, Jena, Berlin – Urania-Verlag 1989, ISBN 3-332-00048-9 Bestell-Nr. 6536177, Preis 25,- M

Ein Mensch wird geboren. Dies ist ein einzigartiger Vorgang. Aber bereits vor der Geburt und in ganz besonderem Maße danach müssen die Eltern dieses Kindes Verantwortung übernehmen, über deren Ausmaß man sich im klaren sein sollte. Auch die Gesellschaft ist gefordert. Denn von uns hängt es ab, ob sich ehrliche, mutige und gerade Menschen entwickeln oder Menschen ohne Selbstbewußtsein und Kreativität.

Der Textautor H. D. Schmidt und die Bildredakteurin E. Richter stellen sich mit diesem Buch die anspruchsvolle Aufgabe, die psychische Entwicklung des Kindes zwischen der Geburt und der Schuleinführung mit Wort und Bild zu beschreiben.

Wenn man dieses Buch zum ersten Mal in die Hand nimmt, fallen einem sicherlich die Vielzahl von ehrlichen und ungekünstelten Fotos auf, die eine hervorragende Ergänzung zum Text darstellen. Durch diese Einheit von Wort und Bild bekommt man auf viele Probleme eine neue Sicht. Der Psychologe Prof. Dr. Schmidt und E. Richter haben es verstanden, die schwierige Problematik der geistigen Entwicklung des „Entwicklungswunders Mensch“ für den Laien interessant und verständlich darzustellen.

Gegliedert in 4 große Abschnitte läßt man den Leser teilnehmen, wie aus einem Neugeborenen, der durch genetisch bedingte, vererbte Verhaltensmuster geprägt ist, eine aktive, bewußt handelnde und gemeinschaftstüchtige kindliche Persönlichkeit wird.

Dieses Buch ist ein Appell an alle diejenige, die direkt oder indirekt mit Kindern zu tun haben. Es richtet sich an alle Menschen, denen das Glück der Kinder am Herzen liegt, besonders natürlich an Eltern und Pädagogen, aber auch an „Angestellte von Behörden, die von ihnen geplante, projektierte und verteilte Ein- und Zweiraumwohnungen als ausreichendes Feld kindlicher Aktivitätsentfaltung ansehen – ja, für die ein Kleinkind noch gar nicht als Mieter zählt“.

Als positiv muß auch das weiterführende Literaturverzeichnis am Ende des Buches bewertet werden, obwohl ein Teil der angegebenen Literatur für den interessierten Leser schwierig zu beschaffen sein dürfte.

Alles in allem hebt sich dieses nunmehr in seiner 4. Auflage erschienene Buch nicht nur durch die drucktechnische Qualität, sondern auch durch seinen Inhalt wohltuend vom Durchschnitt der populärwissenschaftlichen und pädagogischen Literatur über das Vorschulkind ab.

Burkhard Fleck

*Dr. Horst Kant: „Abram Fedorovič Ioffe – Vater der sowjetischen Physik“*

Band 96 der Biographien hervorragender Naturwissenschaftler, Techniker und Mediziner; Teubner Verlagsgesellschaft Leipzig 1989; 136 S.; 20 Abb.; 6.80 M; Best.-Nr. 666 378 2

Im 96. Band der Reihe Biografien hervorragender Wissenschaftler, Techniker und Mediziner der Teubner Verlagsgesellschaft stellt uns Dr. H. Kant Leben und Werk von Abram Fedorovič Ioffe vor. In Meyers Neuem Lexikon (1973) wird er als Erforscher der Kristalle, insbeson-

dere ihrer mechanischen Eigenschaften, der Plastizität und Zerreißfestigkeit, genannt. Dort wenigstens war der nach ihm benannte Effekt so erklärt, daß ich mir darunter etwas vorstellen konnte.

Natürlich kann sich eine für einen breiten Leserkreis gedachte Biographie nicht allzusehr in fachlichen Details verlieren, ein Minimum an fachlicher Darstellung scheint mir aber unverzichtbar, sollen nicht nur inhaltslose Wortungetme vor dem geistigen Auge des Lesers schweben.

In diesem Bndchen wird der Versuch unternommen, die wichtigsten Eckdaten Abram F. Ioffes säuberlich festzuhalten – ein Menschenbild indes entsteht daraus nicht.

Den Autor mag keine Schuld treffen, war doch Prof. Ioffe, wenn auch nicht menschen-scheu, doch zumindest so reserviert, daß er nur 1–2 Mitarbeiter seine Freunde nennen wollte. Damit aber geht eine Quelle verloren, die man bei anderen Persönlichkeiten der Geschichte nutzen kann, um ein individuelles, unter unterschiedlichsten Blickwinkeln gewonnenes Bild zu zeichnen, das die Facetten der Persönlichkeit weitaus besser widerzuspiegeln vermag, als der monolithische Block, erarbeitet aus Tagungsberichten, Institutsstrukturen, nüchternen Labor-notizen oder verstaubten Aufzeichnungen über die von Ioffe belegten Kurse an der Universität zu München.

Zweifelsohne hatte Ioffe einen außerordentlich großen Anteil am organisatorischen Aufbau der physikalischen Forschung und ihrer Verknüpfung mit Aufgaben der Industriepraxis in der jungen Sowjetunion. Die in der Biografie aufgezählten Aktivitäten nach dem 1. Weltkrieg, Unterstützung aus dem Ausland für die „russische Physik“ zu erhalten, die Initiativen zur Gründung neuer Institute bezeugen das.

Wenn man aber liest: „Ioffe widmete sich Anfang der 30iger Jahre mit viel Energie der Neugründung einer Reihe Physikalisch-Technischer Institute . . . und wählte die talentiertesten Schüler aus“, oder: „Die Akademie bildete 1931 eine Kommission, die die Gründung lokaler wissenschaftlicher Institutionen fördern und koordinieren sollte; ihr gehörte auch Ioffe an.“ (S.73), so ist das letztlich eine Aussage ohne Wert, denn die Mhen und Schwierigkeiten und die Wege ihrer Überwindung werden nicht gezeigt.

Für uns heute erstaunlich sind die intensiven Kontakte, die insbesondere in den 20er Jahren zwischen den Forschern aller Länder existierten (vielleicht aber auch uns bald wieder selbstverständlich), doch darf man nicht vergessen, daß in den jeweiligen Fachdisziplinen nur relativ wenig Wissenschaftler arbeiteten.

Die zweite Ecksule im wissenschaftlichen Leben des Abram Fedorovi Ioffe, die Halbleiterphysik, ist auf ganze 13 Seiten gezwängt worden und spätestens hier ergibt sich der Verdacht, daß der Autor selbst wohl nur wenig von der Physik versteht und deshalb auch die Meinung vertritt, daß „ . . . physikalische Zusammenhänge nur angedeutet werden (können), wenn die Darstellung für breitere Kreise lesbar bleiben soll.“ Ja wären sie wenigstens angedeutet!

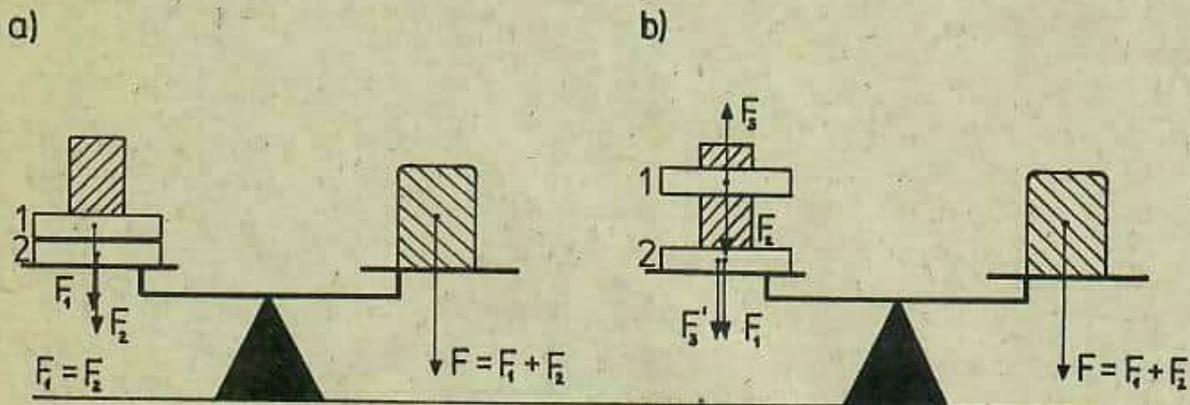
Zumindest auf diesem Gebiet sind ja den „breiteren Kreisen“ die Folgen auch der Ioffeschen Forschung täglich unter den Augen – Armbanduhren mit Sonnenbatterien, Taschenrechner, Radio, Fernsehen . . . – nichts geht ohne Halbleiter (mehr) und das sollte sich nicht lebendig darstellen lassen?

Ja, die Biografie ist sachlich und historisch belegt, aber begeistern wird sie kaum jemanden – zu trocken, zu staubig diese Physik, soweit man überhaupt darüber erfährt. Wie kann man sich nur damit beschäftigen?

(Fortsetzung von S. 26)

**Zur 4. Aufgabe:**

Die folgenden Skizzen geben die Kräfte (unter Vernachlässigung der Gewichtskraft des I-Kerns) für beide Anordnungen der Dauermagnete wieder.



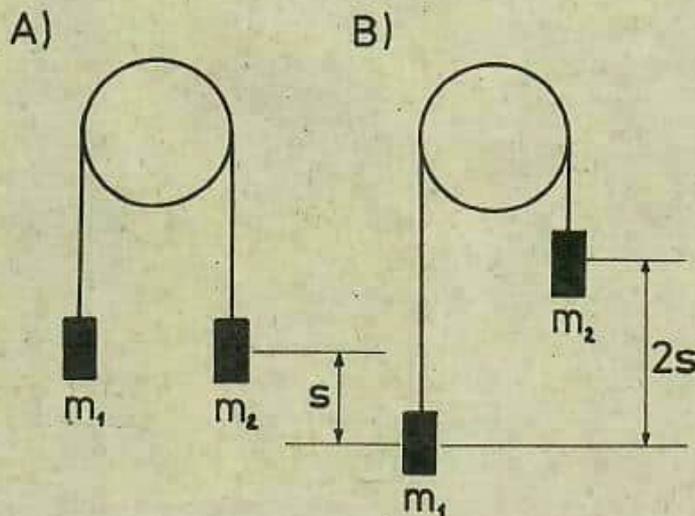
Man geht von der Gleichheit der Kräfte in Skizze a) aus, wo die Gewichtskräfte der Dauermagnete 1 und 2 und die Gewichtskraft  $F$  eingezeichnet sind. Diese Kräfte wirken auch in der

**Zur 5. Aufgabe:**

a) Lösungsansatz:  $(m_1 - m_2) \times g = (m_1 + m_2) \times a$  und  $s = a/2 \times t^2$

Ergebnis:  $s = 9,6 \text{ cm}$ ; in der ersten Sekunde bewegt sich der Körper 1 um 9,6 cm nach unten.

b) Ein Lösungsansatz wäre:



A:  $E = (m_1 + m_2) \times g \times s$  und

B:  $E = m_1/2 \times v^2 + m_2/2 \times v^2 + m_2 \times g \times 2s$

Unter Nutzung der Gesetze der Kinematik für die gleichmäßig beschleunigte Bewegung gelangt man dann zu dem gleichen Ergebnis.

13228 2                      650 008 797  
KRUSE, C  
6504 2006 5125              HIC10 5/362

**Literaturtips: Interessante Beiträge aus anderen Zeitschriften**

„Wissenschaft in der UdSSR“ (Zeitschrift der AdW der UdSSR)

1/89 Boris Stscebina: „Tschernobyl: Lehren und Schlußfolgerungen“

Sergej Klumow: „Jagd nach Untieren“

2/89 Juri Ossipan: „Die Hochtemperatur - Supraleitung ohne Emotionen betrachtet“

Juri Tretjakow: „Supraleiter für hohe Temperaturen: Realität und Perspektiven“

W. Tschujanow: „Was wird aus den Tokamaks?“ (Kernfusion)

Reinhard Breuer: „Am Anfang war der Urschaum (Kosmologie)“

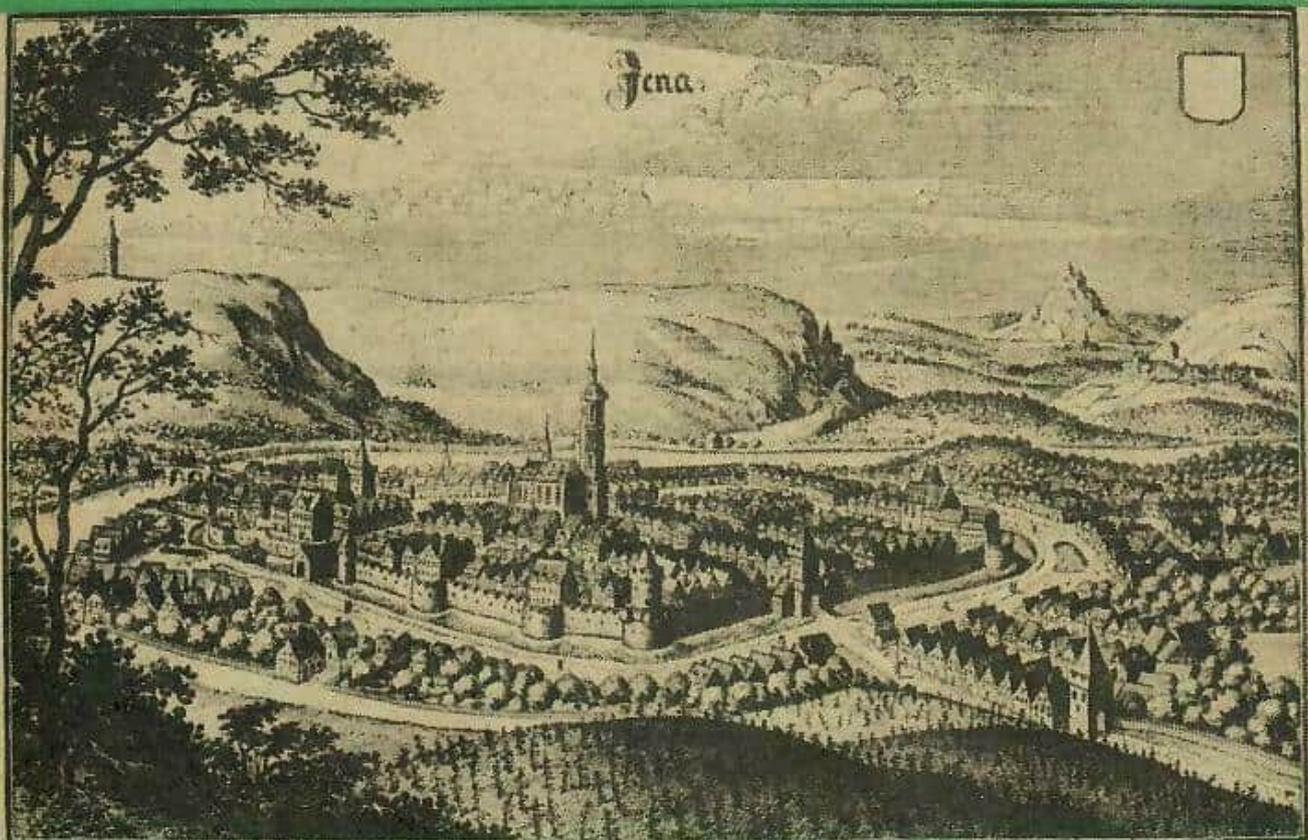
Jelena Chejfiz: „Unser täglich Brot“

A. Chrenow: „Die Vulkane Kamtschatkas“

# Impuls 68

Schülerzeitschrift  
für Physik, Chemie  
und Biologie

INDEX 322004 · ISSN 0232-9220 · 24. JAHRGANG · PREIS: 0,60 M



3/90

# impuls 68

<i>A. Erdmann</i>	
In eigener Sache/Lösungen . . . . .	3
<i>Wolfram Meinhardt</i>	
Die Kernenergienutzung in der DDR . . . . .	4
<i>Norbert Gutmann</i>	
Energiequelle fossile Brennstoffe – Perspektiven und Risiken . . . . .	15
Wie genau kennst Du Deine Heimat? . . . . .	21
Wissenswertes . . . . .	23
Unser Ausflugtip . . . . .	24
Wissenswertes/Literaturtipps . . . . .	25
<i>Michael Beleites</i>	
Johannes Thienemann – Gründer der ersten Vogelwarte der Welt . . . . .	26
Wissenswertes . . . . .	28
<i>U. Dorschner, K.-D. Herbst</i>	
Der Flug zum Mars – nur ein technisches Problem? . . . . .	31

**impuls 68** – Schülerzeitschrift für Physik, Chemie und Biologie

Herausgeber: 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

Texterfassung: **impuls 68**

Textverarbeitung und Rollenoffsetdruck: Druckhaus Gera, AN (EDV) 13228

Chefredakteur: Andreas Erdmann; stellv. Chefredakteur: Burkhard Fleck

Redaktionsmitglieder: Peter Kroll Reiner Strobel, Wolfram Meinhardt, Matthias Müller, Andreas Chawala, Petra Richter, Steffen Steinberg, Gustavo Rodriguez Zurita, Peter Kulle, Norbert Gutmann, Michael Kempe

Gestaltung: **impuls 68**

Redaktionsschluß: 22. 3. 1990

## In eigener Sache

Sicher werdet Ihr bemerkt haben, daß derzeit alle Zeitungen und Zeitschriften in ihrem Preis steigen. Subventionen entfallen, so daß sich die entsprechenden Einrichtungen jetzt selbst tragen müssen. Da macht auch „impuls 68“ keine Ausnahme. Hier einmal unser Haushaltsplan pro Ausgabe:

### Einnahmen

- Verkauf von ca. 4000 Heften pro Ausgabe  
à 0,422 M (die Differenz zum Heftpreis  
erhält die Post für den Versand) 1700,- M

### Ausgaben

- Druckkosten der Ausgabe 4300,- M
- Bücherprämien für Autoren 150,- M
- Büromaterial (Papier, Fotomaterial, . . .) 100,- M

Die Arbeit unserer Redaktionsmitglieder erfolgt ausschließlich ehrenamtlich (d. h. ohne Entlohnung). Pro Heft ergibt sich trotzdem ein Defizit von ca. 2850,- M. Bisher wurde dieser Betrag von der Friedrich-Schiller-Universität Jena aufgebracht. Aber auch dort wird das Geld knapper, so daß wir gezwungen sind, den Heftpreis ab Heft 4/90 auf 1,90 M zu erhöhen.

Andererseits denken wir aber auch, daß wir unseren speziellen Leserkreis – also Schüler – berücksichtigen sollten und die Preise nicht beliebig steigern können. So werden wir uns auch in Zukunft um entsprechende Stützungen bemühen.

Andreas Erdmann  
(Chefredakteur)

## LÖSUNGEN ZU EXPERIMENTIERAUFGABEN HEFT 2/90

### Ergebnisse: Bewegte Gedanken zum Rollen, Fallen und Werfen

Das rohe Ei kommt schneller in Schwung und erreicht den Fußpunkt der geneigten Ebene vor dem gekochten Ei. Das In-Bewegung-Kommen hängt bei einem rollenden (rotierenden) Körper von seinem Trägheitsmoment  $J$  ab. Mit wachsendem  $J$  wird bei gleichbleibender Antriebskraft für das Rollen die mögliche Beschleunigung und damit die in einer Zeiteinheit zurückgelegte Strecke kleiner werden. Ein gekochtes Ei kann in erster Näherung als ein starrer Körper betrachtet werden. Mit zunehmender Abrollgeschwindigkeit muß jedes Masselement in der entsprechenden Umlaufbahn um die Rotationsachse gegen seine Trägheit beschleunigt werden. Bei einem rohen, im Inneren flüssigen Ei, ist das Trägheitsmoment kleiner als beim gekochten Ei, da zu diesem größtenteils nur die äußeren Schichten (vor allem die Schale) beitragen.

Das zweite Experiment (aufgepumpte Wasserflasche mit Steigröhrchen) überrascht beim freien Fall der Flasche durch einen hoch aus dem Röhrchen spritzenden Wasserstrahl. In

(Fortsetzung auf S.14)

**Wolfram Meinhardt**  
**Friedrich-Schiller-Universität Jena**  
**Sektion Physik**

## **Die Kernenergienutzung in der DDR**

Unweit der Stadt Greifswald in Vorpommern liegt das Seebad Lubmin, heute bekannt durch das KKW Nord im VE Kombinat Kernkraftwerke „Bruno Leuschner“, welches dort seinen Stammsitz hat. Neben dem VEB Nachrichtenelektronik Greifswald, der Ernst-Moritz-Arndt-Universität und dem Friedrich-Loeffler-Institut Insel Riems zählt das Kernkraftwerk zu den bedeutendsten Arbeitgebern der Region.

In Lubmin befinden sich vier Blöcke des sowjetischen Typs WWER-440, Druckwasserreaktoren mit je 440 MW elektrischer Leistung. Von hier aus wird der Norden der DDR mit Elektroenergie versorgt. Seit 1983 gibt

es eine Fernwärmeversorgung der Stadt Greifswald durch das KKW Lubmin.

### **Die Öffentlichkeitsarbeit des KKW**

Als sich im September 1989 die Redaktion „impuls 68“ Gedanken über die Themen des Jahres 1990 machte, waren die Ereignisse des Herbstes noch nicht absehbar. Ein Schwerpunkt unserer Themen sollte die Energieversorgung der DDR sein. Im Oktober 1989 schrieben wir die Kernkraftwerke der DDR in Lubmin und Rheinsberg an, um uns über die Kernenergienutzung in der DDR zu informieren. Es entwickelte sich eine gute Zusammenarbeit zwischen Herrn Dr.-Ing. K. D. Schulz, wissenschaftlicher Mitarbeiter des Generaldirektors des Kombines Kernkraftwerke, und der Redaktion „impuls 68“. Vom 5. 2. bis 7. 2. 1990 waren dann zwei Redaktionsmitglieder in Greifswald, um Informationen „vor Ort“ einzuholen – eine Premiere in der Arbeit der Redaktion „impuls 68“.

Die Gespräche in Lubmin fanden in großer Offenheit statt, alle Probleme wurden angesprochen. Dies war nicht immer so, bis zur „Wende“ im Oktober 1989 gab es zahlreiche Tabus, Themen, die nicht angesprochen werden durften. Die Veröffentlichungen unterlagen der Kontrolle des Ministeriums für Kohle und Energie. (Das Ministerium für Kohle und Energie existiert heute nicht mehr, es wurde Ende letzten Jahres im Zuge der Reformen aufgelöst, die Kernkraftwerke kamen in den Zuständigkeitsbereich des Ministeriums für Schwerindustrie. Wenn dieses Heft im Handel erhältlich ist, wird dieses Ministerium wohl schon in einem einheitlichen Wirtschaftsministerium (der DDR) aufgegangen sein.)

Bei wissenschaftlichen Artikeln gab es zunächst keine Einschränkungen, trotzdem unterlagen sie einer Art Zensur. Jeder Artikel eines Mitarbeiters wurde zunächst vom zuständigen Fachdirektor, dann vom Generaldirektor des Kombines und zuletzt vom Minister selbst überprüft, erst aus dem Ministerium kam die Zustimmung zur Veröffentlichung. Dabei waren Betriebsgeheimnisse natürlich von der Veröffentlichung ausgenommen, was ja bei allen Betrieben weltweit selbstverständlich ist (z. B. aus Gründen des Datenschutzes). Anders sah es bei Artikeln aus, die Aussagen über die Zuverlässigkeit des Kraftwerkes erlauben. So ist es international üblich, jährliche Zusammenstellungen über Schnellabschaltungen oder ähnliches zu veröffentlichen (z. B. in der westdeutschen Zeitschrift „Atomwirtschaft Atomtechnik“ findet man jedes Jahr eine solche Statistik für die Bundesrepublik). Derartige Angaben waren in der DDR streng geheim, auch Passagen in wissenschaftlichen Artikeln, die indirekt Aussagen über aufgetretene Probleme enthielten, wurden gestrichen.

Auch in den Massenmedien der DDR wurde das Thema Kernenergie völlig verzerrt dargestellt. So war 1976 von dem Brand im Kabelnetz des Blocks 1 in unseren Medien nichts zu hören oder zu lesen, obwohl die Rauchschwaden sogar auf Rügen von Urlaubern gesehen wurden. Meldungen westlicher Medien (z. B. „Die Welt“ vom 11./12. Dezember 1976) wurden dementiert. In einer Broschüre der URANIA (Kernenergie, friedlich genutzt, 1980) steht folgendes: „Am 26. Oktober 1976 kam es zu einem bedauerlichen Betriebsunfall an einer 6-kV-Eigenbedarfsanlage, bei der bedauerlicherweise ein Elektriker Verletzungen erlitt, an deren Folgen er trotz wochenlanger Bemühungen der Ärzte verstorben ist.“ Diese Broschüre durfte nicht erscheinen. Im Jahre 1981 kam der damalige Bundeskanzler Helmut Schmidt in die DDR. Um diesen Besuch nicht zu belasten, wurde der Vertrieb der Broschüre verboten, da in ihr sehr stark gegen die BRD polemisiert wird. Erst nach einer Veröffentlichung im „Spiegel“ (4/1990, S. 85–87) wurde der Störfall durch offizielle Stellen in der DDR bestätigt. Über den Unfall erhielten wir eine von der Spiegel-Veröffentlichung abweichende Beschreibung. Am 26. 10. 1976 fiel gegen 11 Uhr durch den Brand im Kabelsystem des Blocks 1 die Stromversorgung der sechs Hauptumwälzpumpen aus, die Pumpen gingen in den sogenannten Naturumlauf über. Die Absorberkassetten fielen in die Spaltzone und unterbrachen die Kettenreaktion. Der Naturumlauf der Hauptumwälzpumpen im 1. Kreislauf funktioniert wie bei einer „Schwerkraftheizung“ durch die Dichteunterschiede des Kühlmittels bei verschiedenen Temperaturen. Gegen 19 Uhr war der Zustand stabilisiert, der Reaktor gab noch 1 % der Nennleistung ab. Es wurde keine Aktivität freigesetzt. Auf der von 0 bis 6 reichenden Meldeskala der Internationalen Atomenergieagentur (IAEA) hatte dieser Unfall die Kategorie 3.

Die Medienpolitik der DDR führte auch dazu, daß die DDR-Bürger den Informationen der westdeutschen Medien über den Unfall in Tschernobyl 1986 hilflos gegenüberstanden und seriöse Berichterstattung von Sensationsmeldungen oft nicht unterscheiden konnten.

Noch heute gibt es Probleme mit der Öffentlichkeitsarbeit, die Alllasten sind sehr groß. „Die verfehlte Medienpolitik der letzten Jahre macht uns schwer zu schaffen.“ (Dr. Schulz) Mit dem Besuch von Bundesumweltminister Prof. Klaus Töpfer kam die Öffnung des KKW's für die Medien. Neben dem Hessischen Rundfunk und anderen ARD-Fernsehanstalten war auch RTL in Greifswald. Dieser erste Fernsehbericht im Spiegel-TV war nun das vollständige Gegenstück zur DDR-Berichterstattung bis Oktober '89. Mit derartiger Berichterstattung leben zu lernen, gehört wohl auch zu den Hausaufgaben der Verantwortlichen in Politik und Wirtschaft der DDR.

Ganz anders sah es in der Öffentlichkeitsarbeit des Kernkraftwerkes für die Umgebung aus, hier gab es keine so große Abschattung nach außen. Bereits seit Anfang der 70er Jahre gab es eine kontinuierliche Öffentlichkeitsarbeit. Vorträge an der Ernst-Moritz-Arndt-Universität sowie URANIA-Vorträge für die Bevölkerung fanden statt, dabei wurden die zentral auferlegten Tabus recht großzügig ausgelegt, was auch nicht „von oben“ unterbunden wurde. Ein „Tag der offenen Tür“ fand allerdings erstmals am 3./4. 2. 1990 statt, angekündigt in der „Ostsee-Zeitung“. Die Resonanz hielt sich jedoch in Grenzen, nur ca. 1000 Besucher zum Teil aus der Bundesrepublik kamen in zwei Tagen und besichtigten den nichtaktiven Bereich des Kraftwerks. Derartige „Tage der offenen Tür“ wird es in Zukunft regelmäßig geben.

### **Der Einstieg der DDR in die Kernenergie**

Nach dem Ende des 2. Weltkrieges waren viele deutsche Wissenschaftler in der Sowjetunion, um mehr oder weniger freiwillig am dortigen Atombombenprojekt mitzuarbeiten (z. B. Manfred von Ardenne, Nikolaus Riehl). Anfang der 50er Jahre kehrten sie in ihre Heimat

zurück, dabei war es ihnen freigestellt, in welchen Teil Deutschlands sie gingen. Die Erfahrungen dieser Wissenschaftler wurden in der DDR zum Aufbau der Kernenergiewirtschaft genutzt. Da durch das Potsdamer Abkommen die Arbeit mit radioaktiven Substanzen verboten war, wurde erst 1955 durch den Abschluß des „Abkommens über Hilfeleistung der UdSSR an die DDR auf dem Gebiet der Physik des Atomkerns und der Nutzung der Atomenergie für die Bedürfnisse der Volkswirtschaft“ zwischen der Sowjetunion und der DDR der Weg zur Atomenergienutzung in der DDR frei. 1956 wurde von der Regierung der DDR der Bau des ersten KKW's in Rheinsberg (Mark) beschlossen. Für diese Entscheidung war wohl auch die Rohstoffsituation in der DDR verantwortlich, da es hier mit der Braunkohle nur einen nutzbaren fossilen Primärenergieträger mit recht beschränkter Nutzungsdauer (ca. 100 Jahre) gibt. Dieses erste Kernkraftwerk mit einer elektrischen Leistung von 70 MW wurde dann 1966 in Betrieb genommen, nachdem 1957 bereits der erste Forschungsreaktor der DDR im Zentralinstitut für Kernforschung in Rossendorf bei Dresden seinen Betrieb aufgenommen hatte.

1967 begannen die Geländeaufschlußarbeiten in der Lubminer Heide, 1968 war Baubeginn für das KKW Nord.

1973 war es dann soweit, in Lubmin wurde der erste 440-MW-Block in Betrieb genommen. (Die Abkürzung WWER steht für Wasser-Wasser-Energie-Reaktor, das soll zum Ausdruck bringen, daß Wasser sowohl als Kühlmittel als auch als Moderator verwendet wird.) Die Blöcke 2 bis 4 folgten 1975, 1978 und 1979. Dabei handelt es sich um in den 60er Jahren konstruierte Druckwasserreaktoren sowjetischer Bauart.



Abb. 1. Außenansicht des Kernkraftwerks Lubmin (Foto: KKW Greifswald)

Die im Bau befindlichen Blöcke 5 bis 8 sind modifizierte WWER-440, von sowjetischen Ingenieuren speziell für die DDR konstruiert. Obwohl seit 1980 an diesen Blöcken gebaut wird, gab es durch das unentschlossene Handeln der Regierung eine zehnjährige Pause zwischen 1979 und 1989, in der nicht viel geschah. Da die Braunkohle als einfacher zu handhaben und billiger schien, wurde die Kernenergie vernachlässigt. Das führte dazu, daß durch Fluktuationen von Facharbeitern den am Bau beteiligten Betrieben (z. B. BMK Kohle

und Energie Hoyerswerda als zuständiger Baubetrieb, dem IKR Bitterfeld, zuständig für den Rohrleitungsbau) viele Arbeitskräfte und mit ihnen ein großer Erfahrungsschatz verlorengegangen.

Zudem gab es durch neue Erkenntnisse ständige Projektänderungen und Nachbesserungen, erst vor kurzem entschloß man sich, das Projekt in der jetzigen Form zu vollenden.

### **Vergleich: Elektroenergieerzeugung aus Kernenergie oder aus Rohbraunkohle?**

Im folgenden soll ein Vergleich zwischen der Elektroenergieerzeugung aus Kernenergie und der Rohbraunkohlenutzung dargestellt werden.

Im KKW Lubmin befinden sich 349 Brennstoffkassetten mit zusammen 48 t  $\text{UO}_2$  (Urandioxyd) in der „aktiven Zone“ (auch „Spaltzone“ genannt). Das entspricht 1044 kg  $^{235}\text{U}$ . Die sechseckigen Brennstoffkassetten sind 2,5 m lang und enthalten den Kernbrennstoff  $\text{UO}_2$ , der in Form von Pellets in röhrenförmigen Brennelementen aus einer Zirkoniumlegierung untergebracht ist. Der Anreicherungsgrad mit  $^{235}\text{U}$  liegt im Mittel bei 2,5 %. Jährlich werden 16 t  $\text{UO}_2$  (das entspricht einem Drittel der Brennstoffkassetten) ausgetauscht, dabei wird auch der Platz der einzelnen Brennelemente verändert, in der Mitte befindliche Kassetten werden entnommen und in ein Abklingbecken gebracht, die am Rand befindlichen Kassetten werden nach innen versetzt und am Rand werden neue Brennstoffkassetten eingesetzt. Jede Kasette verbleibt 3 Jahre im Reaktor. Tatsächlich werden pro Kampagne (1 Jahr) 300 kg  $^{235}\text{U}$  verbraucht, gleichzeitig werden 230 kg  $^{239}\text{Pu}$  erbrütet, davon werden jedoch 145 kg gleich wieder im Reaktor gespalten. 15 kg  $^{235}\text{U}$  wandeln sich ohne Spaltung in andere Isotope, so daß die nach drei Jahren ausgeladenen Kassetten noch 135 kg  $^{235}\text{U}$  und 85 kg  $^{239}\text{Pu}$  enthalten, was eine Wiederaufarbeitung durchaus rentabel erscheinen läßt.

Bei der Spaltung eines Uran-235-Kerns entstehen  $1,1376 \times 10^{10}$  kWh thermische Energie, die Spaltung von 1 g  $^{235}\text{U}$  liefert 22406,4 kWh thermische Energie, was bei einem Wirkungsgrad von 30 % 6722 kWh elektrischer Energie entspricht.

Um 1 kWh elektrische Energie zu erzeugen, sind  $1,49 \times 10^{-4}$  g  $^{235}\text{U}$  notwendig (das entspricht 29,3 Milliarden Spaltungen). Um den gleichen Energiebetrag aus Rohbraunkohle zu gewinnen, sind 1,3 kg Rohbraunkohle erforderlich. Mit vier in Betrieb befindlichen Blöcken vom Typ WWER-440 erzeugt das KKW Lubmin täglich  $10,6 \times 10^6$  kWh elektrische Energie und verbraucht dazu 1,683 kg  $^{235}\text{U}$ . Im Kraftwerk Boxberg müßten dafür 13780 t Rohbraunkohle verbrannt werden.

### **Der technische Aufbau des Kernkraftwerks**

In einem Kernkraftwerk mit Druckwasserreaktor sind Kühlmittelkreislauf und Arbeitsmittelkreislauf vollständig voneinander getrennt. Der Kühlmittelkreislauf des Reaktors (1. Kreislauf) dient zur Abführung der in der aktiven Zone erzeugten thermischen Energie. Als Kühlmittel wird Wasser verwendet. Die wesentlichen Teile des 1. Kreislaufs eines Blocks sind neben dem Druckwasserreaktor WWER-440 sechs Kühlschleifen, bestehend aus Hauptumwälzpumpe, Dampferzeuger, dem kalten und dem heißen Strang der Hauptumwälzleitung, zwei Hauptabsperrschiebern und einigen notwendigen Hilfs- und Sicherheitssystemen. Die 6 Hauptumwälzpumpen fördern im Normalbetrieb pro Stunde etwa  $40\,000 \text{ m}^3$  Kühlmittel von unten nach oben durch den Reaktor. Im Dampferzeuger wird die Energie auf den zweiten Kreislauf übertragen. Im Arbeitsmittelkreislauf (2. Kreislauf) wird trockener, nicht radioaktiv verunreinigter Frischdampf erzeugt, welcher die beiden Sattdampfturbinen eines Blocks antreibt. Außerdem wird durch den 2. Kreislauf das für die Dampferzeuger notwendige Speisewasser bereitgestellt. Hauptbestandteile des zweiten Kreislaufs sind das Frisch-

dampfsystem, zwei Sattdampfturbinen, das Turbinenkondensatsystem, das Speisewassersystem und Hilfs- und Nebenanlagen.

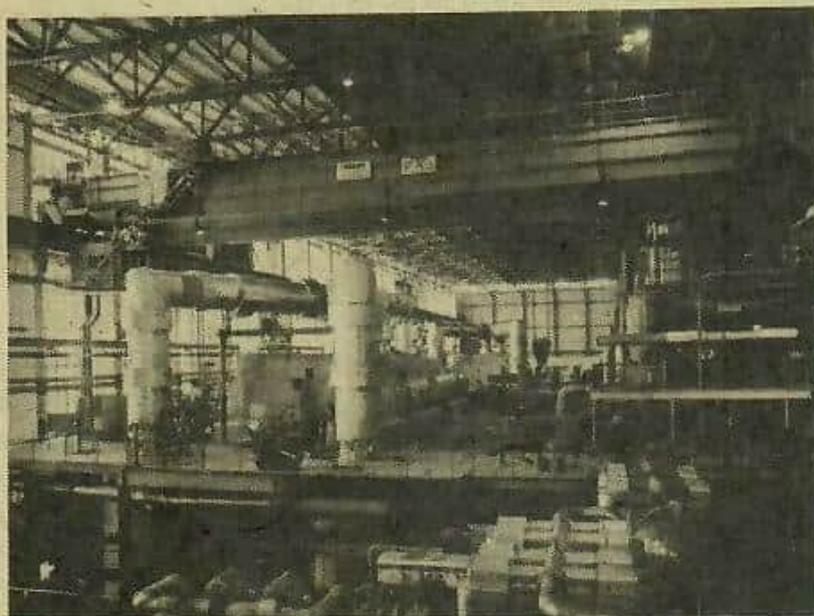


Abb. 2: Turbinensaal des KKW  
(Foto: KKW Greifswald)

Mit Hilfe eines thermodynamischen Kreisprozesses (Wasser-Dampf-Prozeß nach CLAU-SIUS-RANKINE) wird in der Turbine die thermische Energie in mechanische Energie umgewandelt. Dazu ist es notwendig, den in der Turbine entspannten Dampf im Turbinenkondensator zu kondensieren. Daraus resultiert der große Kühlwasserbedarf, welcher für die Standortwahl des KKW wichtig ist. In Lubmin wird das Prinzip der Durchflußkühlung angewandt. Dazu dient der Hauptkühlwasserkreislauf (3. Kreislauf). Das Wasser wird dem Peenestrom entnommen und gelangt über Einlaufkanal und Einlaufbauwerk in den 3. Kreislauf. Es wird nur zur Kühlung der nichtradioaktiven Anlagen genutzt. Über den Auslaufkanal gelangt das Kühlwasser in den Greifswalder Bodden. Am Ende des Auslaufkanals wird in der Energierückgewinnungsanlage die Höhendifferenz zwischen dem Niveau des Maschinenhauses und dem Meeresspiegel im Bodden zur Elektroenergiegewinnung (14 MW) ausgenutzt.

### Die Umweltbelastung

Mit der Abluft jedes Kernkraftwerks werden radioaktive Stoffe in die Umwelt abgegeben. Dafür sind Grenzwerte gesetzlich festgelegt, welche nicht überschritten werden dürfen. In der DDR gelten folgende Werte (bezogen auf 4 Blöcke und 1 Jahr):

Edelgase	3700 TBq
Aerosole insgesamt	1100 GBq
Aerosole langlebig	111 GBq
Jod	92,5 GBq

Tab. 1: Gesetzlich vorgeschriebene Grenzwerte für die Emission radioaktiver Substanzen durch ein Kernkraftwerk (4 Blöcke des Typs WWER-440 für 1 Jahr)

(1 Bq = 1 Becquerel = 1 Zerfall pro Sekunde)

(T - Tera =  $10^{12}$ , G - Giga =  $10^9$ )

Diese Werte werden in Lubmin deutlich unterschritten:

		1984	1985	1986	1987	1988
Edelgase	A/TBq	192,4	188,7	164,0	230,2	277,0
Aerosole						
gesamt	A/GBq	17,6	17,6	18,6	22,0	25,1
langlebig	A/GBq	0,44	0,44	—	keine Angaben	—
Jod	A/GBq	4,35	3,88	5,66	8,62	10,33

Tab. 2: Durch das KKW Lubmin emittierte Aktivität (Meßwerte)

Konzentriert man alles, was aus dem Schornstein des KKW in Lubmin kommt, auf einen Punkt, wird eine Äquivalentdosis von  $0,4 \mu\text{Sv/a}$  erreicht, verglichen mit der natürlichen Strahlenbelastung von  $1850 \mu\text{Sv/a}$  ist das doch recht wenig.

Wie uns Dr. Schulz versicherte, gab es im KKW Lubmin bisher keinen Störfall, in dessen Folge die Belegschaft des Kraftwerks oder die Bevölkerung der Umgebung einer Belastung durch radioaktive Stoffe oder ionisierende Strahlung ausgesetzt war.

Bis zur Katastrophe von Tschernobyl standen dem KKW in Lubmin kaum Devisen zur Verfügung, um auf dem westlichen Markt moderne Meß- und Kontrollsysteme zu kaufen. Trotz ständiger Forderungen aus Greifswald mit dem Hinweis, daß ein modernes Meßsystem dringend notwendig ist, um im Falle einer Havarie den Schutz der Bevölkerung zu organisieren, kamen aus Berlin nur Absagen. Erst nach Tschernobyl reagierte die Regierung der DDR und stellte die dringend benötigten Devisen zur Verfügung. Heute verfügt das Kernkraftwerk über ein Meßnetz, welches 10 Meßstellen auf dem Kraftwerksgelände, 10 Meßstellen in der Umgebung und 2 mobile Meßfahrzeuge umfaßt. Mit den 10 Meßstellen im KKW wird  $\gamma$ -Strahlung und damit die Edelgaskonzentration gemessen, die 10 Meßstellen in der Umgebung messen neben der  $\gamma$ -Strahlung auch noch die Aerosol- und Jod-Belastung der Umwelt.

Zu dem Frühwarn- und Umgebungsüberwachungssystem gehört auch eine Doppler-SODAR-Anlage der Siemens AG. Damit werden Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Turbulenzen bis in 430 m Höhe über dem Kernkraftwerk in einem Schichtenraster gemessen.

Die Strahlenbelastung der Mitarbeiter des Kraftwerks wird streng kontrolliert. Der aktive Teil des KKW ist vom inaktiven Teil getrennt, der Übergang ist nur an bestimmten Punkten möglich. Dabei dürfen nur Mitarbeiter mit ärztlich attestierter Tauglichkeit die aktive Zone betreten. Der Übergang erfolgt durch Schleusen, welche nackt passiert werden müssen. Die Überwachung der Strahlungsdosis erfolgt durch zwei Dosimeter, ein Filmplattendosimeter und ein sogenanntes Füllhalterdosimeter. Das Filmplattendosimeter erhält jeder Mitarbeiter, bevor er den aktiven Bereich betritt, das Füllhalterdosimeter verbleibt im aktiven Bereich. Einmal im Monat werden die Filmplattendosimeter nach Berlin ins Staatliche Amt für Atomsicherheit und Strahlenschutz (SAAS) geschickt. Das Füllhalterdosimeter dient zur täglichen Kontrolle, es wird beim Verlassen des aktiven Bereichs kontrolliert. Die Wirkungsweise des Füllhalterdosimeters (welches wegen seiner Ähnlichkeit mit einem Füllfederhalter so bezeichnet wird), beruht darauf, daß ein Plattenkondensator entladen wird, wenn man im Dielektrikum zwischen den Platten (z. B. Luft) durch die Einwirkung ionisierender Strahlung freie Ladungsträger erzeugt.

Mitarbeiter dürfen nicht mehr im aktiven Bereich arbeiten, wenn laut Dosimeteranzeige zwei Drittel des gesetzlich erlaubten Dosiswerts erreicht sind. Das fehlende Drittel läßt man als Reserve, um bei einer eventuellen, durch die Dosimeter nicht meßbaren Inkorporation radioaktiver Substanzen ebenfalls den Grenzwert nicht zu überschreiten.

Jeder im aktiven Bereich tätige Mitarbeiter erhält im Monat bis zu 70 M Strahlenschutzpauschale zusätzlich zum Lohn oder Gehalt. Dabei handelt es sich nicht um Erschwerniszuschlag, dieser kann noch zusätzlich gezahlt werden.

### Technische Probleme

In den letzten Monaten war in den Medien viel über die technischen Probleme und Mängel des Kernkraftwerks in Lubmin zu hören und zu lesen. Eines der wichtigsten Probleme des Reaktortyps WWER-440 ist die Versprödung der Reaktordruckgefäße. Durch den Beschuß mit Neutronen, welche ja bei der Kernspaltung frei werden, wird die Struktur des für das Druckgefäß verwendeten Stahls verändert. Durch Neutronenstöße werden Gitterbausteine des ursprünglich kubisch flächenzentrierten Gitters von ihren Plätzen gestoßen, die kubisch flächenzentrierte Kristallstruktur geht verloren, der Stahl versprödet. Begünstigt wird dieser Prozeß noch dadurch, daß die im in Lubmin verwendeten Stahl enthaltenen Spurenelemente (z. B. Kupfer, Phosphor, Schwefel) die Sprödbruchtemperatur herabsetzen. Bei der Konstruktion des WWER-440 in den sechziger Jahren war man davon ausgegangen, daß die Materialversprödung erst nach Ende der geplanten Nutzungsdauer von ca. 25 Jahren so groß wird, daß ein sicherer Betrieb nicht mehr garantiert werden kann.

In den Kernkraftwerken westlicher Bauart befindet sich zwischen Spaltzone und Reaktordruckgefäß ein Wasserspalt, welcher die Aufgabe hat, den Stahl des Druckgefäßes vor der Einwirkung von Neutronen zu schützen. Diesen Wasserspalt gibt es zwar auch beim WWER-440, aber er ist viel zu klein. Dieses Problem der Materialversprödung wurde bei der Konstruktion des Reaktors einfach nicht ernst genug genommen. Heute hört man auch das Argument, man habe den Wasserspalt bewußt weggelassen, damit die Druckgefäße nicht zu breit werden und mit der Bahn transportiert werden können. Dies mag eine Rolle gespielt haben, ist aber wohl nicht der Hauptgrund. In Lubmin behilft man sich damit, daß man in der Spaltzone die äußeren Brennstoffkassetten durch Neutronenabsorberkassetten ersetzt, um den Stahl zu schützen. Dies kann den Prozeß bestenfalls verzögern. Im Normalbetrieb stellt eine Materialversprödung des Druckgefäßes kein Problem dar, bei plötzlichen Lastwechseln (z. B. Schnellabschaltungen) ist die Sicherheit jedoch nicht mehr garantiert. Das Problem der Versprödung spielt in Rheinsberg keine Rolle, was aber reiner Zufall ist, da der vergleichsweise kleine Reaktor (70 MW elektrische Leistung) eine geringe spezifische Leistung und damit große Sicherheitsreserven hat. Bei allen Reaktoren der mittleren Generation, also nicht nur bei dem in Lubmin (derartige Druckwasserreaktoren befinden sich in fast allen RGW-Ländern), besteht die Gefahr der Versprödung der Druckgefäße. Das Problem wurde erst spät erkannt und wurde erst bei den neueren Reaktoren berücksichtigt.

Versprödete Druckgefäße kann man durch das sogenannte „Spannungsfreiglühen“ wieder nutzbar machen. Dazu wird das entleerte Druckgefäß induktiv auf 450 °C erhitzt, bei dieser Temperatur heilen die Fehlstellen aus. Mit diesem Verfahren sind 85 % der ursprünglichen Werte erreichbar, es ist aber nicht garantiert, daß diese theoretisch möglichen 85 % erreicht werden. Block 1 in Lubmin wurde im Jahre 1989 so behandelt. Auf unsere Frage nach dem Ergebnis erhielten wir die eindeutige Antwort: „Ja, es hat geklappt.“ Aus dem Reaktordruckgefäß wurden Proben entnommen, die im Labor überprüft wurden.

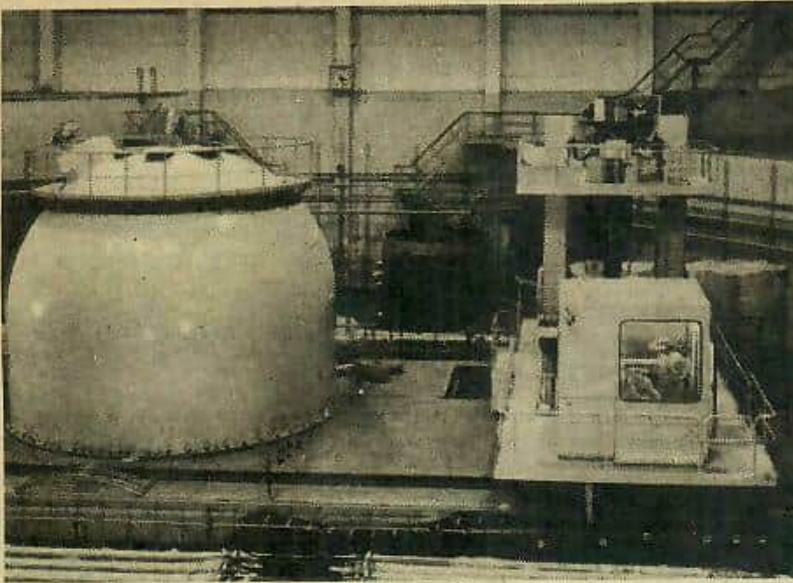


Abb. 3: Reaktorsaal mit einem Druckwasserreaktor  
(Foto: KKW Greifswald)

Ein anderes Problem bei diesem Reaktortyp ist, daß er strömungstechnisch nicht sehr günstig gebaut ist. 1975 fand man im 1. Kreislauf Spaltprodukte, ein Hinweis darauf, daß Brennelemente beschädigt worden waren. Dies bestätigte sich dann auch, die Ursache waren Schwingungen, die durch die Umströmung der Brennstoffkassetten durch das Kühlmittel entstanden waren, und welche eine Beschädigung der Brennelemente zur Folge hatten. Derartige Störungen sind heute noch immer möglich.

Die Betreiber des KKW in Lubmin müssen sich mit einem anderen Problem herumschlagen, es regnet nämlich in die Gebäude hinein, die Dächer sind undicht. Ähnliche Probleme gibt es bei einigen Neubaublocks, die Gebäude in KKW Lubmin haben die gleichen Dächer mit den gleichen Mängeln. Das einige Jahre früher gebaute KKW in Rheinsberg hat diese Probleme nicht, die Technologie, dichte Dächer zu bauen, ging zwischenzeitlich verloren. Durch diese eindeutige Schlamperei des zuständigen Projektierungs- und Baubetriebes sind in Lubmin ständig Arbeiter damit beschäftigt, Dächer auszubessern.

### Internationale Zusammenarbeit und Kontrolle

Die Reaktoren des Typs WWER-440 sind sowjetischer Bauart, während wesentliche Bauteile des sonstigen Kraftwerks (z. B. Dampferzeuger) aus der DDR kommen. Ein Problem der Greifswalder Kernkraftwerker ist die Ersatzteilversorgung. Seit es in der UdSSR kein staatliches Außenhandelsmonopol mehr gibt und deshalb mit jedem Betrieb direkt verhandelt werden muß, sind von dort fast gar keine Ersatzteile mehr erhältlich, die Sowjetunion hat sich nach den Aussagen von Dr. Schulz zu einem sehr schwierigen Partner entwickelt. Früher war es im Notfall möglich, durch die Strukturen der Kommandowirtschaft eine Anordnung von oben nach unten durchzustellen, das geht heute nicht mehr. Marktwirtschaftliche Strukturen, in denen derartige Probleme nur noch selten auftreten, sind im Rahmen des RGW jedoch noch nicht einmal in Ansätzen zu erkennen. Erschwerend kommt hinzu, daß das Kraftwerk in den sechziger Jahren konstruiert wurde, viele Teile werden heute gar nicht mehr hergestellt. Die Lage bei der Ersatzteilversorgung aus der DDR ist wie überall im Lande, da macht ein KKW keine Ausnahme. Produzenten für dringend benötigte Teile lassen sich in der Industrie nicht finden, da ja oft nur sehr geringe Stückzahlen oder einzelne Teile gebraucht werden. So ist man im KKW Lubmin dazu gezwungen, zu improvisieren, oder, wie das im DDR-Hochdeutsch heißt, einen Ratiomittelbau zu entwickeln.

Dies soll in Rheinsberg nach der Stilllegung des dortigen KKW geschehen. Ebenfalls aus der Sowjetunion kommt der Kernbrennstoff. Er wird nicht in Form von Natururan bzw. angereichertem Uran geliefert, sondern in Form fertiger Brennstoffkassetten. Dies hat den Vorteil, daß sich die DDR nicht um die Entsorgung des Atommülls kümmern muß. Die Sowjetunion hat sich dazu verpflichtet, alle ausgebrannten Brennstoffkassetten zurückzunehmen. Anders sieht es in der Bundesrepublik Deutschland aus, auch hier erhält man 40% des in Kernkraftwerken genutzten Urans aus der Sowjetunion, allerdings als Urandioxid ( $UO_2$ ) in loser Form. Es ist für die Bundesrepublik billiger, die Brennelemente selbst zu fertigen als sie zu kaufen. Der Nachteil für die Bundesrepublik besteht darin, daß sie selbst für die Entsorgung des Atommülls verantwortlich ist.

In den ersten Verträgen zwischen der DDR und der UdSSR war vereinbart, daß die ausgebrannten Brennstoffkassetten nach einer Abklingzeit von 3 Jahren in die Sowjetunion gebracht werden. Dies wurde vor einiger Zeit verändert, so daß jetzt die Brennstoffkassetten erst nach 5 bis 7 Jahren abgeholt werden. Weil die Brennstoffkassetten nach der Entnahme aus dem Reaktor erst in Lubmin auf dem Gelände des Kernkraftwerks zwischengelagert werden, mußte in Lubmin ein Abklingbecken gebaut werden, um die Brennstoffkassetten unter Wasser sicher zwischenlagern zu können. Ein derartiges Abklingbecken ist einmalig auf der Welt. Da in den Kassetten auch Jahre nach der Entnahme aus dem Reaktor eine erhebliche Wärmeentwicklung stattfindet, ist ein Transport nach fünf bis sieben Jahren einfacher und sicherer zu bewerkstelligen als nach drei Jahren. Die Rücknahme der ausgebrannten Brennstoffkassetten durch die UdSSR ist vertraglich garantiert, Gerüchte, daß die Sowjetunion keine verbrauchten Brennelemente mehr zurücknimmt, wurden uns nicht bestätigt.

Beim Transport und der Handhabung von Brennstoffkassetten und von spaltbarem Material überhaupt gelten strenge Vorschriften. Jede Brennstoffkassette hat eine Nummer, an Hand eines Passes wird für jede Kassette ein lückenloser Nachweis über den Verbleib geführt. Die Brennstoffkassetten werden aus der UdSSR mit der Bahn angeliefert und kommen in das Lager für frische Brennelemente. Dieses Lager wird von einem Mitarbeiter der Internationalen Atomenergieagentur (IAEA) mit Sitz in Wien versiegelt. Bei jeder Öffnung des Lagers muß ein Inspektor der IAEA aus Wien zugegen sein. Auch der Reaktor und das Abklingbecken sind versiegelt, jede Öffnung des Reaktors erfolgt mit Kenntnis der IAEA. Die Siegel auf dem Reaktor werden mit einer ebenfalls versiegelten Kamera überwacht, die in unregelmäßiger, den Betreibern des Kernkraftwerks unbekannter Folge das Siegel fotografiert. Deshalb muß der Reaktorsaal immer ausreichend beleuchtet sein. Ein unbelichtetes Bild auf dem Film in der Kontrollkamera würde die IAEA auf den Plan rufen, da ja dann der Verdacht besteht, daß am Siegel manipuliert worden ist.

Da bei jeder Öffnung des Reaktors ein Inspektor der Internationalen Atomenergieagentur (der nicht aus dem Betreiberland des Kernkraftwerks kommen darf) dabei sein muß, waren alle Störungen und Zwischenfälle im KKW „Bruno Leuschner“ in Lubmin, bei denen eine Öffnung des Reaktors notwendig war, den internationalen Behörden (und auch allen zuständigen Behörden in der DDR) bekannt.

Die IAEA überwacht den Verbleib der Brennstoffkassetten. Im Abklingbecken werden z. B. mit einer Unterwasserkamera die Nummern der dort eingelagerten Brennstoffkassetten stichprobenartig überprüft. Ein Diebstahl oder eine Unterschlagung von Kernbrennstoff ist dadurch zwar noch nicht ausgeschlossen, es bleibt aber auf jeden Fall nicht lange unbemerkt.

Details der Sicherheitsvorkehrungen zum Schutz vor Diebstahl spaltbaren Materials werden verständlicherweise der Öffentlichkeit nicht zugänglich gemacht.

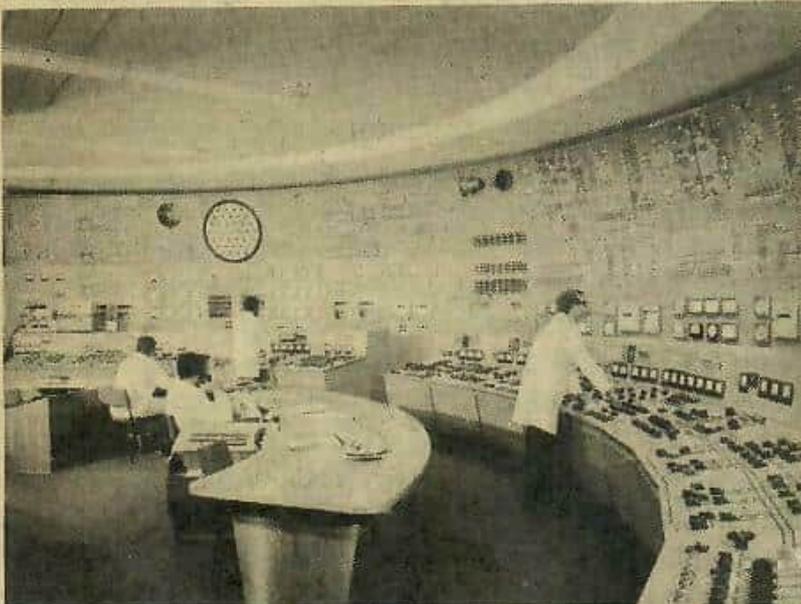


Abb. 4: Eine Blockwarte in Lubmin (Foto: KKW Greifswald)

### Aktuelle Ereignisse und Zukunftsperspektiven

In unserem Gespräch mit Dr. Schulz und anderen Mitarbeitern des KKW Lubmin war man dort noch sehr sicher, daß es zu keinen Abschaltungen kommen wird. Die Reaktoren seien zwar nicht mehr die neuesten, aber sicher. Über den Sicherheitsstandard hatte man keine Illusionen, eine vollständige Rekonstruktion und Nachrüstung der 4 Blöcke mit westlicher Kontroll- und Sicherheitstechnik würde Milliarden kosten, wahrscheinlich sogar mehr als ein Neubau. Trotzdem ging man davon aus, daß der Betrieb der 4 Blöcke gesichert sei und die von der deutsch-deutschen Gutachterkommission zu erwartenden Auflagen mit Fristen um 2 Jahre versehen sein würden. Deshalb drängte man von Greifswalder Seite aus die Regierung der DDR, schnelle und klare Entscheidungen zu treffen, um für die Erfüllung der notwendigen Auflagen möglichst viel Zeit zu haben. Aber es kam anders, heute sind bereits 2 Blöcke abgeschaltet. Block 2 wurde am 15. 2. 1990, Block 3 am 28. 2. 1990 vom Netz genommen. Der Grund dafür ist die durch den Neutronenbeschuß entstandene Versprödung der Reaktordruckgefäße. Sie werden in den nächsten Monaten der gleichen Prozedur des Spannungsfreiglühens unterworfen wie der Block 1 im letzten Jahr, die Rekonstruktion des Blocks 2 war für das Jahr 1990 planmäßig vorgesehen. Nach der Wiederinbetriebnahme der Blöcke 2 und 3 gehen die Blöcke 1 und 4 vom Netz zur turnusmäßigen Brennstoffumladung. Auch mit den neuen Blöcken gibt es Probleme. Wenn ein Reaktorblock in Betrieb genommen wird, geht das nach einem gewissen Fahrplan. Es beginnt mit der Kalterprobung, der die Warmerprobung folgt. Beides findet noch ohne Kernbrennstoff statt. Das Ziel dieser Maßnahmen besteht darin, die Funktionstüchtigkeit aller Systeme zu überprüfen. Dieser Phase folgt das physikalische Anfahren. Der Brennstoff kommt zunächst in den Reaktor, dann werden die physikalischen Parameter des Reaktors geprüft. Das anschließende Anfahren des Reaktors erfolgt in den Stufen 15% der Nennleistung, 35%, 55%, 75% und 100% der Nennleistung. Dabei wird die Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems überprüft.

Während des Anfahrens des Blocks 5 kam es am 24. 11. 1989 bei 55% der Nennleistung zu einer Störung. Um die automatische Schnellabschaltung zu prüfen, waren drei Hauptumwälzpumpen abgeschaltet worden. Durch einen Fehler in der Anzeige des Wasserstandes in einem Dampferzeuger wurde um 21.43 Uhr über die Verriegelung automatisch eine weitere Hauptumwälz-

pumpe abgeschaltet. Auf Grund von Mängeln an den Auslösekontakten der Relais der Schnellabschaltung versagte die automatische Schnellabschaltung des Reaktors. Nach 40 s wurde sie durch den Operator von Hand ausgelöst.

Dabei wurden die Grenzwerte für die Kassettenaustrittstemperatur nicht erreicht, obwohl kurzzeitiges lokales Sieden möglich war. Am 26. 11. wurde der Reaktor wieder angefahren. Am 29. 11. nahm eine Untersuchungskommission, bestehend aus Vertretern des Errichters der Anlage, des zukünftigen Betreibers und einer sowjetischen Expertengruppe ihre Arbeit auf. Unabhängig davon ordnete das SAAS die vollständige Außerbetriebnahme des Reaktors an. Das erneute Anfahren war für Ende Februar geplant, bis dahin sollen weitere Projekt-mängel beseitigt werden. Bis heute (21. 3. 1990) ist der Block 5 jedoch noch nicht wieder angefahren worden. Durch den Störfall wurde die Inbetriebnahme weiterer Blöcke in Lubmin stark verzögert.

Über die weitere Entwicklung der Kernenergie in der DDR (bzw. in diesem Teil Deutschlands) kann man jetzt keine verlässlichen Aussagen treffen. Für die DDR bleibt auf lange Sicht sicherlich die Kernenergie die einzige Alternative zur Braunkohle. Dabei ist es aber dringend erforderlich, daß die Kernkraftwerke umgehend auf den neuesten Stand der Technik gebracht werden. Ob dazu die DDR in der Lage ist, darf bezweifelt werden. In einem geeinten Deutschland, und die Entwicklung läuft ja mit Volldampf in diese Richtung, muß man sicherlich nicht an den in der DDR entwickelten Energieversorgungskonzepten festhalten. Die Zukunft des Standortes Greifswald wird sicher auch davon abhängen, wie schnell wir aus der Braunkohle aussteigen und wieviel des dadurch entstehenden Versorgungsausfalls durch Kraftwerke in Westdeutschland ausgeglichen werden kann. Ob es in Greifswald in einiger Zeit noch ein Kernkraftwerk geben wird, welche Reaktortypen dann verwendet werden oder ob in einigen Jahrzehnten dort wieder „grüne Wiese“ ist, kann man jetzt nicht voraussagen.

Ich möchte Herrn Dr.-Ing Schulz vom VE Kombinat Kernkraftwerke „Bruno Leuschner“ in Greifswald für die gute Zusammenarbeit herzlich danken.

*(Fortsetzung von S. 3)*

Ruhelage passiert dies nicht, weil sich die Gewichtskraft der Wassersäule und die aus dem Überdruck resultierende Kraft kompensieren. Der freie Fall ist eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung im Schwerfeld, d. h. unter dem Einfluß der Gravitationskraft auf die passive schwere Masse des fallenden Körpers. Für die Beschleunigung der Wassersäule muß ihre Trägheit (als Folge der trägen Masse) überwunden werden. Die Trägheitskraft ist der Gravitationskraft entgegengerichtet und betragsmäßig gleich dieser. Folglich wird die Wassersäule gegenüber der Flasche schwerelos und die verbleibende Druckkraft hebt die Wassersäule aus dem Röhrchen heraus. – Angewandt wird diese Schwerelosigkeit beim freien Fall für die Ausbildung von Kosmonauten. Für kurze Zeit können die Testpersonen in einem frei fallenden Flugzeug bezüglich diesem ihre Fortbewegung unter Weltraumbedingungen üben. – Die Physik setzt sich heute unter anderem mit der Frage auseinander, ob träge und schwere Masse wirklich gleich groß sind.

Eine frei fallende Luftgewehr-kugel erreicht zur selben Zeit wie eine aus gleicher Höhe abgeschossene Kugel den Erdboden (Einflüsse der Luftreibung einmal ausgeschlossen). Nach dem Prinzip der Unabhängigkeit der Bewegungen erreicht ein Körper ein und denselben Ort unabhängig davon, ob die einzelnen Bewegungen beliebig nacheinander oder gleichzeitig erfolgen. Das gelungene Experiment dazu wird also in jedem Fall einen Zusammenstoß der beiden Versuchskörper (falls diese nicht vorher den Boden erreichen) zeigen.

*Literatur: Grimsehl, Lehrbuch d. Physik, Band 1*

*Olaf Fischer*

**Norbert Gutmann**  
Friedrich-Schiller-Universität Jena  
Sektion Chemie

## Energiequelle fossile Brennstoffe – Perspektiven und Risiken

### 1. Einordnung der fossilen Brennstoffe, ökonomische Aspekte

Bei der Diskussion um unsere Versorgung mit Energie, vor allem mit elektrischer Energie, wird auch in Zukunft die Verbrennung der fossilen Brennstoffe Kohle, Erdöl und Erdgas eine entscheidende Rolle spielen. In der gegenwärtigen Zeit werden auf der Welt im Durchschnitt über 90 % der Nutzenergie auf diese Art und Weise erzeugt.

Tabelle 1:

Quellen der Deckung des Nutzenergiebedarfs in der BRD (1985)

Energiequelle	Anteil
fossile Brennstoffe (Kohle, Erdöl, Erdgas)	96 %
erneuerbare Energiequellen (Wasserkraft, Wind...)	0,4 %
Kernenergie (Leichtwasserreaktoren)	2,5 %
Holz und Müll	1 %

Neben der Erzeugung von Elektrizität kommt den fossilen Brennstoffen auch eine überragende Rolle bei der Erzeugung von Prozeßwärme (z. B. in der Metallurgie und chemischen Industrie, bei der Herstellung von Papier, Glas, Keramik, Zement sowie der Erzeugung von Nahrungsgütern), von Heizwärme sowie von Treibstoffen zu; 80–90 % aller fossilen Brennstoffvorräte der Welt sind Kohlen (davon 10 % Braunkohle, 90 % Steinkohle und Anthrazit). Auf Erdöl und Erdgas entfallen nur 5 %. Dagegen beträgt der Anteil der Kohle an der Energieerzeugung weltweit nur 34 %. Das vor allem, weil Treibstoffe im wesentlichen auf Erdölbasis hergestellt werden. In der Prognose sind sich Wissenschaftler und Ökonomen dahingehend einig, daß sich der Anteil der Kohle in naher Zukunft auf über 40 % erhöhen wird. Die Quellen an Erdöl und Erdgas werden voraussichtlich im 21. Jahrhundert erschöpft sein.

Tabelle 2:

Verfügbarkeit fossiler Brennstoffe	geschätzte abbaubare Vorräte (t SKE)	bei heutigem Verbrauch ausreichend (Jahre)
Kohle	$10^{13}$	3000
Erdöl	$10^{12}$	250
Erdgas	$3 \times 10^{11}$	200

SKE: Steinkohleeinheiten

Gerade der letztgenannte Fakt stimmt doch sehr bedenklich. Die Verbrennung der fossilen Brennstoffe beraubt uns täglich wichtiger chemischer Rohstoffe. Nur etwa 5% der Ressourcen an Kohle, Erdöl und Erdgas werden zur Zeit zu synthetischen Zwecken (zur Herstellung von Plasten, Elasten, Chemiefasern, Farben oder Schädlingsbekämpfungsmitteln) genutzt; d. h. der übergroße Anteil dieser Rohstoffe wird „durch den Schornstein gejagt“. Leider sind wir noch sehr weit davon entfernt, die entsprechenden Konsequenzen daraus ziehen zu können.

Gerade das Erdöl wird schwer zu ersetzen sein, was vor allem die Herstellung von Treib- und Kunststoffen betrifft. Die katalytische Hydrierung von Kohle (Bergius-Verfahren) sowie von Kohlenmonoxid (Fischer-Tropsch-Verfahren) könnten hier Alternativen bieten. Beide Verfahren wurden Ende der 20er Jahre bzw. in den 30er Jahren unseres Jahrhunderts in Deutschland entwickelt, aber auf Grund ihrer ökonomischen Unrentabilität wieder eingestellt (30er bzw. 50er Jahre). Die einzigen in der Welt nach dem Fischer-Tropsch-Verfahren derzeit noch arbeitenden Anlagen stehen in Sasolburg in Südafrika, und das wegen der dort sehr billigen Kohle. In nicht allzu ferner Zukunft wird man sich beider Verfahren wieder annehmen müssen.

Die Energieproduktion der DDR basiert zu 71% auf Braunkohle. Der Anteil der auf der Grundlage der Braunkohle erzeugten Elektroenergie beläuft sich gar auf 83%; 1975 betrug er nur knappe 75%. Die Erdölkrise in den 70er Jahren, mit der eine immense Verteuerung der Erdölpreise verbunden war, war der damalige Anlaß, die DDR-Energiewirtschaft stärker auf die Braunkohle zu konzentrieren. Wie unüberlegt dieser Schritt war, wird wohl jedem klar: Der dadurch erzielte ökonomische Gewinn mußte vor allem durch erhöhte Schadstoffemission auf Grund der sich verschlechternden Qualität der Rohbraunkohle bezahlt werden. Bei allen Konsequenzen ist jedoch damit zu rechnen, daß die Braunkohle bis über das Jahr 2000 hinaus unser wichtigster Primärenergieträger bleiben wird, obwohl die Ressourcen bei der derzeitigen Förderung in 70 Jahren erschöpft sein werden – die Braunkohleförderung der DDR betrug 1985 312 Mill. Tonnen.

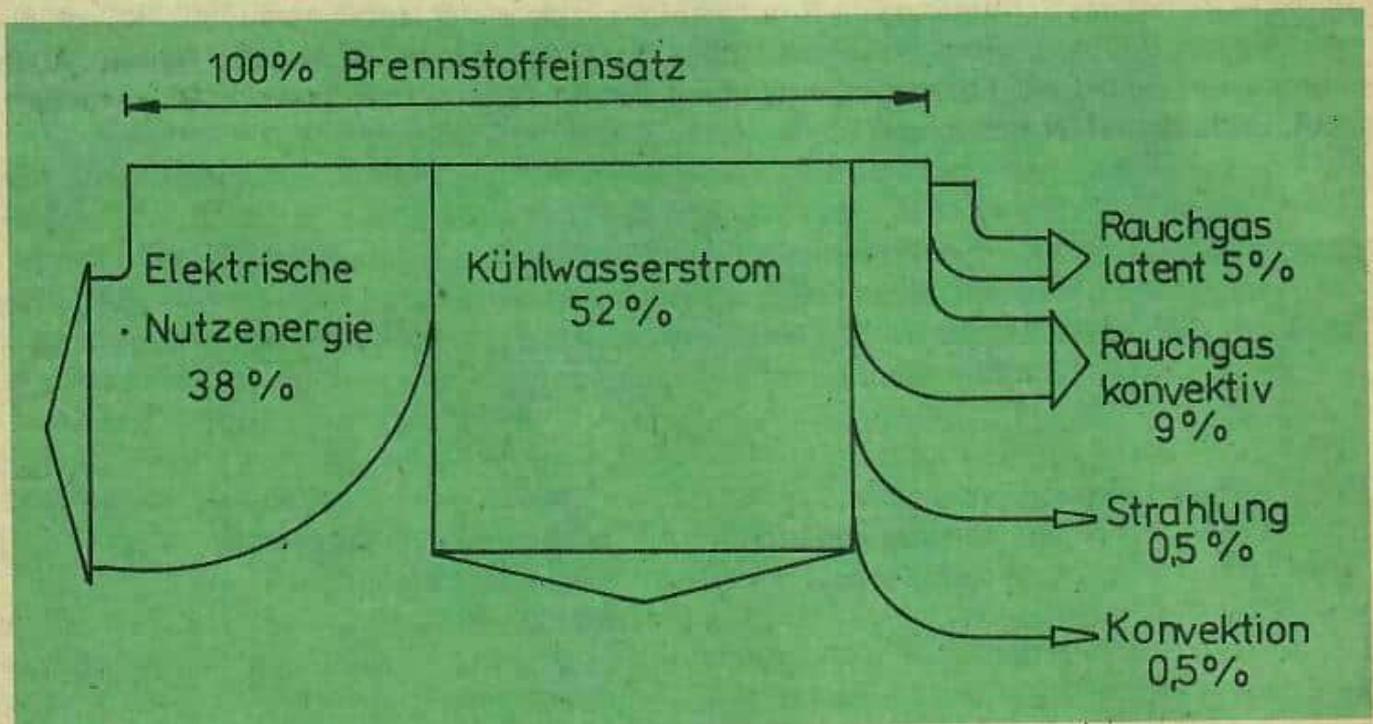


Abb. 1: Energieflußdiagramm im konventionellen Kraftwerk

Die Erzeugung elektrischer Energie aus fossilen Brennstoffen verläuft über eine dreifache Energieumwandlung. Die aus der Verbrennung gewonnene thermische Energie wird über mechanische Energie (Turbine) in Elektrizität (Generator) umgewandelt. Der Wirkungsgrad dieses Umwandlungsprozesses beträgt im allgemeinen 30–40 %. Ist die Zweckbestimmung dieses Kraftwerkes allein die Stromerzeugung, dann „dienen“ 60–70 % der eingesetzten Primärenergie der Aufheizung der Umgebung. Für Kraftwerke, die nach diesem thermischen Prinzip arbeiten (das betrifft genauso die Kernkraftwerke), wird der wissenschaftlich-technische Fortschritt keine wesentliche Verbesserung des Wirkungsgrades bringen.

### INFORMATIONSKASTEN

Für eine idealisierte Wärmekraftmaschine (vorwärtslaufender Carnotscher Kreisprozeß) gilt für den Wirkungsgrad:

$$\eta = -W/Q_{zu} = 1 - T_{ab}/T_{zu}$$

Da er also durch das Verhältnis von abgeführter zu zugeführter Temperatur bestimmt wird, ist er somit immer kleiner als 1. Er wird um so größer, je kleiner das Verhältnis ist (für  $T_{ab} \rightarrow 0$  und  $T_{zu} \rightarrow \infty$  dann  $\eta \rightarrow 1$ ).

Die Wirtschaftlichkeit wird wesentlich verbessert, wenn eine Wärme-Kraft-Kopplung erfolgt, d. h. Nutzung der Abwärme. Allerdings ist dazu eine ausreichende Wärmebedarfsdichte notwendig. Die Kraftwerke der DDR geben gegenwärtig mit dem Kühlwasser eine Abwärme von 480 000 TJ pro Jahr an die Umgebung ab, das entspricht einem Wärmeäquivalent von 57 Mill. Tonnen Rohbraunkohle. Auf die Folgen dieser Abwärme soll später noch eingegangen werden.

Bereits der Abbau der fossilen Kohlenstoffträger ist nicht ohne unübersehbare Folgen für Mensch und Umwelt. Während Erdöl und Erdgas durch verschiedene Bohrverfahren gefördert werden, erfolgt die Förderung von Braun- und Steinkohle im Tage- bzw. Tiefbau. Auch Steinkohle wird bei nicht allzu großen Tiefenlagen im Tagebau gefördert (z. B. Australien, USA, Südafrika). Der besonders ökonomische Tagebau (geringe Investitionskosten, hohe Produktivität) hat jedoch im Gegensatz zu den anderen Fördermethoden eine beträchtliche Devastierung (Zerstörung) von Land-, Forst- und Siedlungsflächen zur Folge. In der DDR beansprucht die Braunkohleförderung jährlich 2500 bis 3000 ha Land. Neben dem Freimachen der Oberfläche macht sich eine umfassende Entwässerung des Deckschichtgebirges notwendig. Die Entwässerungsmaßnahmen müssen 2–3 Jahre vor Beginn des Abbaus eingeleitet werden. Sie führen bei einer Entwässerungstiefe von 100 m (Braunkohle wird z. Z. bis zu 100 m Tiefe abgebaut) zu einem Entwässerungstrichter von bis zu 5 km von der Tagebaugrenze entfernt. Flußläufe werden devastiert, die Grundwasserverhältnisse der Nachbarschaft und der Wasserhaushalt im Einzugsgebiet von Flüssen werden beeinträchtigt, was natürlich nicht ohne Folgen auf die umgebende Landschaft sowie auf die Land- und Forstwirtschaft bleibt. Die Abraummassen werden entweder in kohlefreien Tagebauteilen verkippt (Kippe) oder außerhalb der Grube auf gewachsenem Boden aufgehaldet (Halde). Der Anblick einer solchen Kippen- und Haldenlandschaft ist deprimierend. In zunehmendem Maße werden mineralische Rohstoffe im Abraum sowie das Entwässerungsgrundwasser genutzt. Gute Böden sollen so verkippt werden, daß sie ohne Schwierigkeiten wieder an die Oberfläche gebracht werden können. Ansonsten sind erhebliche Meliorationsmaßnahmen

für die Urbarmachung und Rekultivierung notwendig. Nach dem Auskohlen ist für eine entsprechende Folgelandschaft Sorge zu tragen. Restlöcher sind auf Grund des Volumendefizits unvermeidbar. Sie müssen deshalb in die Folgelandschaft einbezogen werden. In vielen Ländern, auch in der DDR, ist auf diesem Gebiet beachtliches geleistet worden.

In zunehmendem Maße sind die Bergbaubetriebe der DDR mit ungünstigen Lagerstättenbedingungen konfrontiert. Die durchschnittliche Tiefe des Abbaus hat zugenommen, die Mächtigkeit des Abraumes ist größer geworden. Das Abraumvolumen steigt mit der 3. Potenz, die Tagebaufläche mit dem Quadrat der Tiefe. Außerdem bringt die noch tiefer liegende Kohle neue Schwierigkeiten für die Zukunft. Es handelt sich hierbei vorwiegend um Salzkohle (in wasserfreier Substanz  $> 0,5\%$   $\text{Na}_2\text{O}$  in Form von  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  oder anderen Natriumsalzen). Folglich wird das Grundwasser mineralisiert (Salzwasser) und darf deshalb nicht in die Vorfluter gelassen werden. Für Kraftwerke ist die Salzkohle völlig ungeeignet, weil ihre Verbrennung zur Bildung aggressiver Dämpfe führen würde. Eine entsprechende Vorbehandlung (hydrothermaler Aufschluß) wird nötig.

## 2. Schadensrisiken

Wesentlich akutere Schadensrisiken gehen von Abwärme sowie  $\text{CO}_2$ - und Schadstoffemission aus. Wir wollen im folgenden detailliert auf die Ursachen und Folgen dieser Faktoren eingehen.

### 2.1. Abwärme in der Atmosphäre, $\text{CO}_2$ -Emission

Die Abwärmebelastung ist z. Z. kein globales Problem, mehr ein regionales. Jedoch muß beachtet werden, daß Abwärme mit Schadstoffen synergetisch wirken kann (Synergismus: Zusammenwirken zweier Systeme im Sinne einer Förderung). Man unterscheidet bei den Quellen der Abwärme primäre und sekundäre Abwärme. Erstere fällt bei der Umwandlung von Primär- in Nutzenergie an (Kühlwasser, Rauchgase, Wärmestrahlung und -konvektion). Ihre Entstehung ist somit lokal begrenzt, punktförmig. Sekundäre Abwärme entsteht bei der Anwendung von Nutzenergie in Industrie, Haushalt und Verkehr. Sie besitzt eine relativ niedrige Leistungsdichte, tritt dafür aber großflächig auf. In Ballungsgebieten erreicht die Erwärmung der Atmosphäre durch anthropogene (vom Menschen geschaffene) Energiezufuhr bereits  $10\text{--}20\text{ W/m}^2$ . Das ist rund ein Drittel der natürlichen Energiezufuhr durch die Sonne (Welt ca.  $100\text{ W/m}^2$ , Mitteleuropa ca.  $50\text{--}60\text{ W/m}^2$ ). Bekannt ist, daß flächenhaft emittierte Abwärme größere Auswirkungen hat als die punkthafte Emission primärer Abwärme. Beeinflußt wird vor allem die Atmosphäre über Großstädten und Ballungsgebieten, die zu „Wärmeinseln“ in der Landschaft werden. Die Jahresmitteltemperaturen liegen hier um  $1\text{--}2$  Grad höher als in der Umgebung. Faktoren wie das schnelle Ableiten von Niederschlägen (Wärmeentzug durch Verdunstung), die gut Wärme absorbierende und leitende Oberfläche und die durch die Bebauung behinderte Ventilation begünstigen diesen Aufheizeffekt neben der Emission von  $\text{CO}_2$  und anderer IR-aktiver Gase. Die Folge ist eine Dunstglocke über diesen Ballungsgebieten, die tagsüber zwar die Wärmeeinstrahlung mindert, dafür aber nachts die Wärmeabstrahlung immens dämpft. Einige der Wirkungen sind: Minderung von Intensität und Dauer der Sonneneinstrahlung, insbesondere biologisch wirksamer UV-Strahlung, verkürzte Frostperioden im Winter, größere Niederschlagsmengen wegen stärkerer Konvektion und zahlreicher Kondensationskeime. Im Winter im Bereich kräftiger Hochdruckgebiete, die zu sogenannten austauscharmen Wetterlagen (Inversion) führen, ist der Abtransport von Schadstoffen stark gemindert: Smog.

Abwärme ist jedoch nicht der einzige Faktor, der die Atmosphäre und somit das Klima

beeinflußt. Beim Verbrennen kohlenstoffhaltiger Energieträger werden gewaltige Mengen an  $\text{CO}_2$  freigesetzt. Zusammen mit anderen emittierten Gasen ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , FCKW, Kohlenwasserstoffe) bewirkt  $\text{CO}_2$  den sogenannten Treibhauseffekt. Dieser beruht auf der Absorption des infraroten, von der Erde reflektierten Lichts (Wärmestrahlung) ähnlich wie ein Treibhausfenster. Seit Beginn der Industrialisierung stieg der  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Luft von 280 ppm (= parts per million) auf den heutigen Wert von 346 ppm. Die Steigerungsrate im letzten Jahrzehnt betrug allein ca. 2–3 % pro Jahr.

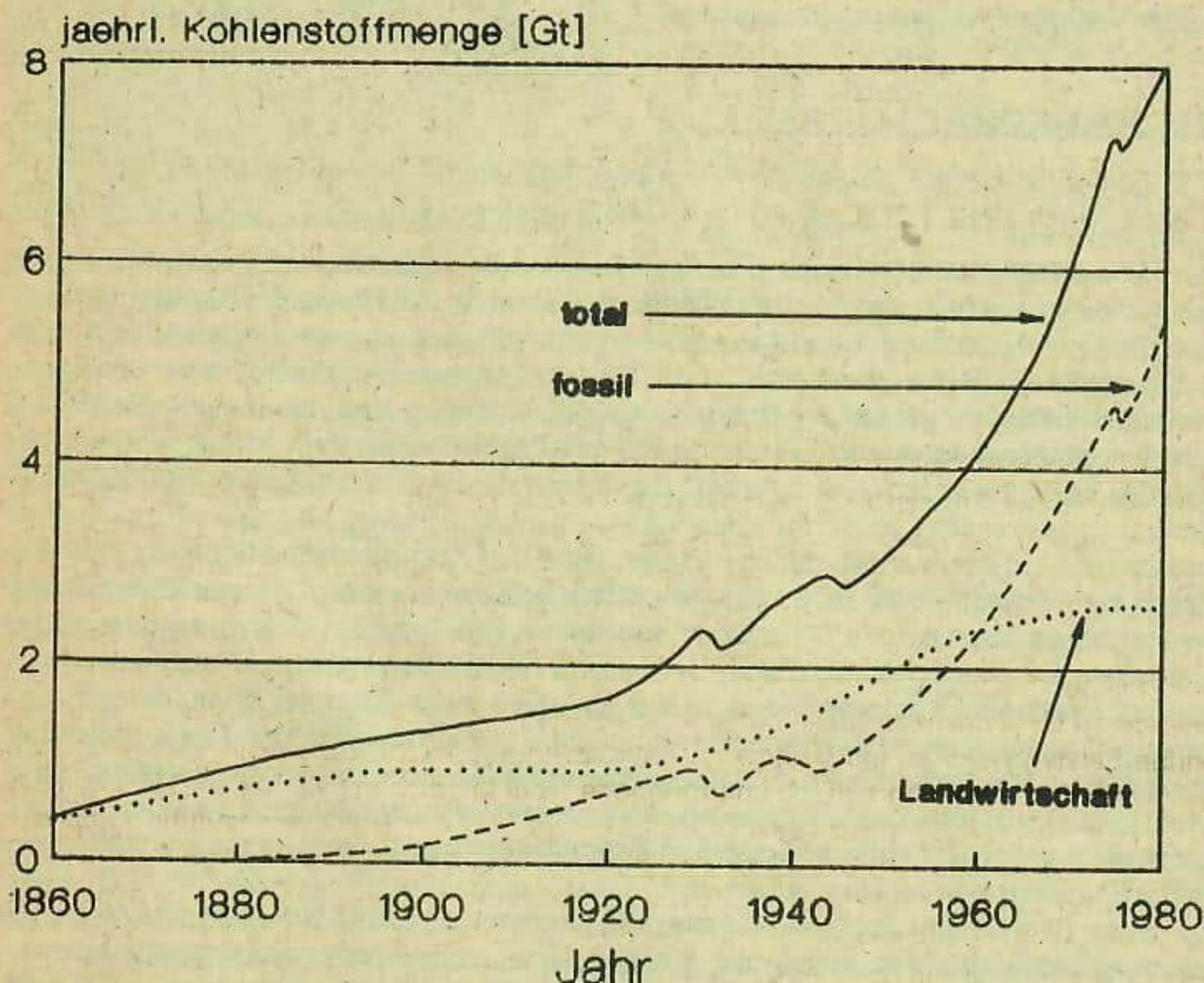


Abb. 2: Anstieg der anthropogenen Kohlenstofffreisetzung im Verlauf der letzten 120 Jahre

Bei gleichbleibender Steigerungsrate wird der  $\text{CO}_2$ -Gehalt in 50–100 Jahren 500–600 ppm betragen. Eine ebenfalls gleichbleibende Steigerungsrate der anderen wärmeisolierenden Gase im gleichen Zeitraum käme einer  $\text{CO}_2$ -Gehaltserhöhung von 200–300 ppm gleich. In der Summe ergibt das ein  $\text{CO}_2$ -Äquivalent von 700–900 ppm, was neuesten Klimamodellberechnungen zufolge einen Anstieg der Temperatur auf der Erde um 4–8 Grad erwarten ließe. Diese Berechnungen basieren auf dem Temperaturanstieg in den letzten 100 Jahren um ca. 0,5 Grad. Obwohl nicht eindeutig daraus geschlußfolgert werden kann, daß dieser zuletzt genannte Temperaturanstieg auf anthropogenen Ursachen beruht, entsteht doch der begründete Verdacht einer bevorstehenden Klimakatastrophe innerhalb der nächsten 50–100 Jahre; Klimazonen könnten sich drastisch verschieben, Trockenzonen sich weiter ausbrei-

ten. Der Meeresspiegel könnte zunächst um einen Meter und im Verlauf weiterer Jahrhunderte um mehrere Meter infolge des Abschmelzens der Polkappen steigen, was die Überflutung dichtbesiedelter Küstenregionen zur Folge hätte. Nicht abzusehen ist, wie die Biosphäre darauf reagiert. Möglicherweise könnte ein überproportionales Pflanzenwachstum die Folge sein. Andererseits ist auch eine Kompensation des Treibhauseffekts durch natürliche Klimatrends denkbar, gegenwärtig befinden wir uns in einer Phase leichter Abkühlung. Leider bestehen z. Z. keinerlei effiziente Möglichkeiten, die Emission von CO<sub>2</sub> zu verhindern. Um das CO<sub>2</sub> zu beseitigen oder zu binden, müßte man ebensoviel Energie aufwenden, wie aus der Verbrennung gewonnen wird.

Fortsetzung folgt

## BUCHBESPRECHUNG

E. Dörfler / M. Dörfler, „Zwischen Flucht und Anpassung“, Urania-Verlag Leipzig, Jena, Berlin 1989, 128 S., 50 Abb., 4,50 M, Bestell.-Nr.: 645 337 7

Kein Lebewesen hat die Gestalt unseres Planeten so nachhaltig verändert, wie es der Mensch getan hat. Auf dem Gebiet Mitteleuropas hat er die einstigen Urwälder gerodet. Heute finden wir dort vorwiegend die uns bekannten Kulturwälder und riesige landwirtschaftliche Nutzflächen. Der Lebensraum für die Tiere hat sich verändert. Jagdfieber und falsche verstandene Konkurrenz bei der Nahrungsmittelbeschaffung taten ein übriges. Zahlreiche Tierarten starben aus, andere wurden in kleine ökologische Nischen zurückgedrängt. Als Beispiele seien hier nur Ur- und Auerochse, Braunbär, Wolf und auch der Steinadler genannt.

Andererseits hat der Mensch mit den Städten und den Kulturlandschaften völlig neue Lebensräume geschaffen. Manche Tierarten paßten sich diesen neuen Lebensräumen an und vermehrten sich sprunghaft. Oft zeugen die Namen von Tierarten schon von ihrer engen Verbindung zur menschlichen Kultur. Denken wir nur an Stubenfliege, Hausmaus, Hausperling, Saatkrähe, Küchenschabe und vieles andere mehr. Viele der Arten, die sich dem Menschen so hervorragend angepaßt haben, sind zu einer regelrechten Plage geworden. So verspeisen die Ratten ca. 1/5 der Weltgetreideernte. Manche der unerwünschten „Haustiere“ werden zu Krankheitsüberträgern. Andererseits leisten aber auch viele der bei uns recht unbeliebten Tiere einen beachtlichen Beitrag, indem sie die von uns massenhaft produzierten Fäkalien und Abfälle abbauen.

Die ganze Entwicklung, die sich hier abspielt, ist durchaus nichts Unnatürliches. Auch die Saurier mußten aussterben, weil sie sich ihrer natürlichen Umwelt nicht mehr anpassen konnten. Alle heute lebenden Tierarten sind das Ergebnis eines andauernden Selektions- und Anpassungsprozesses. Beunruhigend ist nur die Geschwindigkeit, mit der heute der Mensch oft unbedacht seine Umgebung verändert. Der Natur bleibt kaum noch Zeit zur Veränderung und Anpassung, nur noch wenige Arten halten dem Selektionsdruck stand. Die Folgen sind unmittelbar abzusehen, ein verminderter Artenreichtum und damit auch eine Minderung des natürlichen Gleichgewichts. Dies ist ein Bumerang, der letztendlich wieder den Menschen trifft.

Dr. Ernst Dörfler und Dr. Marianne Dörfler machen die hier geschilderten Probleme an vielen Einzelfällen deutlich. Das empfehlenswerte Buch vermittelt im lockeren Plauderton eine Vielzahl von interessanten Fakten. Aber auch Kurioses kommt nicht zu kurz. Wer hätte beispielsweise gewußt, daß Saatkrähen auf Mülldeponien mit Vorliebe rote Gummibänder verzehren. Sie verwechseln diese wahrscheinlich mit Würmern.

Andreas Erdmann

## Wie genau kennst Du Deine Heimat?

Von keinem Geringeren als Goethe – der bekanntlich auch Naturwissenschaftler war – stammt der Satz: „Wer seine Heimat nicht kennt, hat keinen Maßstab für fremde Länder.“ So ist es also nur zu begrüßen, daß das Bedürfnis, wieder mehr zu Fuß, per Rad und per Boot die Heimat zu entdecken, zugenommen hat. Auch das vorliegende neue Lehrplanwerk hat gute Voraussetzungen geschaffen, heimatgeschichtliches Wissen in den Unterricht – und zwar nicht nur in das Fach Geschichte – zu integrieren. So wird für den Geographie- und Biologieunterricht gefordert, sich „gründlicher mit den Landschaften der Heimat, mit ihrer Entstehung

und Gestaltung vertraut“ und „mit einer bedeutend größeren Anzahl von Pflanzen, Tieren der Heimat bekannt“ zu machen. Wie sieht es aber mit dem Physikunterricht aus? Gibt es für ihn Möglichkeiten, Interessantes aus der Heimatgeschichte in das Unterrichtsgeschehen einzubeziehen? Es dürfte kein unlösbares Problem sein, Heimat- und Physikgeschichte miteinander zu verbinden, technische Denkmale sowie Arbeits- und Wohnstätten von Physikern und Technikern aus dem eigenen Territorium kennenzulernen. Vieles ist hier vor dem Vergessen zu bewahren bzw. wieder ins Bewußtsein zu bringen, denn „man kann das Gegenwärtige nicht ohne das Vergangene erkennen“, um noch einmal Goethe zu Wort kommen zu lassen. Deshalb soll ein Stadtrundgang durch Jena zu Stätten und Zeugen seines physikalischen Lebens Anregung geben, wie man sich auch wichtige Teile der Geschichte seiner Heimat erschließen kann. Natürlich ist die Jenaer Stadtgeschichte eine Fundgrube für unsere Interessen.

Beginnen wir den Rundgang in der Neugasse, einer ehemaligen Vorstadtstraße, die schon kurz nach der Stadtgründung angelegt wurde und somit auf eine beachtenswerte Geschichte zurückblicken kann. An ihrem Ausgang steht ein Gebäude, in dem das erste Physikalische Institut unserer Universität untergebracht war. In seiner unmittelbaren Nachbarschaft befindet sich das vom Zoologen Ernst Haeckel zur Darstellung der Darwinschen Entwicklungslehre 1908 eingeweihte „Phyletische Museum“. Mit einem neuen Farbanstrich versehen, laden beide Gebäude zum Verweilen ein. Das erste Physikalische Institut fällt zudem noch durch eine Reihe von Gedenktafeln auf. 1883 hier gegründet, wurde es schon im Jahr darauf in ein neues, nach Plänen von Ernst Abbe errichtetes Gebäude, wenige Meter von dem alten entfernt, verlegt. Die alten Grundmauern sowie die Gedenktafeln verweisen darauf, daß in diesem Gebäude ein Stück Wissenschaftsgeschichte der Stadt Jena und ihrer Universität geschrieben wurde. Noch heute werden der darin sich befindende Hörsaal wie die Laboratorien von der Sektion Biologie genutzt. Der damals amtierende Mathematik- und Physikprofessor und Direktor eines schon seit 1824 existierenden Physikalischen Kabinetts, Karl Snell, wohnte seit 1844 in diesem Gebäude. Der technische Grundstock des Physikalischen Kabinetts kam durch Schenkungen von Professoren und durch den Ankauf von Privatsammlungen zustande. Zur gleichen Zeit existierte eine vom Weimarer Großherzog gestiftete physikalisch-chemische Sammlung, die dem Chemiker Johann Wolfgang Doebereiner im anliegenden Grundstück zur Nutzung übergeben wurde. Snell vereinigte nach Doebereiners Tod beide Sammlungen. Dadurch verfügte die physikalische Forschung in dieser Zeit über

eine gute Ausgangsbasis. Doch leider war Snell mehr Mathematiker und Philosoph, so daß für die Erhaltung dieser Sammlungen in der Folgezeit recht wenig getan wurde. Ernst Abbe – er hielt 1863/64 seine erste Physikvorlesung – fühlte sich dadurch mehr zur Werkstatt der Firma Carl Zeiss hingezogen. Daß Abbe – seit 1875 mit der Firma C. Zeiss vertraglich gebunden – auf die Weiterentwicklung des Instituts Einfluß nahm, ergibt sich aus der direkten Zusammenarbeit mit dem Praktiker Zeiss, dessen Unternehmen sich bereits kräftig entwickelt hatte. Zeiss hatte frühzeitig begriffen, daß die Weiterentwicklung des von ihm betriebenen Mikroskopbaues nur durch die wissenschaftlich fundierte Theorie – wie sie Abbe lieferte – möglich war. Mit der Gründung des Physikalischen Institutes war für die Jenaer physikalische Forschung die Voraussetzung einer spürbaren Weiterentwicklung gegeben. Wie in Jena, so entstanden im ausgehenden 19. Jahrhundert auch in anderen Universitätsstädten solche Physikalischen Institute. Diese wurden notwendig, weil sich die Physik als Wissenschaft inzwischen konsolidiert hatte und damit jenen Vorlauf erreichte, der nötig war, um als Produktivkraft wirksam zu werden.

Kommen wir nun zur Vorstellung der Persönlichkeiten, an die die Gedenktafeln erinnern und für unser Fachgebiet von Interesse sind.

*Otto von Guericke (1602–1686):*

Zum Studium an die Jenaer Juristische Fakultät kam O. v. Guericke 1621. Nach zweijährigem Aufenthalt ging er an die damals vor allem in den Naturwissenschaften führende niederländische Universität Leiden. Da nicht bekannt ist, wo er während seiner Jenaer Studienzeit wohnte, entschloß man sich, aufgrund seiner Verdienste auf dem physikalischen Gebiet, die Tafel an diesem Gebäude anzubringen.

*Johann Wolfgang Doebereiner (1780–1849):*

Er kam 1810 auf Vorschlag Goethes nach Jena, um den neugeschaffenen Lehrstuhl für Chemie zu übernehmen. Da er mittellos war, stellte ihm der Weimarer Hof das Gelände – auf dem dann 1884 das neue Gebäude des Physikalischen Instituts errichtet wurde – nebst Wohnhaus, Hörsaal, Laboratorium zur Verfügung. Wissenschaftlich bekannt wurde er durch die Entwicklung der Triadenlehre, einer Klassifikation der chemischen Elemente nach den Atomgewichten (1816); Popularität erlangte er aber durch die Erfindung des Platinfeuerzeuges.

*Karl Snell (1806–1886):*

Er gehörte 42 Jahre dem Lehrkörper der Universität an. Er bemühte sich in starkem Maße um ein philosophisches Weltbild in den Naturwissenschaften. Sein großes Verdienst war, seinen „liebsten und genialsten Schüler“, Ernst Abbe, gefördert zu haben, der später sein Schwiegersohn wurde.

*Ernst Abbe (1840–1905):*

Mit seiner Theorie der optischen Instrumente, insbesondere des Mikroskops (1871/72), wurde er als Mitbegründer der wissenschaftlich-optischen Industrie bekannt. Abbe wohnte und wirkte in diesem Haus von 1871–1879. Hier heiratete er, und hier wurde auch seine älteste Tochter Margarete – später als Grete Unrein eine bekannte Jenaer Persönlichkeit – geboren.

In lockerer Folge soll der Spaziergang zu Zeugnissen des physikalischen Lebens in kommenden Heften von *impuls 68* fortgesetzt werden. Mein Aufruf an Euch: Seht Euch in Euren Städten und in Eurer Umgebung um! Spürt technische Denkmale auf und geht ihrer Funktionsweise nach. Schreibt darüber in kleinen Beiträgen an unsere Zeitschrift!

A. Ignasiak

## WISSENSWERTES

### Weltraummüll

Das ständig anwachsende Müllproblem hat jetzt auch den Weltraum erreicht. Nach etwa 3600 Satellitenstarts befinden sich zur Zeit etwa 7000 Objekte, die größer als ein Tennisball sind, in Umlaufbahnen im erdnahen Raum. Diese Zahl wurde durch die militärische Radarüberwachung des Weltraums durch das NORAD Space Surveillance Center bei Colorado Springs (Colorado) ermittelt. Es wird versucht, alle künstlichen Objekte in erdnahen Umlaufbahnen, vom modernsten Nachrichtensatelliten über ausgebrannte Raketenstufen, Satellitenwracks und -trümmer, Schrauben und Metallteilen bis hin zu bei Außenarbeiten verlorengegangenen Ausrüstungsgegenständen zu erfassen. Dabei hat man vor einiger Zeit seit dem Start von Sputnik 1 die laufende Nummer 20000 erreicht. Die Zahl der nichtregistrierten Bruchstücke wird auf 30000 bis 70000 geschätzt.

Von den 7000 zur Zeit registrierten Objekten sind nur ein geringer Teil noch manövrierfähige Satelliten. Diese kann man am Ende ihrer aktiven Lebenszeit entweder gezielt zum Absturz bringen oder auf einer hohen Umlaufbahn „parken“. Alle sich im erdnahen Raum befindlichen Objekte werden durch Ausläufer der Erdatmosphäre abgebremst und dringen allmählich in tiefere, dichtere Schichten der Atmosphäre ein, was zum Absturz und zum Verglühen führt. Bei besonders großen Objekten besteht dabei durchaus die Gefahr, daß Bruchstücke die Erdoberfläche erreichen. Obwohl pro Tag etwa ein Stück Weltraummüll in die Atmosphäre eindringt, ist die Wahrscheinlichkeit, daß Trümmer natürlicher Objekte (z. B. Meteoriten) die Erdoberfläche erreichen, weitaus größer.

Besonders viel Müll wird dadurch produziert, daß man Satelliten am Ende ihrer Nutzungsdauer einfach sprengt. Die bei Explosionen oder Kollisionen entstehenden Trümmer verbleiben nicht in der Ausgangsbahn, sondern verteilen sich innerhalb weniger Jahre um die ganze Erde. In der Anfangszeit der Raumfahrt schätzte man die Gefahr des Zusammenstoßes eines Raumflugkörpers mit größeren Meteoriten als ein großes Sicherheitsproblem ein. Es hat sich herausgestellt, daß die Gefahr eines Meteoriteneinschlags sehr gering ist, das Müllproblem stellt dagegen eine akute Gefahr dar. Allein die Tatsache, daß bei bemannten Missionen Wrackteile in Sichtweite kamen, ist ein Alarmsignal, welches man keinesfalls unterschätzen sollte. Die Folgen eines Zusammenstoßes wären katastrophal. Die durch Kollisionen mit Weltraumschrott entstandene Schadenssumme wird derzeit auf etwa zwei Milliarden Dollar geschätzt.

Die Wahrscheinlichkeit, von einem Schrotteil getroffen zu werden, wird immer größer, je länger das Raumfahrzeug sich im All befindet und je größer es ist. Für das Hubble Space Telescope wurde berechnet, daß es in seiner geschätzten 17jährigen Lebenszeit mit der Wahrscheinlichkeit von 1 % von einem Objekt mit einem Durchmesser größer als 10 cm getroffen wird.

Einige Satelliten sind mit Kernreaktoren ausgerüstet. So wird die Energieversorgung der niedrig fliegenden Ozeanerkundungssatelliten (RORSAT) aus der Kosmos-Serie durch einen Kernreaktor gewährleistet. Im Normalfall wird der Reaktor vor dem Absturz des Satelliten abgetrennt und auf eine hohe Umlaufbahn gebracht. Dabei sind Defekte und Unfälle nicht ausgeschlossen. So gelangte 1977 durch den Absturz von Kosmos 954 über Kanada radioaktives Material in die Atmosphäre und verseuchte den Niedergangsort. Zur Zeit befinden sich 35 Kernreaktoren und 1...1,5 t Uran 235 und anderes radioaktives Material in Erdumlaufbahnen.

Die UdSSR, die USA, die ESA und die anderen Weltraumfahrt betreibenden Nationen haben beschlossen, bis zur Jahrtausendwende gemeinsame Anstrengungen zur Lösung des kosmischen Müllproblems zu unternehmen.

Wolfram Meinhardt

## UNSER AUSFLUGTIP

### Das Westberliner Museum für Verkehr und Technik

Ein Museumsbesuch muß keineswegs ermüdend sein. Wir erlebten das Gegenteil, einen an- und aufregenden „Museumsvormittag“. Nicht weit vom geschichtsträchtigen Potsdamer Platz liegt das 1982 gegründete Museum für Verkehr und Technik. Schon die ersten Eindrücke zeigen eine lebendige und aufgelockerte Ausstellungsgestaltung, die auch beim letzten die Langeweile vertreibt. Die Mitarbeiter dieses Museums haben es verstanden, der Technikgeschichte Leben einzuhauchen. Der am Eingang erhältliche Museumsführer verspricht zu Recht: „Technikgeschichte zum ‚Anfassen‘ und ‚Begreifen‘“. Der Besucher kann „Lokomotiven und Maschinen in Funktion erleben, drucken, weben, Papier schöpfen, experimentieren und vieles mehr“.

Ganz besonders sei auf das im 1. OG des Eingangsgebäudes befindliche *Versuchsfeld* hingewiesen. Dort kann Experimentalphysik „erlebt“ werden. An die einhundert Versuchsanordnungen bieten jedermann die Möglichkeit, die „Wunder der Physik“ selbst im Experiment hervorzurufen und zu beobachten. Und wichtig ist besonders eins – die Experimente gelingen fast jedem. Die physikalischen Hintergründe findet man teils auf der Beschilderung, teils muß man diese mitbringen. Sollte ein ausführlicher Gang durchs Versuchsfeld mit Durchführung und Erklärung der Experimente nicht eine alternative Prüfungsvorbereitung im Fach Physik sein können?

Wir wünschen Euch einen gelungenen Museumsbesuch.

#### Informationen

- Öffnungszeiten: Di bis Fr 9 bis 17.30 Uhr, Do bis 20 Uhr,  
Sa und So 10 bis 18 Uhr, feiertags geschlossen;
- Eintritt: DM 3,50; Kinder, Studenten DM 1,50; Gruppe (ab 10 Personen) DM 1,00;
- Verkehrsverbindungen: Grenzübergang Bahnhof Friedrichstraße → S-Bahn Linie 2 bis Anhalter Bahnhof; Grenzübergang Warschauer Straße → U-Bahn Linie 1 bis Gleisdreieck; Grenzübergang Checkpoint Charlie → Bus A29 bis Schöneberger Ufer oder zu Fuß

J. Müller, O. Fischer

## WISSENSWERTES

### Ernst-Abbe-Preise 1990

Auch wenn der Ernst-Abbe-Preis nicht mit den ganz großen internationalen wissenschaftlichen Preisverleihungen zu vergleichen ist, stellt er eine hohe wissenschaftliche Auszeichnung in unserem Land dar. Auf welchem Gebiet er vergeben wird, dürfte der Leser, der sich an den Artikel über Carl Zeiss und Ernst Abbe in Heft 6/89 erinnert, leicht erraten: Es ist die Optik. Der Preis wird seit 1978 von der Carl-Zeiss-Stiftung verliehen. Diese Stiftung wurde von E. Abbe am 19. Mai 1889 gegründet. Sie war von ihrem Gründer vor allem für humanistische soziale Ziele und für die Förderung der optischen Industrie in Jena, ferner aber auch für die „Förderung naturwissenschaftlicher und mathematischer Studien in Forschung und Lehre“ /1/ bestimmt worden.

Inzwischen ist der Preis an ca. 50 Personen (einzeln und im Kollektiv) verliehen worden. 1990 ging er zum einen an einen langjährigen wissenschaftlichen Mitarbeiter des Carl-Zeiss-Forschungszentrums in Jena, Dr. Horst Riesenberg. Er erhielt ihn für seine auch international beachteten Beiträge zur Entwicklung von Mikroskopobjektiven. Ein zweiter Ernst-Abbe-Preis wurde an ein gemeinsames Forscherkollektiv der Friedrich-Schiller-Universität Jena und des Carl-Zeiss-Kombinates verliehen. Damit wurden die Leistungen dieses Kollektives für die Entwicklung der Laser-Raster-Mikroskopie, insbesondere einer Methode zur Untersuchung des zeitlichen Verhaltens von mikroelektronischen Schaltkreisen, gewürdigt.

Die Laser-Raster-Mikroskopie ist eine Art der Mikroskopie, bei der das Objekt nicht wie gewöhnlich im Ganzen, sondern durch das „Abtasten“ mittels eines Laserstrahls Punkt für Punkt abgebildet wird. Die Registrierung des Signals erfolgt dabei im allgemeinen mit einem Fotoempfänger. Auf einem Monitor wird dann das Bild aus den Bildpunkten zusammengesetzt. Das genannte Forscherkollektiv leistete nun wesentliche Beiträge zu einer speziellen Art dieser Mikroskopie. Bei dieser Methode setzt der Laserstrahl am Ort seines Auftreffens sogenannte Fotoelektronen aus dem Halbleitermaterial frei, die je nach untersuchter Schaltkreisstruktur und dem externen Schaltzustand verschiedene Fotoströme verursachen. Diese werden an den äußeren Anschlüssen des Schaltkreises registriert. So entsteht nach dem Zusammensetzen der Meßpunkte eines bestimmten Objektfeldes ein Bild des internen Zustandes des Schaltkreises. Indem die Zeit zwischen dem Beleuchten eines Objektpunktes und der Registrierung des Fotostromes geeignet variiert wird, erhält man detaillierte Aussagen über das zeitliche (dynamische) Verhalten des Schaltkreises. So läßt sich das „Durchlaufen“ eines Schaltimpulses durch einen beliebigen Transistor in einem integrierten Schaltkreis direkt sichtbar machen, wobei der zeitliche Abstand zwischen zwei Bildern 300 ps ( $1\text{ps} = 10^{-12}\text{ s}$ ) betragen kann. Diese Aufnahmen sind für eine dynamische Testung von höchstintegrierten Schaltkreisen von hoher Aussagekraft.

*Literatur:* /1/ Wittig, J.: Ernst Abbe, (Biographien hervorragender Naturwissenschaftler, Techniker und Mediziner, Band 94), Teubner Verlagsgesell., Leipzig 1989

*Michael Kempe*

## LITERATURTIPS

*Wissenschaft und Fortschritt 1/90*

„Wie aus normalen Genen Krebsgene werden“. Über den Nobelpreis für Physiologie und Medizin 1989

**Michael Beleites**  
**Präparator**  
**Gera**

**Johannes Thienemann –  
 Gründer der ersten Vogel-  
 warte der Welt**

Wenn wir heute über die Wanderstrecken und Winterquartiere der Zugvögel recht genau Bescheid wissen, wenn wir die Lebensgewohnheiten und das Durchschnittsalter der meisten Vogelarten kennen, so verdanken wir das besonders dem Begründer der systematischen Vogelberingung, dem Ornithologen Prof. Johannes Thienemann.

Er wurde vor 125 Jahren, am 12. November 1863, in Gangloffsömmern bei Sömmerda geboren. Am 12. April starb Johannes Thienemann in Rossitten (heute Rybatschi).

In diesem kleinen ostpreußischen Dorf auf der Kurischen Nehrung hatte Thienemann im Januar 1901 die erste Vogelwarte der

Welt gegründet. Wegen der besonders guten Beobachtungsbedingungen auf der Kurischen Nehrung (eine schmale Landzunge zwischen Ostsee und Kurischem Haff) sollte hier zunächst durch Zugbeobachtung der Ablauf des Vogelzuges genauer erforscht werden. In den Dörfern der Kurischen Nehrung gab es eine ungewöhnliche Tradition: Jedes Jahr im Frühling und im Herbst machten sich einige Männer auf den Weg, um Krähen zu fangen. Nicht um irgendeine „schädlichen“ Vögel zu beseitigen – nein, um den Fischern den Speiseplan zu bereichern. Die Krähen wurden mit Zugnetzen gefangen, von den Fängern getötet und zu Hause gerupft und eingepökelt! Als in Dänemark der Lehrer und Ornithologe Hans Christian Cornelius Mortensen über die ersten Wiederfunde von beringten Zugvögeln berichtete, entschloß sich Johannes Thienemann, mit seinem „Beringungsexperiment“, wie er es nannte, zu beginnen. Er besorgte sich Aluminiumringe und ließ fortlaufende Nummern und die Bezeichnung „Vogelwarte Rossitten – Germania“ einprägen. Im Jahr 1903 zog Thienemann zum ersten Male zusammen mit den Rossittener Krähenfängern hinaus auf die Dünen, um Krähen zu beringen. Jede gefangene Krähe hat er den Krähenfängern abgekauft, beringt und wieder fliegen lassen. Schon bald trafen die ersten Rückmeldungen ein und nach relativ kurzer Zeit waren so viele beringte Krähen gefunden oder geschossen und zurückgemeldet worden, daß Thienemann die Überwinterungs- und Brutgebiete auf einer Landkarte einzeichnen konnte. Diese Krähen brüten im nördlichen Baltikum und in Finnland und ziehen im Herbst in südwestlicher Richtung – über die Kurische Nehrung – bis nach Schleswig-Holstein. Dieses überzeugende Ergebnis des „Beringungsexperiments“ bewog Thienemann, das Beringungsverfahren nach und nach auf andere Vogelarten auszudehnen. Aufsehenerregend waren die Rückmeldungen der ersten Störche aus Afrika im Jahr 1908!

Bald konnten über die Aufklärung der Zugwege der Vögel hinaus auch Fragen der Besiedlung, der Brutreife und des Alters beantwortet werden. Johannes Thienemann hat das Beringungsverfahren in großem Stil in die Wissenschaft eingeführt, er war Bahnbrecher auf dem Gebiet der Vogelberingung. Das Beringungsverfahren ist bis heute die wichtigste Methode bei der Erforschung des Lebens unserer Vogelwelt, besonders des Vogelzuges. Heute gibt es ein weltweites Netz von Beringungsstationen. Eine von ihnen ist die sowjetische Biologische Station Rybatschi, dem früheren Rossitten. Hier werden nach wie vor große Mengen Zugvögel gefangen und beringt.

Interessant ist Thienemanns Werdegang. Der heranwachsende Johannes entwickelte bereits als Kind ein großes Interesse für die Vogelwelt, unterstützt von seinem Vater August

Wilhelm Thienemann, der Dorfpastor und zugleich Vorsitzender des Deutschen Vereins zum Schutze der Vogelwelt war. Johannes Thienemann studierte in Leipzig und in Halle Theologie. Er begann schon während seines Theologiestudiums, sich mit verschiedenen ornithologischen Fragen wissenschaftlich auseinanderzusetzen. Nach dem Studium bekam Thienemann „infolge Überfüllung“ keine Pfarrstelle. Er wurde Lehrer, zunächst in Leipzig, dann in Osterwieck und in der Landwirtschaftsschule in Badersleben am Huy. Im Juli 1896 besuchte Thienemann zum ersten Male die Kurische Nehrung. Er war begeistert von der ungewöhnlich reichen Vogelwelt in der Nehrung und besuchte nun jedes Jahr die Sommerferien hindurch Rossitten. Am 1. Januar 1901 gründete Johannes Thienemann die „Vogelwarte Rossitten der Deutschen Ornithologischen Gesellschaft“ und leitete sie bis 1929. Er holte in Königsberg (heute Kaliningrad) sein zoologisches Studium nach, wurde 1906 Dr. phil. und 1910 Professor. Ab 1908 war er auch Kustos des Zoologischen Museum Königsberg. Johannes Thienemann war ein begabter Schriftsteller, der durch seine Bücher, durch Beiträge in Fachzeitschriften und zahlreichen Tageszeitungen weit über die ornithologischen Fachkreise hinaus großes Interesse für die Vogelkunde und für die heimatliche Natur überhaupt geweckt hat. Johannes Thienemann: „... die Hauptsache beim ganzen Vogelschutz ist: Interesse erwecken und Aufklärung schaffen, damit die Liebe zur Tierwelt, im besonderen zur Vogelwelt, Gemeingut des Volkes wird.“ (Thienemann, J. (1926): Rossitten, Drei Jahrzehnte auf der Kurischen Nehrung, Neudamm)



Abb. 1. Johannes Thienemann  
(1863–1938)

## WISSENSWERTES

### Ozon

Ozon, dreiatomiger Sauerstoff mit der chemischen Formel  $O_3$ , entsteht in der Luft bei elektrischen Entladungen (z. B. bei Gewittern) und durch ultraviolette Strahlung. Nach einem Blitzschlag kann man manchmal den charakteristischen Geruch wahrnehmen. Daher der Name „Ozon“ (ozein – griech. riechen). Im Mittelalter hielt man dies für den Geruch des Teufels. Der Vergleich ist nicht gar zu schlecht, denn das blaue, stechend riechende Gas ist ein starkes Gift. Es ist das Gas mit der höchsten oxidierenden Wirkung; Ozon greift fast alle chemischen Verbindungen an und tötet auch in geringen Konzentrationen Bakterien.

Ozon kommt in der Atmosphäre als Spurengas mit einem Anteil von  $2 \times 10^{-6}$  Vol.-% in Bodennähe vor. In höheren Schichten ist die Konzentration etwas größer. In der Stratosphäre befindet sich in etwa 22 km Höhe die Ozonschicht. Dort ist die absolute Ozonkonzentration am größten, die relative Ozonkonzentration erreicht in ca. 30 km Höhe ihr Maximum. Auf Grund der mit steigender Höhe abnehmenden Luftdichte ist der absolute Gehalt hier jedoch niedriger. Die Ozonschicht ist kein scharf abgegrenzter Bereich, sondern ein Gebiet mit fließenden Grenzen. (Das gesamte Ozon würde unter Normaldruck bei  $0^\circ C$  eine Schicht von 2 mm bis 6 mm bilden.) Das Ozon in der Hochatmosphäre ist für das Leben auf der Erde unersetzbar. Der harte UV-Anteil der Sonnenstrahlung mit Wellenlängen kleiner als 290 nm wird durch die Ozonschicht fast vollständig absorbiert.

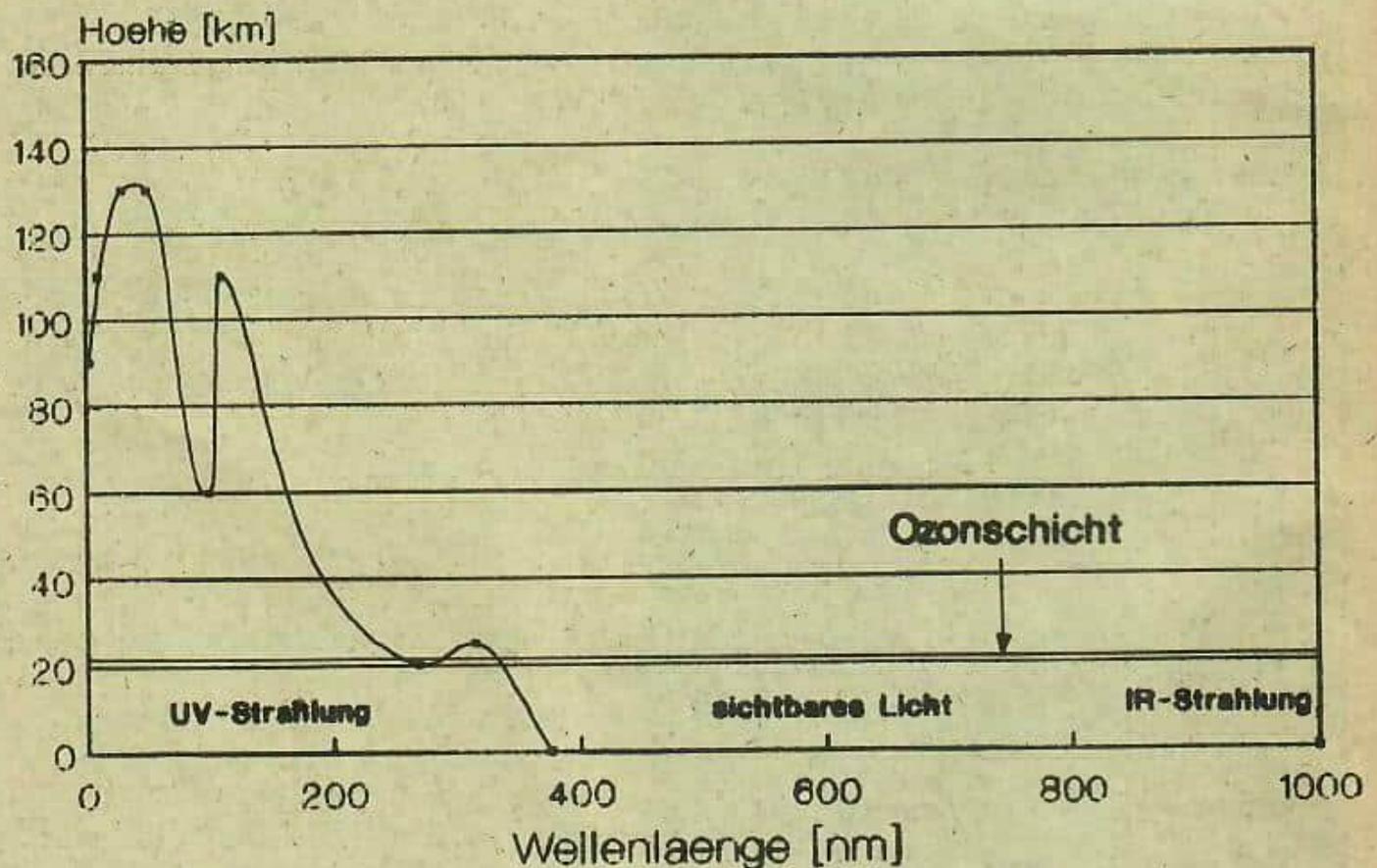


Abb.: Eindringtiefe von elektromagnetischer Strahlung in die Atmosphäre

Durch die einfallende UV-Strahlung wird ein Sauerstoffmolekül  $O_2$  in zwei Sauerstoffatome  $O$  getrennt. Jedes dieser Sauerstoffatome kann sich an ein Sauerstoffmolekül anlagern, es entsteht Ozon ( $O_3$ ). Die Ozonmoleküle werden durch UV-Strahlung etwas größerer Wellen-

länge wieder zerschlagen, es entsteht ein Sauerstoffmolekül und ein freies Sauerstoffatom. Durch diese Prozesse des Ozonauf- und -abbaus wird die Strahlungsenergie in Wärme umgesetzt. Das Ozon wird im wesentlichen über tropischen Gebieten gebildet, da hier der Einfallswinkel der Sonnenstrahlung am günstigsten ist. Durch Luftströmungen wird es in der Stratosphäre über der gesamten Erde verteilt.

Über der Antarktis ist die Ozonschicht stark angegriffen – das Ozonloch. Es entsteht im antarktischen Frühling, im September und Oktober. Auch über der Arktis wurde ein Rückgang der Ozonkonzentration festgestellt, man kann wahrscheinlich nicht davon ausgehen, daß die Schädigung der Ozonschicht auf die Polargebiete beschränkt bleibt, da die mit einiger Sicherheit als Hauptverursacher des Ozonlochs feststehenden Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW's) selbst bei einem sofortigen Produktions- und Nutzungsstopp auf Grund ihrer großen Beständigkeit noch für Jahrzehnte in fast unverminderter Konzentration in der Atmosphäre verbleiben werden. Der ungehinderte Einfall harter UV-Strahlung würde alle Lebewesen auf der Erde schädigen. Ein Ozonloch über besiedeltem Gebiet hätte beim Menschen ein Ansteigen der Hautkrebsrate, Augenschäden und Schwächungen des Immunsystems zur Folge.

Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe werden als Kältemittel (z. B. in kältetechnischen Anlagen, Haushaltskühlschränken u. a.), als Treibgas in Spraydosen, in chemischen Reinigungen, in der Kunststoffindustrie, bei bestimmten Produktionsschritten in der Mikroelektronik und für Feuerlöschanlagen verwendet. FCKW's sind chemisch sehr beständig, sie reagieren kaum mit anderen Stoffen. Dieser sich jetzt als so verhängnisvoll herausstellende Vorzug dieser Stoffe hat wesentlich zu ihrer Verbreitung und zu dem oft recht sorglosen Umgang mit ihnen beigetragen. Jetzt soll weltweit der Einsatz von FCKW's schrittweise abgebaut und schließlich verboten werden.

Bis 1991 sollen in der DDR die FCKW's als Treibgase in Spraydosen vollständig durch andere Gase ersetzt werden. „Das Petrolchemische Kombinat Schwedt produziert seine Sprays bereits vollständig auf Propan-Butan-Basis. Das Kosmetikkombinat wird ab 1990 alle Haar- und Deosprays mit Treibgas auf Propan-Butan-Basis bzw. mit Pumpventilen ausliefern und die Produktion von Deo-Rollern und -Stiften bedeutend erhöhen.“ (Doz. Dr. F. Schiller, Erfurt) Trotzdem sollte auf allen Spraydosen vom Hersteller ein Vermerk angebracht werden, ob das jeweilige Produkt FCKW's enthält oder nicht. Der Verbraucher hätte damit die Chance, selbst aktiv auf den Verbrauch von FCKW's einzuwirken und gewachsenes Umweltbewußtsein zu demonstrieren.

So wichtig wie die Ozonschicht in der Stratosphäre für den Schutz des Lebens ist, so schädlich ist die seit einigen Jahren beobachtete Zunahme der bodennahen Ozonkonzentration.

Vor hundert Jahren lag die mittlere Ozonkonzentration in Bodennähe bei ca.  $10^{-6}$  Vol.-%. Ozon ist sehr kurzlebig, die Konzentration schwankte im Tagesverlauf zwischen  $0,5 \times 10^{-6}$  Vol.-% und  $15 \times 10^{-6}$  Vol.-% und erreichte, über ein Jahr betrachtet, im Frühling ein leichtes Maximum. Heute ist die Ozonkonzentration in Gebieten mit starker Luftverschmutzung durch Stickstoffmonoxid NO, Kohlenmonoxid CO und Kohlenwasserstoffe bis zu dreimal so hoch. ( $3 \times 10^{-6}$  Vol.-% Ozon, Spitzenwerte bis zu  $10 \times 10^{-6}$  Vol.-%)

Für die Ozonbildung in Bodennähe sind andere Prozesse verantwortlich als für die Ozonbildung in der Stratosphäre.

Durch die Einwirkung von Sonnenstrahlung und den aus Kohlenwasserstoffen sich bildenden Peroxidradikalen wird das in der Luft von Industriegebieten vorhandene Stickstoffmonoxid oxidiert. Der in der einfallenden Sonnenstrahlung noch vorhandene UV-Anteil bewirkt

das Aufspalten der Stickstoffdioxidmoleküle in Stickstoffmonoxid und ein freies Sauerstoffatom, welches sich mit einem Sauerstoffmolekül zu Ozon verbinden kann. In der mit Spurengasen stark verschmutzten Luft der Industriegebiete bleibt die Ozonkonzentration dennoch sehr gering, da die gebildeten  $O_3$ -Moleküle sehr schnell mit den vorhandenen Spurengasen reagieren. Ohne Sonneneinstrahlung verschwindet das Ozon ganz.

Anders ist die Situation, wenn die langlebigen  $NO_2$ -Moleküle in die Umgebung geweht werden. Hier laufen unter Sonneneinstrahlung die gleichen Prozesse der Ozonbildung ab, das Ozon bleibt in der sauberen, durch Spurengase nur gering belasteten Luft lange vorhanden und kann so relativ große Konzentrationen erreichen.

Ozon ist aber ein starkes Pflanzengift. Man nimmt heute an, daß das Waldsterben in den Hochlagen von Erzgebirge, Fichtelgebirge, Schwarzwald und Bayerischem Wald sowie dem Isergebirge in der CSR nicht nur auf den sauren Regen, sondern auch auf die erhöhte Ozonkonzentration der bodennahen Luft zurückzuführen ist. Diese Annahme wird auch dadurch gestützt, daß sich die Wälder in den letzten Jahren mit ihren trüben und regnerischen Sommern mit wenig Sonnenschein und der damit verbundenen geringen Ozonbildung etwas erholt haben.

Erkenntnisse aus langfristigen Studien über die Wirkung ozonreicher Luft auf Pflanzen liegen jedoch noch nicht vor.

Eine weitere Folge der erhöhten Ozonkonzentration der Luft sind wahrscheinlich Ernterückgänge bis zu 15 % in der Landwirtschaft. Gegenwärtig wird von der Weltgesundheitsorganisation WHO für Menschen ein Grenzwert von 100 bis 120 Mikrogramm Ozon pro Kubikmeter Luft und für Pflanzen von 60 Mikrogramm Ozon pro Kubikmeter Luft als noch vertretbar angegeben.

Wolfram Meinhardt

## LITERATURTIPS

### *Spectrum 2/90*

„Gesundheit ist auch eine Frage der Information“, „Wachstumsfaktoren steuern die Zellteilung“, „Therapeutika wider den Krebs“

### *Wissenschaft und Fortschritt 1/90*

„Nitratelimination aus Trinkwasser“. Wie belastet ist unser Trinkwasser? Welche Verfahren gibt es zur Aufbereitung von Trinkwasser?

### *Spectrum 2/90*

„Wege und Wirkungen chemischer Stoffe in der Ökosphäre“. Chemieprodukte durchdringen alle Bereiche des menschlichen Lebens. Vergiftet sich der Mensch?

### *Wissenschaft und Fortschritt 1/90*

„Wann beginnt das 3. Jahrtausend?“, Interessantes über Kalender und Zeitrechnung

### *Wissenschaft und Fortschritt 1/90*

„Edwin Powell Hubble und das Hubble-Gesetz“. Zum 100. Geburtstag des großen Astronomen

**J. Dorschner**

FSU Jena, WB Astronomie

*K.-D. Herbst*FSU Jena, Institut für Geschichte der  
Medizin und der Naturwissenschaften**Der Flug zum Mars – nur ein  
technisches Problem?**

Die allzu forsche Aneignung der Erde durch den Menschen hat sich an vielen Stellen als zerstörerischer Eingriff in die Natur erwiesen, dessen Folgen sich negativ auf die Lebensbedingungen auf diesem Planeten auswirken. Auch die „Eroberung“ des Weltraums (obwohl erst vor kurzem begonnen) läßt bereits heute die nötige Umsicht vermissen. Wie der frühere, (aus Unkenntnis) recht unbedarfte Umgang mit der irdischen Natur, wurde auch der mit der kosmischen Umwelt der Erde nicht gerade umsichtig begonnen: 7000 große Schrottstücke im Erdumlauf und ein gefährlicher „Hornissenschwarm“ von ca. 50000 „Mikrosatelliten“ mit tödlicher Durchschlagskraft

für Raumstationen beginnen, den Raumflugplanern der Zukunft Sorgen zu bereiten.

Mit dem viel diskutierten bemannten Flug zum Mars wird nun der erste Schritt zur „Aneignung“ des Sonnensystems getan. Für den Marsflug des Menschen wird eine Fülle von Motiven angeführt, die nicht einfach auf Wettlaufideologie, Technologiedemonstrationsbedürfnis oder einfach Raumfahrtgigantomanie zurückführbar sind und erst recht nicht von den fiebrigen Phantasien der utopischen Literatur der Vergangenheit genährt werden. Sie sind aus den Erfolgen der sehr jungen Marswissenschaft erwachsen, die zwar klassische alte Fragen beantworten kann, aber eine ungleich größere Menge faszinierender neuer aufgeworfen hat. Und die nicht zuletzt bewiesen hat, daß man den roten Planeten urbar machen könnte. . . . Der Marsflug hat aber eben nicht nur eine technische Dimension! Darf man denn überhaupt so einfach zu diesem Planeten fliegen, wenn man nicht weiß, ob er Lebensspuren beherbergt, und wenn man die Details zur Lebensentstehung noch so wenig kennt, wie wir zur Zeit? Würde das Betreten des Mars uns nicht endgültig der Gelegenheit berauben, eine mögliche Alternative zur irdischen Lebensform kennenzulernen? Der Mensch, ein ökologischer Störfaktor im Sonnensystem?

Oder: Wem gehört eigentlich der Mars? Nur den Industrieländern, die dorthin fliegen und ihn erforschen, nutzen und besiedeln können? Nur den Experten unserer Generation, die es nicht erwarten können, ihre wissenschaftlichen Lebensträume zu verwirklichen?

Oder: Was könnte eigentlich die unbemannte Marsforschung alles leisten? Schon in den neunziger Jahren?

Die faszinierenden wissenschaftlichen Rätsel des Mars, die Ergebnisse der Phobos-Mission (die leider auf Grund technischer Mängel und menschlichen Fehlverhaltens vorzeitig enden mußte), die zukünftigen Aufgaben der Marsforschung, die Möglichkeiten und Probleme des bemannten Flugs dorthin (einschließlich der oben aufgeworfenen) – all das ist Gegenstand derzeitiger Diskussionen unter den Marsfans. Auch die Fachleute und Politiker sind sich dabei noch nicht bei allen Fragen im Klaren. Einigen müßten sie sich aber unbedingt darin, daß ein Flug zum Mars ausschließlich der Erforschung dieses Planeten und weder dem Zwecke der einseitigen praktischen Aneignung noch der militärischen Nutzung dienen sollte. Die Durchsetzung dieses Prinzips stellt für die Menschheit eine Gelegenheit dar, der ethischen Forderung nach „Ehrfurcht vor dem Leben“ in kosmischen Dimensionen gerecht zu werden, beim Vordringen in den Kosmos sinnvoller, gerechter und letztlich nutzbringender für alle Menschen vorzuziehen als bei der „Eroberung“ und „Verteilung“ der Erde, und würde das Übergreifen der globalen irdischen Probleme auf den Kosmos einschränken. Vielleicht würden solche Einigungen über

13228 3      650 008 797  
KRUSE, C  
6504 2006 5125      HICO 5/362  
\*\*\*941\*

das Vorgehen im Kosmos sogar die Lösung der drängenden irdischen Probleme günstig beeinflussen.

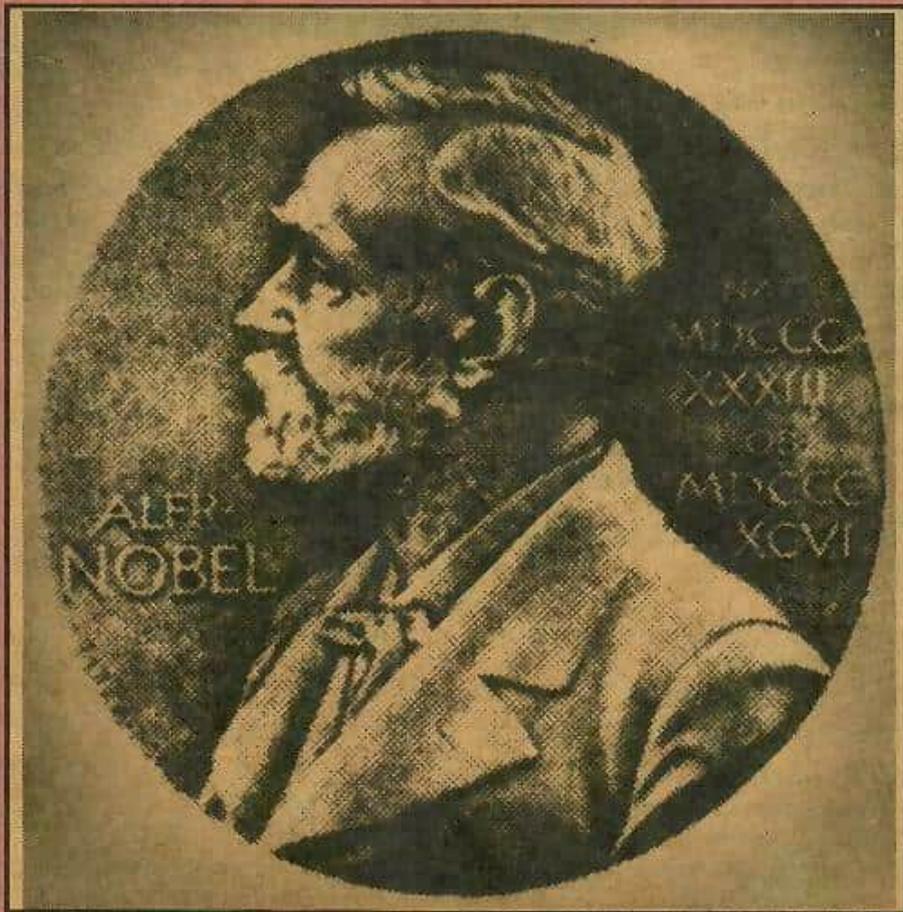


*Abb.: Landschaft auf dem Mars, fotografiert von dem Landeapparat der Sonde Viking 1 (1976). Der Steinbrocken am linken Bildrand hat eine Breite von rund 3 m und eine Höhe von ca. 1.5 m*

# Impuls 68

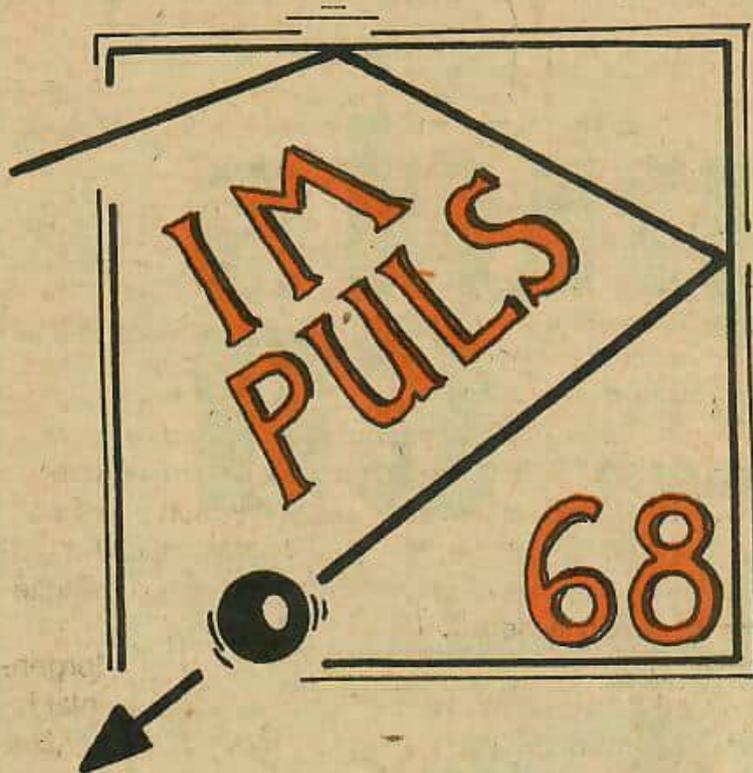
Schülerzeitschrift  
für Physik, Chemie  
und Biologie

INDEX 322004 · ISSN 0232-9220 · 24. JAHRGANG · PREIS: 1,90 M



Nobelpreise für Physik, Chemie und Medizin

4/90



<i>M. Kempe</i>	
Die Farben des Himmels . . . . .	3
<i>A. Kaschner</i>	
Das Standardmodell der Kosmologie . . . . .	11
Wissenschaftler im Kreuzverhör . . . . .	20
Nobelpreis für Chemie 1989 . . . . .	26
Nobelpreis für Physik/Physiologie und Medizin 1989 . . . . .	28
Lösungen zu Experimentieraufgaben Heft 2/90 . . . . .	30
<i>O. Fischer</i>	
Erscheinung und Wesen – oder warum das Laufen gelernt sein will . . . . .	31

**impuls 68** – Schülerzeitschrift für Physik, Chemie und Biologie

Herausgeber: 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: 1,90 M

Bezugsmöglichkeiten: durch den Postzeitungsvertrieb

Texterfassung: **impuls 68**

Textverarbeitung und Rollenoffsetdruck: Druckhaus Gera, AN (EDV) 13228

Chefredakteur: Andreas Erdmann; stellv. Chefredakteur: Burkhard Fleck

Redaktionsmitglieder: Peter Kroll, Reiner Strobel, Wolfram Meinhardt, Matthias Müller, Andreas Chawala, Petra Richter, Steffen Steinberg, Gustavo Rodriguez Zurita, Peter Kulle, Norbert Gutmann, Michael Kempe

Gestaltung: **impuls 68**

Redaktionsschluß: 22. 3. 1990

**Michael Kempe**  
**Friedrich-Schiller-Universität Jena**  
**Sektion Physik**

## Die Farben des Himmels

Zu den alltäglichen Erlebnissen eines jeden Menschen gehören die farbigen Himmelserscheinungen. Wie viele Dinge des Alltags nehmen wir sie oft kaum noch wahr, es sei denn, daß sie sich einmal etwas außergewöhnlich (schön) präsentieren. Dann könnte es auch vorkommen, daß man sich die Frage stellt, wie denn eigentlich z. B. das Morgen- und Abendrot, das Himmelsblau und der Regenbogen entstehen. Meistens wird man sich diese Fragen nicht tiefgründiger beantworten können. Genau darum soll es im folgenden Beitrag gehen. Wir werden dabei sehen, daß sich die Grunderscheinungen relativ einfach verstehen lassen.

Beschäftigen wir uns zunächst mit dem Himmelsblau und, damit verbunden, dem Morgen- und dem Abendrot. Im Heft 6/89 unserer Zeitschrift waren zu diesen Erscheinungen einfache Experimente und bereits einige Erklärungen vorgestellt worden („Aus der Trickkiste: ‚Der Himmel im Wasserglas‘“). Wir wollen versuchen, die Prozesse etwas genauer zu verstehen. Bestimmenden Einfluß auf alle Farberscheinungen in der Atmosphäre haben die Sonne als Lichtquelle, die Wechselwirkung der von der Sonne kommenden Lichtstrahlen mit der Atmosphäre (Luftmoleküle und kleine Schwebeteilchen) und die spektrale (Farb-)Empfindlichkeit des menschlichen Auges.

Die spektrale Energieverteilung der Sonnenstrahlung außerhalb der Erdatmosphäre ist in Abbildung 1 (a) dargestellt.

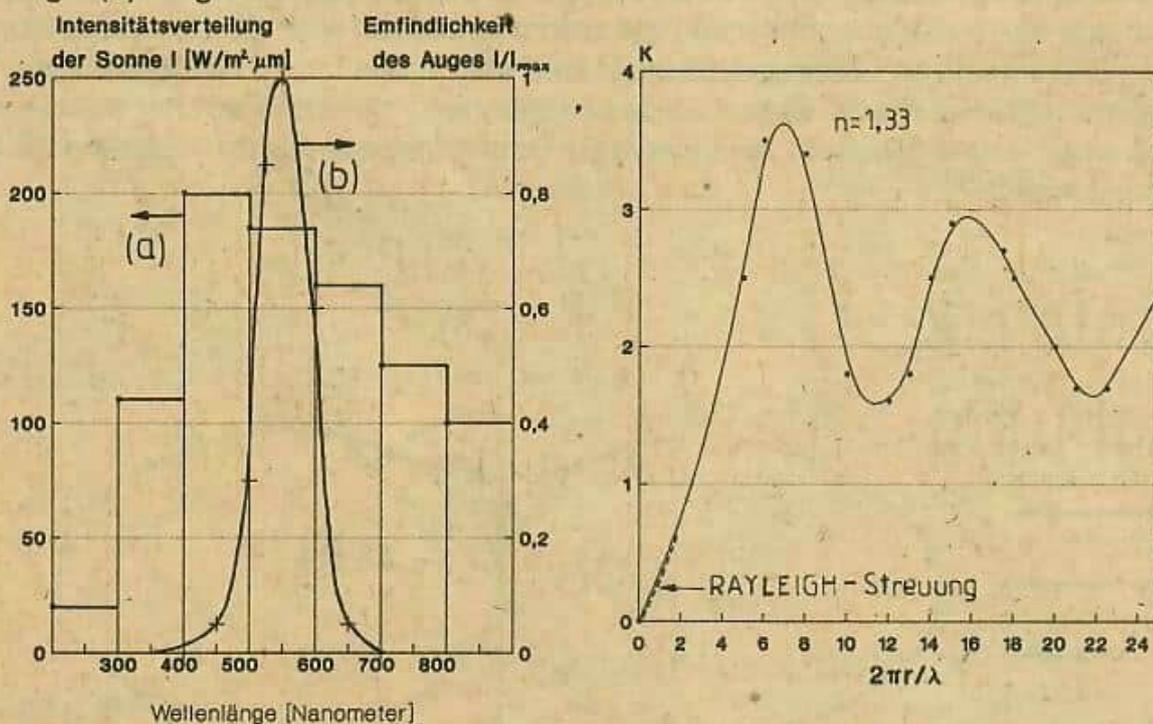


Abb. 1 a/b, Abb. 2

Der Schwerpunkt der Intensität liegt im Gelbgrünen. Die spektrale Empfindlichkeit des Auges ist dieser Verteilung relativ gut angepaßt (Abbildung 1 [b]).

Daß wir aber durchaus andere Farberscheinungen am Himmel beobachten als eine gelbgrün leuchtende Sonnenscheibe an einem ansonsten schwarzen Himmel liegt an der Streuung des Sonnenlichts in der Erdatmosphäre als wichtigste der oben genannten Wechselwirkungen. Mit dieser Streuung verbunden sind Änderungen der Richtung des Lichtes (so daß nicht nur Licht direkt von der Sonne unser Auge erreicht) und damit auch eine Schwächung der Lichtintensität der direkten Sonnenstrahlen (da nur ein bestimmter Lichtanteil seine Richtung beibehält). Die Schwächung kann man in der Form:

$$I/I_0 = e^{-\sigma \cdot s} \quad (1)$$

schreiben, wobei  $I/I_0$  das Verhältnis der Lichtintensität aus Richtung der Sonne nach der Wegstrecke  $s$  (sogenannte reduzierte Weglänge in einer Atmosphäre mit angenommener konstanter Normaldichte) zur Intensität vor Eintritt in die Atmosphäre und  $\sigma$  der sogenannte Extinktions-(Schwächungs-)koeffizient sind. Dieser Koeffizient bestimmt die optischen Eigenschaften der Atmosphäre ganz entscheidend. Für eine Bestimmung von  $\sigma$  wurde die Theorie der Mie-Streuung entwickelt. Danach ergibt sich:

$$\sigma = N K \pi r^2 \quad (2)$$

( $N$ : Teilchendichte,  $r$ : Teilchenradius). Für  $K$  wird eine Abhängigkeit von der auf den Teilchenradius bezogenen Wellenlänge gefunden, die in Abbildung 2 dargestellt ist.

Bei sehr kleinen Teilchen ( $r < 0,0002$  mm) nennt man die Wechselwirkung RAYLEIGH-Streuung (nach John W. S. RAYLEIGH 1842–1919). Dieser liegt der folgende physikalische Prozeß zugrunde. Die Einwirkung von Licht als elektromagnetische Welle hat in den Molekülen bzw. sehr kleinen Partikeln Kräftwirkungen auf die Ladungsträger (Elektronen, positive Kerne) zur Folge. Diese Ladungsträger sind im Normalfall so verteilt, daß sie sich nach außen elektrisch kompensieren (neutrale Partikel vorausgesetzt). Wird nun die „Elektronenwolke“ durch das elektromagnetische Feld deformiert, findet eine räumliche Trennung des positiven und negativen Ladungsschwerpunktes statt – aus dem Teilchen wird ein Dipol. Dieser Dipol schwingt mit der Frequenz des erregenden Feldes. Als solcher wirkt er wie die Antenne eines kleinen Senders, die Licht in die Umgebung ausstrahlt (Abbildung 3 – durchgezogene Linie).

einfallende  
Strahlung

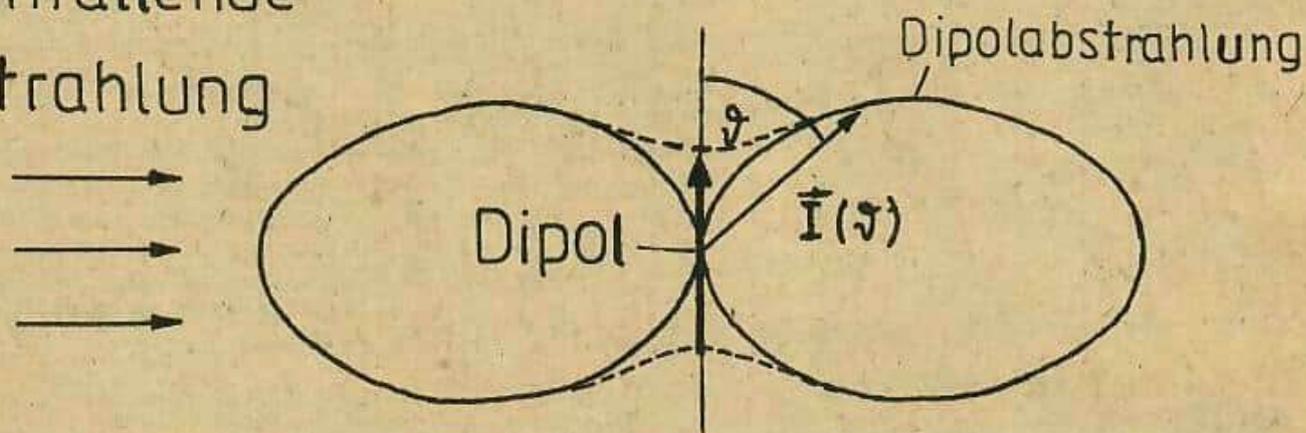


Abb. 3

Die gute Übereinstimmung mit der experimentell ermittelten Streulichtverteilung an kleinsten Partikeln (Abbildung 3 – gestrichelte Linie) läßt den Schluß zu, daß diese Modellvorstellungen die Realität gut widerspiegeln.

Die hier dargestellten Prozesse hängen natürlich neben der Art der Partikel auch von der Erregerfrequenz und damit von der Wellenlänge ( $\lambda = c/f$  mit  $c$ : Lichtgeschwindigkeit,  $f$ : Lichtfrequenz und  $\lambda$ : Wellenlänge) des Lichtes ab. Eine genauere mathematische Behandlung des vorgestellten Modells ergibt für  $\sigma$ :

$$\sigma = \text{const.}/\lambda^4 \quad (3)$$

(bzw. genauer  $\sigma = 8,8 \cdot 10^{-3} \cdot \lambda^{-4,09} \cdot 1/\text{cm}$ ). Zusammen mit der Gleichung (1) ergibt sich damit qualitativ die folgende Lichtschwächung in Vorwärtsrichtung (Abbildung 4).

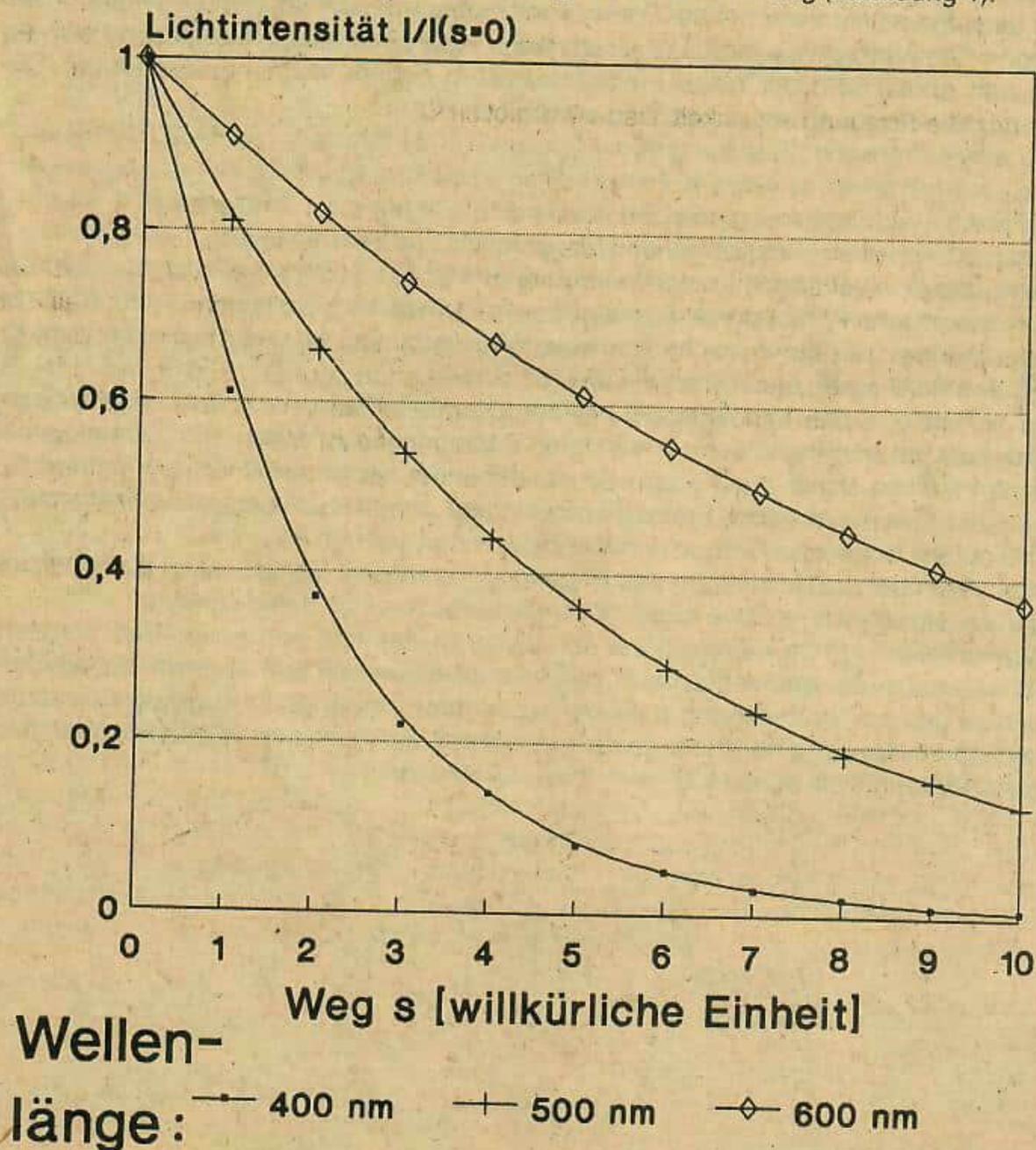


Abb. 4

Von der Absorption, die natürlich ebenfalls eine Lichtschwächung verursacht, haben wir bisher völlig abgesehen. Das kann man für den hier interessierenden Bereich des sichtbaren Lichtes auch getrost tun, da die Atmosphäre dort ein sogenanntes optisches Fenster besitzt. Bei den beschriebenen Wechselwirkungen wird dem Licht keine Energie entzogen. Derjenige Teil des Lichtes, der in Vorwärtsrichtung stärker geschwächt wird, muß sich in den anderen Streurichtungen in erhöhtem Maße vorfinden. Das trifft für das Licht mit kleiner Wellenlänge (also blaues Licht) zu. Abgesehen von dem Licht, welches direkt unser Auge erreicht, sehen wir also an klaren Tagen einen blauen Himmel. Wie bereits erwähnt, würde ohne unsere Atmosphäre außer aus der Richtungen der Sonne keinerlei Licht unser Auge erreichen, der Himmel wäre schwarz (wie z. B. auf dem Mond). Auch die Farbe der Sonnenscheibe (des direkten Lichtes also) erfährt eine Modifikation durch die Streuung. Sie ist zum Gelben bzw. Roten hin verschoben. Diese Verschiebung ist um so stärker, je länger der Lichtweg in der Atmosphäre bis zu unserem Auge ist. Bei sehr langem Lichtweg wie am Morgen und Abend wird der blaue Frequenzanteil in hohem Maße herausgestreut. Die Sonne und der Himmel in ihrer Umgebung erscheinen Rot.

Sind die atmosphärischen Partikel größer als etwa  $0,0004 \mu\text{m}$  wird die RAYLEIGH- durch Mie-Streuung mit einem anderen K-Faktor (siehe Abbildung 2) und einer (im Allgemeinen schwächeren)  $\lambda$ -Abhängigkeit modifiziert (im Bereich  $500 \text{ nm} < r < 1 \mu\text{m}$  gilt z. B.  $K \sim \lambda$ ). Die Richtungsverteilung des Streulichtes ist dann ebenfalls und zwar so gegenüber Abbildung 3 verändert, daß eine verstärkte Vorwärtsstreuung auftritt. Die Folge einer solchen Streuung ist eine farbindifferente Trübung der Atmosphäre, wie wir sie bei Nebel beobachten. Auch die Farbe der Wolken wird durch solche Prozesse verursacht. Um so mehr dabei die Lichtabsorption eine Rolle spielt, erscheinen die Wolken dunkler.

Wenden wir uns nun einer immer wieder beeindruckenden Erscheinung, dem Regenbogen, zu. Er ist nicht nur bei Regen unter bestimmten Bedingungen zu sehen. Ein aufmerksamer Beobachter hat ihn sicher auch schon bei tiefstehender Sonne an einem Springbrunnen oder an einer Dusche in einem Freibad entdeckt und unter Umständen dabei festgestellt, daß nicht nur ein Bogen, sondern ein vollständiger Ring zu sehen ist.

Das, was viele über die Entstehung des Regenbogens wissen, ist, daß dabei die Brechung an den Wassertropfen eine Rolle spielt. Doch wie verhält es sich damit genauer?

Die Regentropfen sind im Vergleich mit den bisher in Betracht gezogenen Teilchen sehr groß. Die Gesetze der geometrischen Optik können deswegen hier angewendet werden. Schauen wir uns den Strahlengang in einem Tropfen (den wir als ideale Kugel voraussetzen) doch einmal an. Da wir einen Regenbogen immer mit der Sonne im Rücken beobachten, zeigt die Abbildung 5 die dafür möglichen Strahlenverläufe.

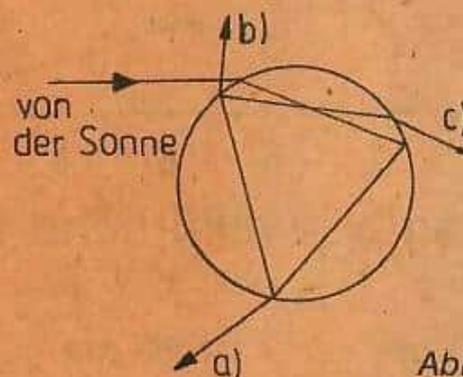


Abb. 5

Der einfachste Verlauf ist mit a) bezeichnet. Er verursacht den Hauptregenbogen. Den nächst komplizierteren Verlauf (mit 2 Reflexionen) zeigt b). Dieser führt zum Nebenregenbogen, der manchmal (aber deutlich lichtschwächer) über dem Hauptregenbogen zu sehen ist. Bei noch mehr Reflexionen im Regentropfen (z. B. c)) ist die Lichtschwächung so stark, daß ein sichtbarer Regenbogen daraus nicht entstehen kann.

Kommen wir zunächst zum Hauptregenbogen. Die Abbildung 6 macht den Strahlenverlauf noch einmal etwas deutlicher sichtbar.

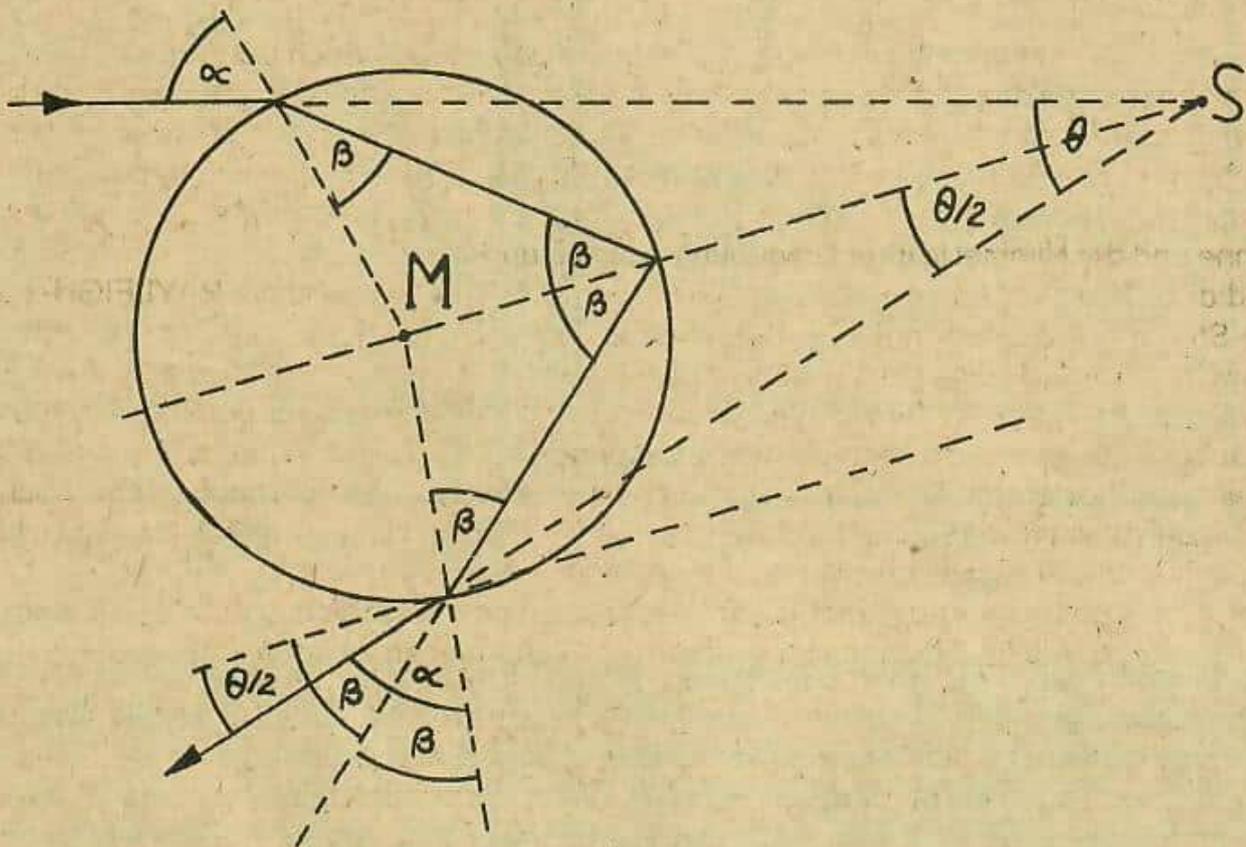


Abb. 6: Strahlenverlauf im Regentropfen

Aufgrund der Kugelsymmetrie des Tropfens ist der Strahlenverlauf zu einer von M nach S verlaufenden Achse völlig symmetrisch. Damit und unter Ausnutzung einiger Winkelbeziehungen (Wechselwinkel an geschnittenen Parallelen) macht man sich schnell die eingezeichneten Winkel klar.  $\alpha$  ist dabei der Einfallswinkel des Lichtstrahls auf die Kugeloberfläche,  $\beta$  der dazugehörige Brechungswinkel und  $\theta$  der Winkel zwischen einfallenden und auslaufenden Strahl. Man erhält aus der Zeichnung:  $\theta/2 = \beta - (\alpha - \beta)$ , und mit dem Brechungsgesetz  $\sin \alpha = n_{\text{Wasser}} \cdot \sin \beta$  ( $n_{\text{Luft}} \approx 1$ ) folgt:

$$\theta(\alpha) = 4 \cdot \arcsin(\sin \alpha / n_{\text{Wasser}}) - 2\alpha \quad (4)$$

(arcsin – gesprochen Arkussinus – ist die Umkehrfunktion des sin, d. h. aus  $y = \sin [x]$  folgt  $x = \arcsin [y]$ ).

Die sich für verschiedene Einfallswinkel ergebenden Werte von (4) kann man mit dem Taschenrechner leicht berechnen. Das Ergebnis für 2 verschiedene Wellenlängen des Lichtes (für die Wasser verschiedene Brechzahlen aufweist) zeigt die Abbildung 7.

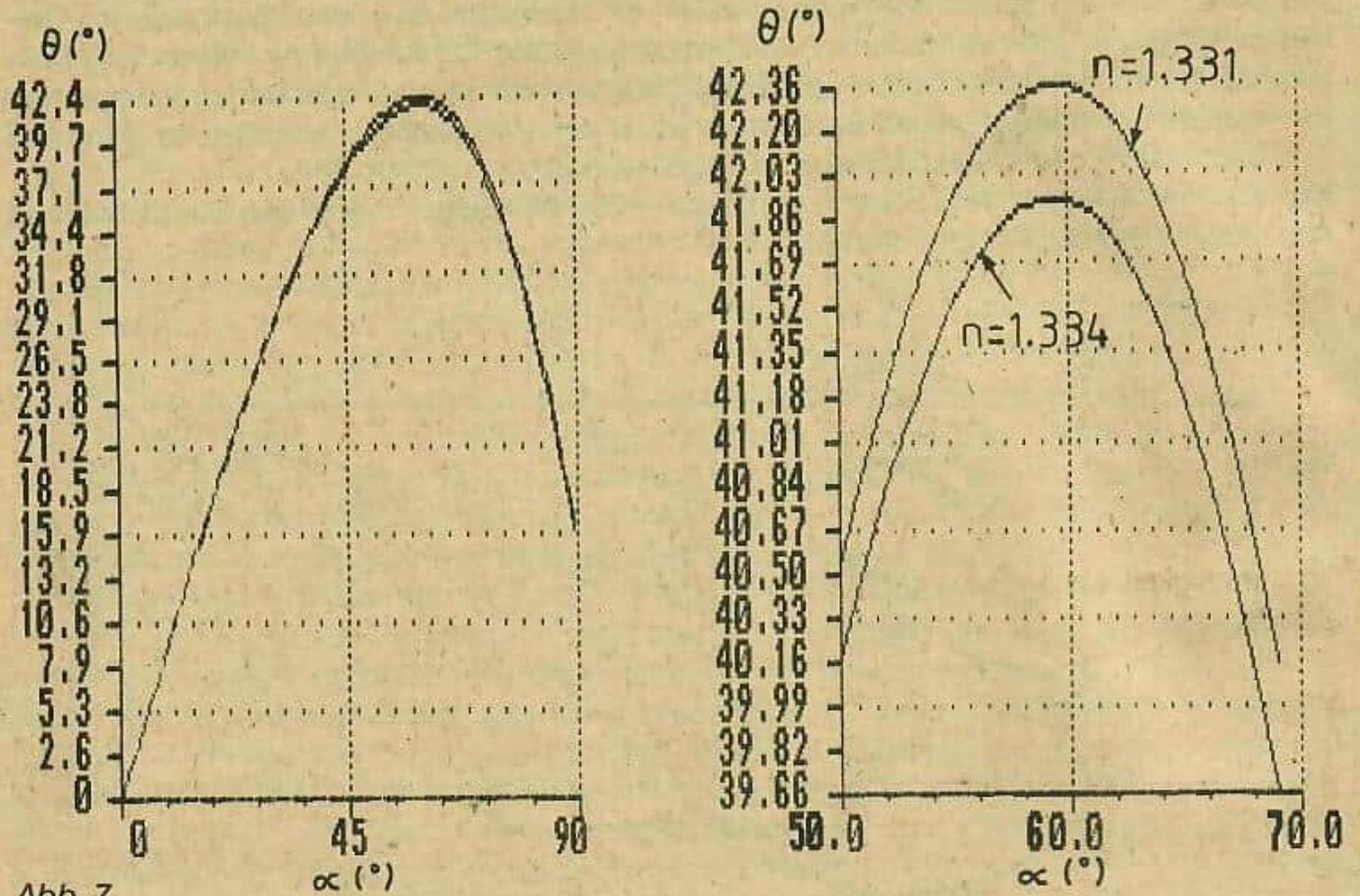


Abb. 7

Man erkennt, daß  $\theta$  für einen bestimmten, je nach Wellenlänge verschiedenen Winkel  $\alpha$  einen maximalen Wert annimmt. In der Nähe dieses Winkels ändert  $\theta$  seinen Wert vergleichsweise wenig in Abhängigkeit von  $\alpha$ . Das bedeutet, daß die Strahlen in der Nähe von  $\theta_{\max}$  „dichter“ liegen als bei anderen Winkeln. Demnach ist auch die Lichtintensität, die aus diesem Winkelbereich auf das Auge des Beobachters trifft, größer als die aus anderen Bereichen. Das soll Abbildung 8 veranschaulichen.

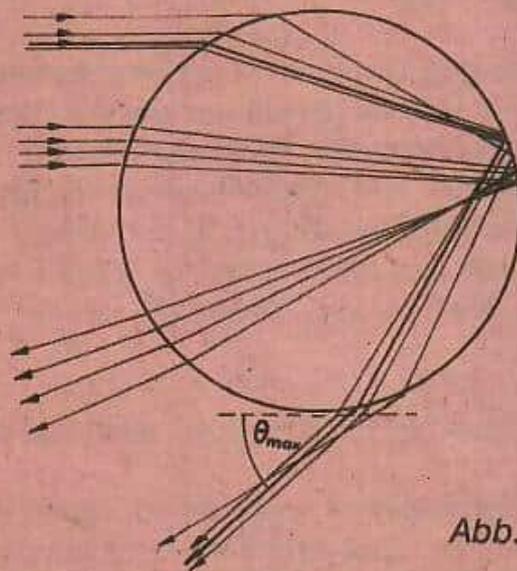


Abb. 8

Das Maximum des Winkels  $\theta$  kann übrigens derjenige von Euch, der einige Grundlagen der Differentialrechnung beherrscht, relativ leicht berechnen. Mit  $d\theta/d\alpha|_{\theta(\max)} = 0$  ergibt sich (kleine Übungsaufgabe, wobei empfohlen wird statt  $d\theta/d\alpha$   $d\theta/ds$  mit  $s = \sin\alpha$  [Stoßparameter] zu bilden):

$$\theta_{\max} = \arcsin \left\{ [(4 - n^2_{\text{Wasser}})/3]^{-1/2} \right\} \quad (5)$$

Nun können wir zum eigentlichen Regenbogen kommen. In Abbildung 9 ist die Situation für einen Beobachter vor einem „Regenvorhang“ dargestellt.

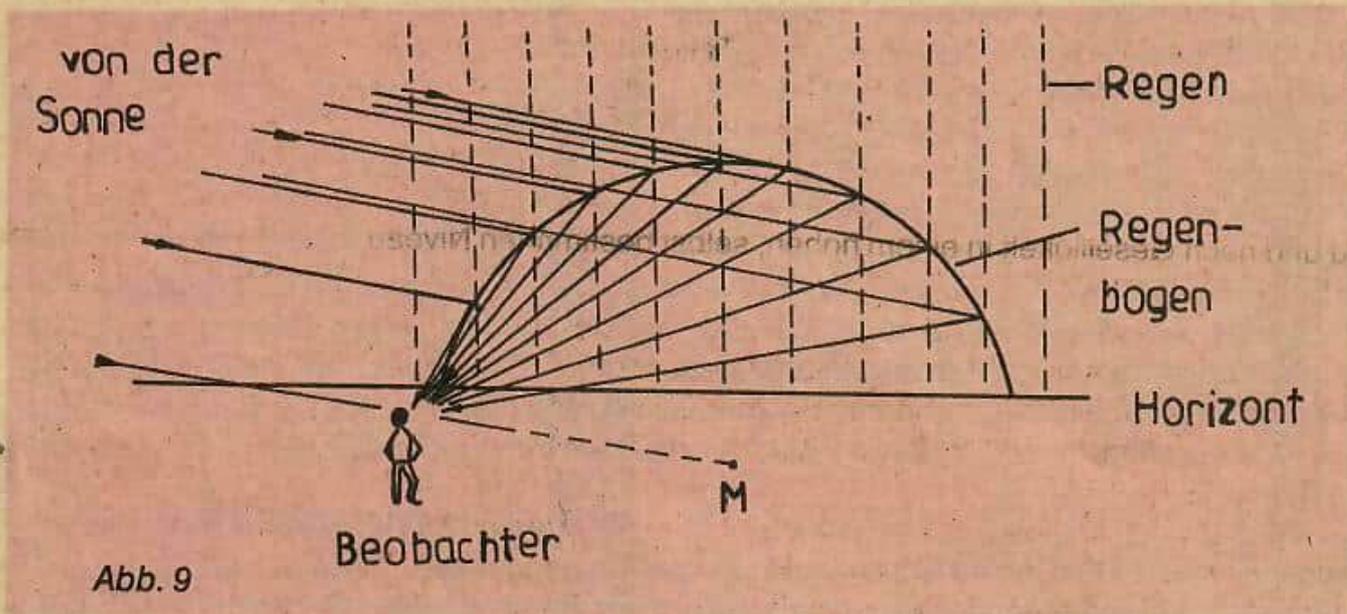


Abb. 9

Jede Farbe des Lichtspektrums erscheint dem Beobachter in einem Kreisbogen im Winkelbereich um  $\theta_{\max}$  für die entsprechende Wellenlänge. Da  $\theta_{\max}$  für rotes Licht am größten und für violettes Licht am kleinsten ist, geht beim Regenbogen von außen Rot in Gelb, Grün, Blau und schließlich Violett über. Aus Abbildung 7 wird nun auch leicht verständlich, daß nur die rote Spektralfarbe „rein“ auftritt. Alle anderen Farben enthalten (natürlich viel lichtschwächere) Beimischungen von Licht mit höheren Wellenlängen.

Da die regenbogenverursachende Wasserschicht im Fall des Springbrunnens oder der Dusche viel näher am Beobachter liegt, ist bei sehr tiefstehender Sonne dort ein kompletter „Regenring“ zu sehen.

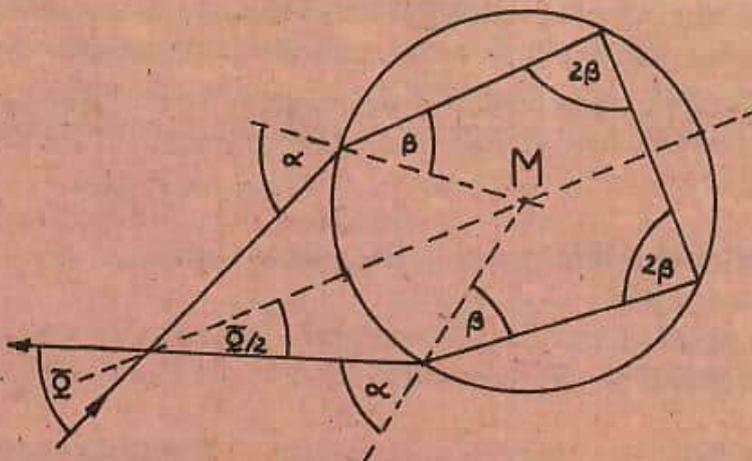


Abb. 10

In völlig analoger Weise läßt sich der Nebenregenbogen erklären. Ausgehend von dem in Abbildung 10 dargestellten Strahlenverlauf wollen wir in diesem Fall nur die Ergebnisse anführen. Aus  $\Phi/2 = \pi/2 + \alpha - 3\beta$  folgt:

$$\Phi(\alpha) = \pi + 2\alpha - 6 \cdot \arcsin(\sin\alpha/n_{\text{Wasser}}) \quad (4')$$

$$\text{und } \Phi_{\min} = \arcsin \left\{ [8^2(9 - 1/n_{\text{Wasser}}^2)]^{-1/2} \right\} \quad (5')$$

Der Vergleich von Abbildung 11 mit 7 macht verständlich, warum der Nebenregenbogen über dem Hauptregenbogen steht und eine umgekehrte Farbreihenfolge aufweist.

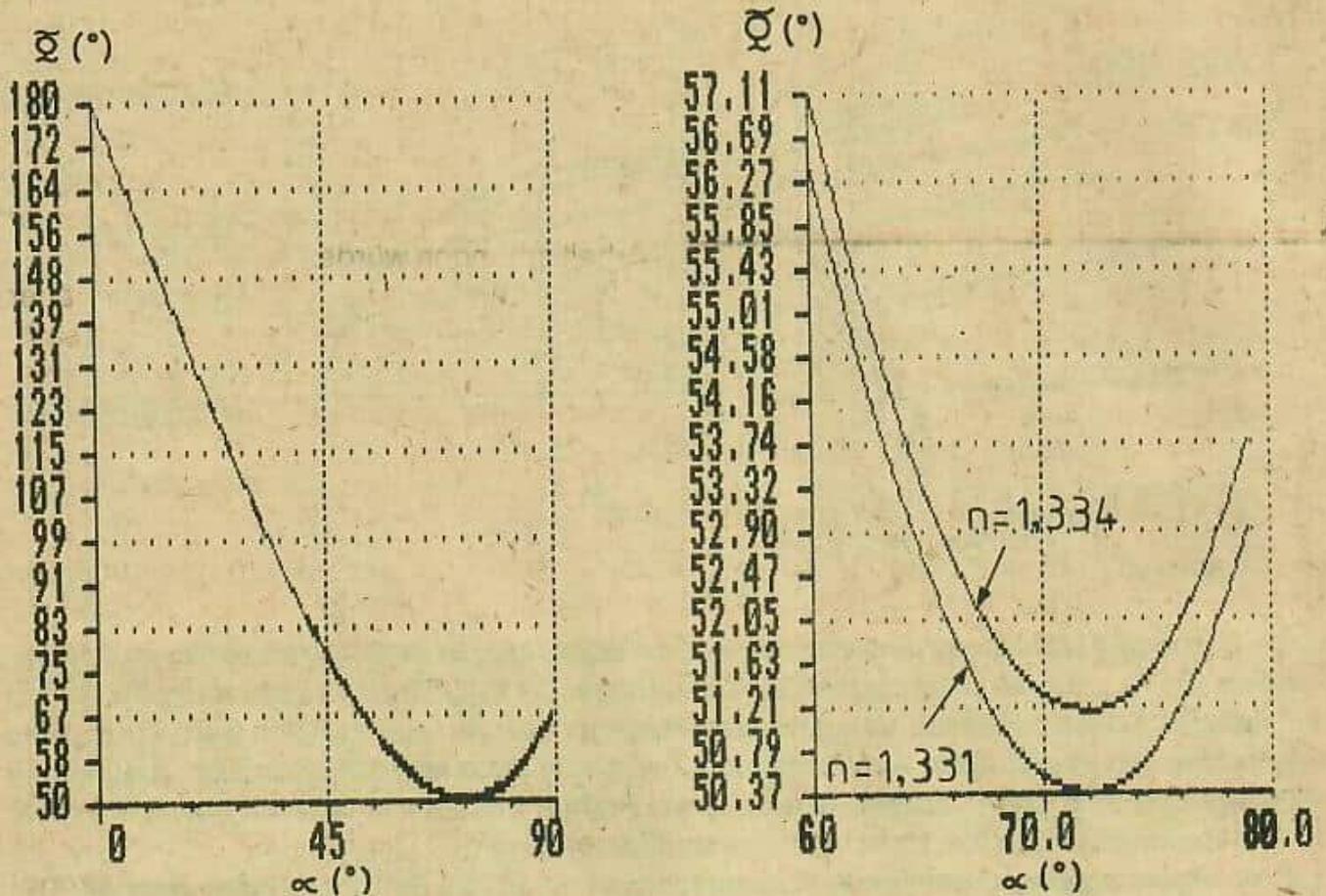


Abb. 11

Damit wollen wir unseren kleinen Exkurs in die Optik des Himmels beenden. Erwähnt werden muß freilich noch, daß hier nur die grundlegenden Prozesse angedeutet werden konnten. Kompliziertere Erscheinungen wie Interferenz und Beugung, die für ein Verständnis der wichtigsten Effekte aber auch nicht nötig sind, blieben unberücksichtigt.

Vielleicht konnten wir jedenfalls zu einem intensiveren Nachdenken über uns umgebende Dinge anregen.

Literaturempfehlungen:

Allgemein: HAFERKORN, H. (Herausgeber): BI-Lexikon Optik

Bibliogr. Institut, Leipzig 1988

Zur Streuung: POHL, R. W.: Optik und Atomphysik, Springer Verlag, Berl./Gött./Heidelb.

Zum Regenbogen: GRIMSEHL, E.: Lehrbuch der Physik, Band 3 (Optik), Teubner VG, Leipzig 1978

SEYDEL, R.; BULIRSCH, R.: Vom Regenbogen zum Farbfernsehen, Springer Verlag, Berl./Heidelb./New York 1986

**Axel Kaschner**  
**ESOS „G. Thiele“ Kleinmachnow**

## **Das Standardmodell der Kosmologie**

### **1. Einleitung**

Diese Facharbeit wurde im Rahmen des Deutschunterrichtes der 10. Klasse (Spezialklasse) in Absprache mit dem Fachlehrer angefertigt. Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit einem interessanten Gebiet der Physik – der Kosmologie. Dabei kann diese Wissenschaft nicht in ihrer Gesamtheit betrachtet werden. Es soll nur auf Bedeutung, Entstehung und Ergebnisse des Standardmodells der Kosmologie eingegangen werden, wobei auf die Darstellung des schwierigen mathematischen Apparates des Modells verzichtet wurde, da dies den Rahmen der Arbeit sprengen würde.

Im 2. Kapitel wird der Begriff Kosmologie und der Sinn eines kosmologischen Modells näher erläutert. Zur Entstehung des Modells wird im gleichnamigen Abschnitt etwas ausgesagt. Die Ergebnisse, die sich aus dem FLRW-Modell ergeben, werden im 4. Kapitel genannt, erläutert und mit astronomischen Erkenntnissen verglichen, da sich die Güte eines Modells nur im Vergleich mit der Realität bestimmen läßt.

### **2. Zweck eines kosmologischen Modells**

Die Kosmologie ist eine Wissenschaft, die sich mit Struktur, Gesetzen und Herkunft des Weltalls beschäftigt. Die Ursprünge der Kosmologie kann man in der babylonischen und altägyptischen Mythologie sehen, die ihre Fortsetzungen in der klassischen griechischen Philosophie fanden. Viele bedeutende Wissenschaftler und Philosophen beschäftigten sich mit Fragen der Kosmologie, zum Beispiel Demokrit, Aristoteles, Copernicus, Galilei, Newton, Einstein, Friedmann . . .

Der Begriff Kosmologie stammt aus dem Griechischen. Kosmos bedeutet soviel wie „Weltall“ oder „Weltordnung“, Logos heißt „Begriff“ oder „Lehre“. Die Kosmologie ist also die Lehre vom Weltall. Die Wissenschaft vom All ist eine Verschmelzung von Physik, Astronomie, Mathematik und Philosophie. Sie unterteilt sich in drei Komponenten:

1. Beobachtungen der Astronomie
2. Weltmodelle zur Beschreibung des Universums
3. Konstruktion von Vergangenheit und Zukunft auf Grundlage der Modelle.

Wie in allen Naturwissenschaften werden auch in der Kosmologie Modelle benötigt, die Teile der beobachtbaren Realität widerspiegeln sollen. Ein Modell startet immer mit bestimmten Annahmen und Vereinfachungen (siehe 4.1.) und kann nicht alle Erscheinungen erklären. Ein Modell zur Beschreibung des Alls und seiner Entwicklung ist das Standardmodell (gemäß seiner Bedeutung) oder FLRW-Modell (nach den Anfangsbuchstaben der Wissenschaftler Friedmann, Lemaitre, Robertson, Walker). Die Güte eines Modells wird an der Übereinstimmung mit der Wirklichkeit gemessen, deshalb werden im 4. Kapitel die Folgerungen aus dem Standardmodell erläutert und mit astronomischen Erkenntnissen verglichen.

### **3. Zur Entstehung des Modells**

Anfang unseres Jahrhunderts befand sich die gesamte klassische Physik im Umbruch. Man

war an den Grenzen der Newtonschen Physik angelangt. Albert Einstein, der Begründer der Allgemeinen Relativitätstheorie, war der Erste, der die Möglichkeit und Notwendigkeit ein-sah, im Rahmen der neuen Theorie eine neue Kosmologie zu begründen. Das bis dahin das Weltbild bestimmende Newtonsche Modell ruhte auf drei Säulen: erstens auf der Stationari-tät, zweitens auf der Homogenität und Isotropie des Universums (siehe 4.1.) und auf dem Euklidischen Raum. Einstein „stürzte“ die dritte Säule. Er entwickelte ein Modell des Univer-sums, das stationär, homogen und nichteuklidisch war. Dazu mußte er das sogenannte  $\lambda$ -Glieder in seine Feldgleichungen einfügen. Das  $\lambda$ -Glieder (kosmologische Konstante) reprä-sentiert hypothetische Kräfte, die dem Abstand proportional sind und eine Expansion bzw. Kontraktion verhindern sollten.

In der „Zeitschrift für Physik“ erschien im Jahre 1922 ein Artikel „Über die Krümmung des Raumes“ des sowjetischen Mathematikers A. A. Friedmann. Er hatte den Spezialfall  $\lambda = 0$  untersucht und war zu interessanten Ergebnissen gekommen. Im Gegensatz zu Einstein erhielt er dynamische, d. h. sich entwickelnde Modelle des Alls. Damit begründete er ein neues Denken in der Kosmologie.

### INFORMATIONSKASTEN 1

**Nichteuklidische Geometrie:** Die Euklidische Geometrie stützte sich auf Postulate. Lange Zeit versuchten Mathematiker, das 5. Postulat mit Hilfe der ersten 4 zu beweisen, was nicht gelang. Der Mathematiker N. I. Lobatschewski (geboren 1792) ging davon aus, daß das 5. Postulat von den anderen unabhängig ist. Das Resultat war eine Geometrie, in der die Innenwinkelsumme eines Dreiecks un-gleich 180 Grad war. Auf den ersten Blick mutet diese Tatsache etwas unverständ-lich an, deshalb wurde Lobatschewskis Leistung zu seiner Zeit nicht anerkannt. Später wurden seine Ideen von Bolyai, Riemann und anderen Wissenschaftlern weiterentwickelt.

Ihn interessierten die Einsteinschen Gleichungen in erster Linie aus mathematischer Sicht. Er soll einmal von sich gesagt haben, daß es seine Angelegenheit sei, Gleichungen zu lösen, sich mit dem physikalischen Inhalt der Lösungen zurechtzufinden, sollten andere Fachleute, die Physiker, tun. /1/ Später erkannte auch Einstein die von Friedmann gefundenen Lösun-gen an.

„Ich habe in einer früheren Notiz an der genannten Arbeit (A. A. Friedmann: ‚Über die Krümmung des Raumes‘) Kritik geübt. Mein Einwand beruhte aber – wie ich mich auf Anregung des Herrn Krutkoff an Hand eines Briefes von Herrn Friedmann überzeugt habe – auf einem Rechenfehler. Ich halte Herrn Friedmanns Resultate für richtig und aufklärend. Es zeigt sich, daß die Feldgleichungen neben den statischen dynamische (d. h. mit der Zeitkoor-dinate veränderliche) zentrisch-symmetrische Lösungen für die Raum-Struktur zulassen.“

/2/

Die Arbeit Friedmanns wurde von vielen Wissenschaftlern nicht anerkannt und geriet bald wieder in Vergessenheit. Der belgische Jesuitenpriester und Physiker Georges Lemaitre erweckte die Friedmann-Modelle wieder zum Leben und entwickelte diese weiter. Er be-schäftigte sich besonders mit der Rückrechnung auf den Frühzustand des Universums aus philosophischen und theologischen Gründen.

Auch die Wissenschaftler H. P. Robertson und A. G. Walker machten sich um die Weiterentwicklung des Friedmann-Kosmos in den Jahren 1935 und 1936 verdient. Somit war das FLRW-Modell, das bis heute große Bedeutung besitzt, entstanden. Diese neuen Anschauungen beeinflussten wesentlich das physikalische Weltbild unserer Epoche.

#### 4. Die Ergebnisse des Standardmodells

##### 4.1. Homogenitäts- und Isotropiepostulat

Friedmann setzte bei der Entwicklung seines Modells die Richtigkeit der Allgemeinen Relativitätstheorie voraus, da sie die Grundlage bildete. Die Anwendung der Einsteinschen Feldgleichungen erforderte weitere zusätzliche Anfangsbedingungen (Postulate).

Das Homogenitätspostulat fordert die Homogenität des Universums, d. h. die Struktur ist nicht vom Ort des Beobachters abhängig. Das Isotropiepostulat besagt die Unabhängigkeit der Eigenschaften von der Richtung im Raum. Diese Postulate stellen eine Idealisierung von Beobachtungsdaten dar. Je größer die Beobachtungsräume werden, desto besser trifft diese Idealisierung zu. Ab Entfernungen von 100 MPc kann man die den Kosmos anfüllende Materie als ideale Flüssigkeit ansehen, wobei die Galaxien „Moleküle“ darstellen. Diese Vorgehensweise wird auch als „Kosmologisches Prinzip“ bezeichnet.

#### INFORMATIONSKASTEN 2

**Mpc:** Mpc ist eine Längeneinheit und heißt Megaparsec ( $10^6$  Parsec). Parsec (pc) ist ein Kürzel für Parallaxensekunde. Die Parallaxe ist der halbe Winkel zwischen den Blickrichtungen von zwei gegenüberliegenden Punkten der Erdbahn zum Stern. Ist dieser Winkel 1 Bogensekunde, so ist der Stern 1 pc entfernt. Ein Parsec entspricht rund  $3,1 \cdot 10^{13}$  Kilometern oder 3,3 Lichtjahren (ly).

**Galaxien:** Galaxien oder extragalaktische Nebel sind Sternsysteme, die sich außerhalb des Bereichs der Milchstraße oder Galaxis befinden und unserem Sternsystem gleichgeordnet sind. Sie können einige Millionen, aber auch Hunderte von Milliarden einzelne Sterne enthalten. Wegen ihrer unterschiedlichen Formen werden die Galaxien in elliptische, irreguläre und Spiralgalaxien unterschieden. Es gibt auch Differenzen in der ausgesendeten Strahlung und dem Masseanteil von Gasen in den Galaxien. Die Bezeichnung erfolgt nach der Nummer in einem der drei Kataloge: Messier Katalog (m), New General Catalogue (NGC) und Index Catalogue (IC).

##### 4.2. Die Vergangenheit des Weltalls

In die Vergangenheit zurückgerechnet ergibt das Standardmodell, daß das Universum mit einem extrem heißen und komprimierten Plasma angefüllt war. Der Wissenschaftler G. Gamov benutzte den von Aristoteles geprägten Begriff „Urbrei“. Zum Zeitpunkt Null war das gesamte Universum in einem mathematischen Punkt vereinigt, man spricht von einer Singularität. Danach „explodierte“ – anschaulich gesprochen – das Universum. Dieser Vorgang wird heute als „Urknall“ oder „Big Bang“ bezeichnet. Viele neue Theorien und auch Weiterentwicklungen des Standardmodells beschäftigen sich gerade mit der ersten Zeit nach Beginn der Expansion, da im heißen Kosmos interessante Prozesse vor sich gehen, zum

Beispiel die Entstehung der Elementarteilchen und der sogenannten Protogalaxien, der Vorgänger der heutigen Galaxien. Nach der „Explosion“ expandierte das Universum ständig bis zum heutigen Zeitpunkt (siehe 4.3.). Dabei kühlte sich die Materie ab. Aber auch heute müßte man noch die Reste der ursprünglichen Strahlung nachweisen können.

Im Jahre 1965 entdeckte A. A. Penzias und R. W. Wilson, die für die amerikanische Bell Company arbeiteten, beim Probetrieb einer Radioantenne ein Rauschen im Mikrowellenbereich. Zuerst dachte man an eine örtliche Störung, weitere Messungen ergaben aber, daß die Strahlung unabhängig von der Richtung (!) aus dem Kosmos kam. Sie konnte also nicht von einem Einzelobjekt stammen. Berechnungen ergaben, daß die Strahlung der eines Schwarzen Strahlers von 2,8 K entspricht. Theoretische Vorabschätzungen für die „Reliktstrahlung“ (dieser Begriff wurde von dem sowjetischen Astrophysiker Schlowiski vorgeschlagen) sprachen von 5 Kelvin. Der Nachweis für die Reliktstrahlung war damit erbracht und damit auch der erste Beweis, der für das Standardmodell und den „heißen Anfang“ sprach.

### INFORMATIONSKASTEN 3

**Schwarzer Strahler:** Ein Schwarzer Körper absorbiert die auftreffende Strahlung vollständig. In der Praxis gibt es kein Material mit dieser Eigenschaft. Gut annähern kann man einen Schwarzen Körper mit einem Hohlraumstrahler. Die Wandungen eines Hohlraumes werden unterschiedlich erwärmt, dabei Strahlung emittiert. Nach einiger Zeit stellt sich ein Gleichgewicht zwischen emittierter und absorbierter Energie ein. Durch ein kleines Loch entweicht Strahlung, die draußen gemessen werden kann. Diese Strahlung, die der eines Schwarzen Körpers entspricht, wird als Hohlraumstrahlung bezeichnet.

**Spektralzerlegung:** Das Licht, welches wir von Objekten im All empfangen, kann man durch Spektrometer in die Spektralfarben (Violett, Blau, Grün, Gelb, Orange, Rot) zerlegen. Spektralapparate lassen sich nach ihren Wirkungsprinzipien in Prismen-, Gitter- und Interferenzspektralapparate unterteilen. In diesen Spektren werden Spektrallinien sichtbar, die bestimmten chemischen Elementen zugeordnet werden können. In der Praxis nimmt man zur Bestimmung der Rotverschiebung häufig die H- und K- Linien des Kalziums, da sie sehr deutlich sind.

#### 4.3. Die kosmische Expansion

Nach dem „Urknall“ expandiert das Universum. Die Expansion hält bis zum heutigen Zeitpunkt (10 . . . 20 Milliarden Jahre nach dem „Big Bang“) an. Dies ist eine zweite Folgerung aus dem Standardmodell, welche durch astronomische Meßergebnisse nachgewiesen werden mußte. Der Astronom Hubble entdeckte 1929 die Rotverschiebung der Galaxien. Was bedeutet das?

In der klassischen Physik ist der sogenannte Doppler-Effekt bekannt. Wenn sich ein Beobachter und eine Schallquelle relativ aufeinander zubewegen, so ist eine Frequenzerhöhung festzustellen. Umgekehrt wird die Frequenz erniedrigt, wenn eine Entfernung von Beobachter und Schallquelle vorliegt. Als Beispiel kann man sich einen Zug vorstellen, der sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit auf einen Beobachter zubewegt und ein Pfeifsignal ertönen läßt. Der Beobachter hört einen höheren Ton, als den von der Lok ausgestoßenen. Diese

Beobachtung ist anschaulich damit zu begründen, daß die am Rande stehende Person in gleicher Zeit von mehr Schwingungen erreicht wird.

Auch das Licht besitzt Welleneigenschaften. Wenn das Licht in seine spektralen Bestandteile zerlegt wird, so werden bestimmte Spektrallinien sichtbar, die bestimmten Elementen zugeordnet werden können. In Laborexperimenten können die Stellen der Spektrallinien im Spektrum des Lichts genau bestimmt werden. Wenn man diese Spektren mit denen von entfernten Galaxien vergleicht, so ist zu bemerken, daß Spektrallinien zum roten (langwelligen) Bereich hin verschoben sind. Hubble erklärte diese Rotverschiebung mit Hilfe des Doppler-Effekts. Eine Verschiebung zu größeren Wellenlängen hin bedeutet demzufolge, daß sich die Galaxien von uns entfernen. Aus der Rotverschiebung kann man auch die Geschwindigkeit berechnen, mit der sich die Galaxien von uns entfernen (Fluchtgeschwindigkeit).

Es gilt:

$$z = (\lambda - \lambda_0) / \lambda_0 = v/c$$

$\lambda$  – gemessene Wellenlänge

$\lambda_0$  – im Labor ermittelte Wellenlänge

$v$  – Geschwindigkeit der Galaxie

$c$  – Lichtgeschwindigkeit

Für Geschwindigkeiten, die in die Größenordnung der Lichtgeschwindigkeit gelangen, muß eine relativistische Formel benutzt werden. Weiterhin fand Hubble das nach ihm benannte Gesetz, welches den Zusammenhang zwischen Entfernung und Fluchtgeschwindigkeit einer Galaxie darstellt. Aus Abbildung 1 ist zu erkennen, daß die Entfernungsgeschwindigkeit der Entfernung proportional ist.

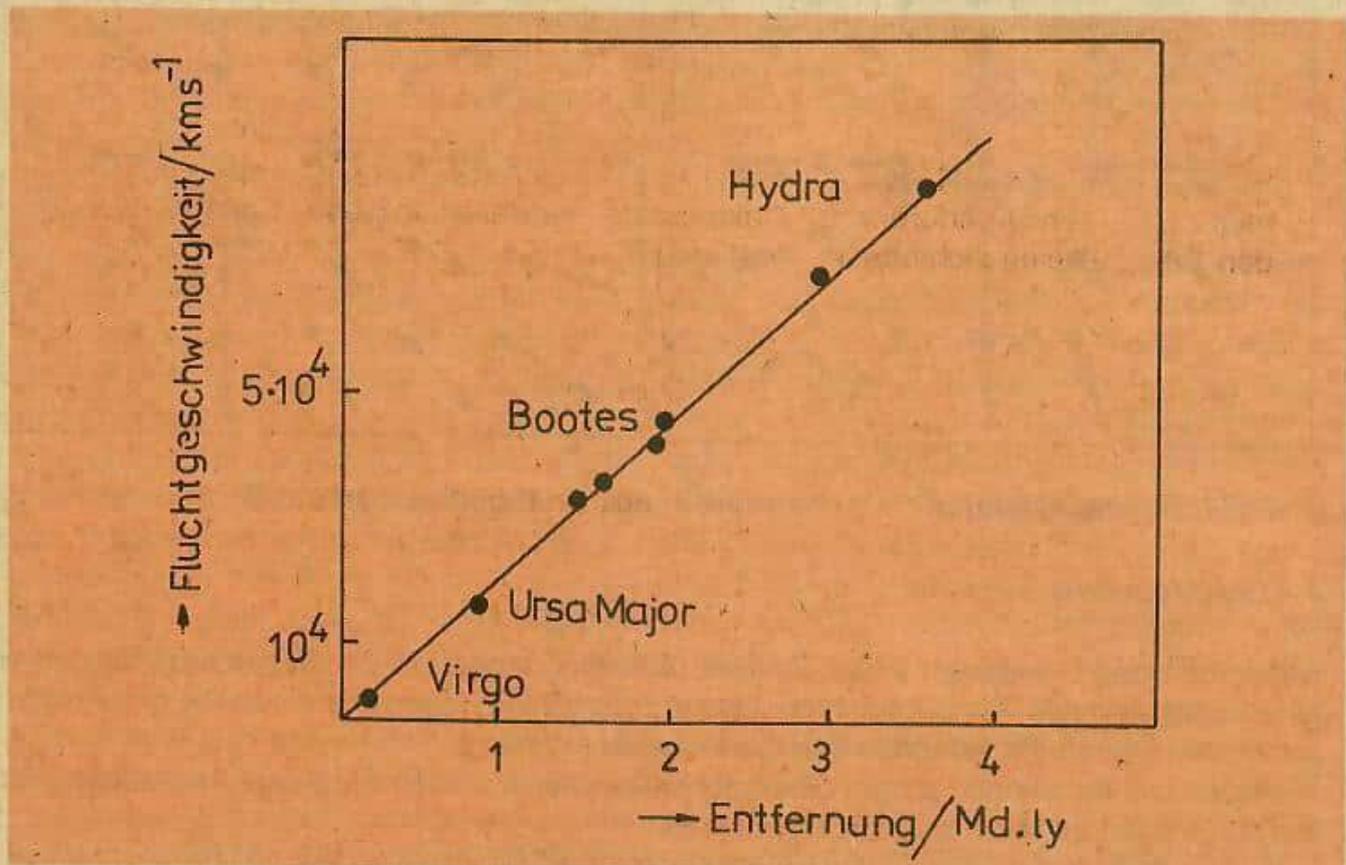


Abb. 1

Hubble führte eine Konstante ein und erhielt die Beziehung:

$$v = H \cdot R$$

v – Geschwindigkeit der Galaxie

H – Hubble-Parameter

R – Entfernung der Galaxie

Er ermittelte für H einen Wert von 525 km/(s · Mpc). Durch die genaueren Untersuchungsmethoden der heutigen Astronomie wurde der Wert korrigiert. Er liegt im Intervall 50 ... 100 km/(s · Mpc). Die Einheit von H wird in km/(s · Mpc) angegeben, da R meist in Mpc ermittelt wird. Der Wert von 1/H gibt die Dauer der Expansion seit dem Urknall an. Mit dem obigen Wert für H erhält man für das Weltalter  $T = (10 \dots 20) \cdot 10^9$  Jahre.

Wenn sich alle Galaxien von uns entfernen, könnte man zu dem Schluß kommen, daß wir uns im Mittelpunkt der Welt befinden. Dieser Schluß (der sehr an das Mittelalter erinnert) ist natürlich falsch. In Abbildung 2.1 befindet sich ein Beobachter auf der Galaxie A. Alle anderen Galaxien entfernen sich von ihm. Ein Beobachter auf der Galaxie B hat auch dieses Bild, da sich die Geschwindigkeiten vektoriell zusammensetzen (siehe Abb. 2.2). Jeder Beobachter auf einer beliebigen Galaxie hat also dasselbe Bild des expandierenden Universums und muß sich nicht zwangsläufig im Zentrum befinden.

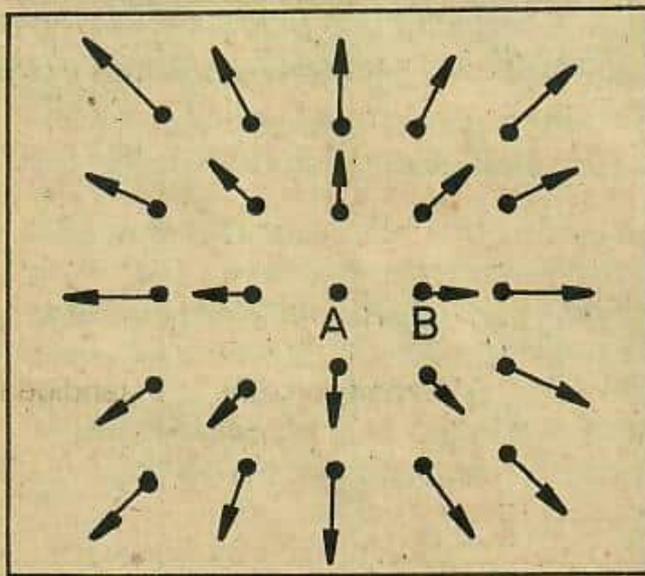


Abb. 2.1: Beobachter auf A

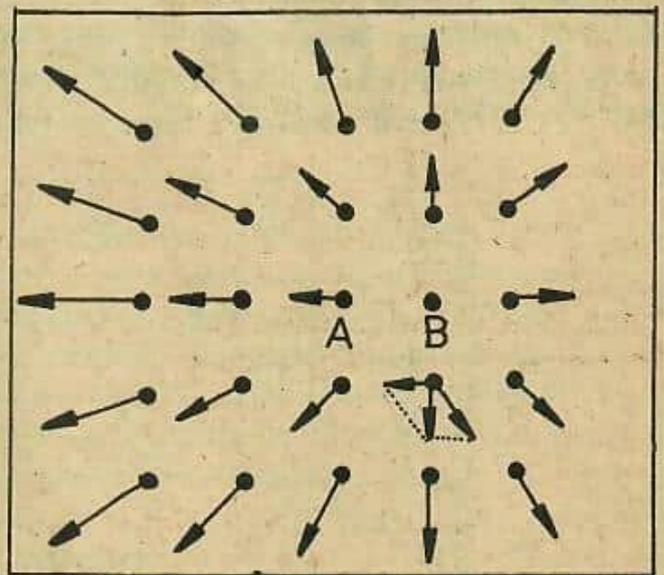


Abb. 2.2: Beobachter auf B

#### 4.4 Drei Modelle der Zukunft

Expandiert das Universum in der Zukunft unendlich lange? In der Gegenwart können wir eine Expansion des Alls beobachten. Dieser Prozeß wird allerdings durch die gegenseitige gravitative Anziehung zwischen den Galaxien verlangsamt.

Auf eine Galaxie, die sich auf der Oberfläche einer hypothetisch aus dem All herausgetrennten Kugel befindet, wirkt die Gravitationskraft

$$F = \gamma \cdot m \cdot M \cdot r^{-2}$$

(1)

Weiterhin wird durch diese Kraft eine negative Beschleunigung (Abbremsung) hervorgerufen. Es gilt:

$$F = m \cdot (-a) \quad (2)$$

Mit (1) und (2) erhält man: (3)

$$\gamma \cdot m \cdot M \cdot r^{-2} = m \cdot (-a)$$

Da  $M = \rho \cdot V$  ist und für eine Kugel  $V = 4/3 \cdot \pi \cdot r^3$  gilt, erhält man in (3) eingesetzt:

$$a = -4/3 \cdot \pi \cdot \gamma \cdot \rho \cdot r$$

F – Kraft auf die Galaxie

$\gamma$  – Newtonsche Gravitationskonstante

m – Masse einer Galaxie

M – Masse der Kugel

r – Radius der Kugel

V – Volumen der Kugel

$\rho$  – mittlere Dichte der Kugel

a – Beschleunigung

Die Abbremsung ist also der Dichte proportional. In Abhängigkeit von der mittleren Materiedichte im Universum ergeben sich verschiedene Möglichkeiten für die Expansion in der Zukunft.

**1. Fall:** Wenn die Dichte unter der kritischen Dichte liegt, so expandiert der Kosmos ewig, d. h. er ist räumlich unendlich. Weiterhin weicht die Geometrie von der Euklidischen ab. Der dreidimensionale Raum gehorcht der sogenannten hyperbolischen Geometrie. In Abbildung 3.1 ist zur Vereinfachung eine Dimension weggelassen worden. Es ist zu sehen, daß die kürzesten Verbindungen zwischen zwei Punkten keine Geraden mehr sind und die Innenwinkelsumme im Dreieck kleiner als 180 Grad ist.

**2. Fall:** Die Expansion verläuft bei  $\lambda = 0$  ähnlich dem 1. Fall, aber die bekannte Euklidische Geometrie findet ihre Anwendung.

Der 1. und 2. Fall werden auch offene Modelle genannt. Die Expansion führt zur ständigen Vergrößerung der Abstände zwischen den Galaxien, was auch Verödung genannt wird.

**3. Fall:** Eine qualitativ andere Möglichkeit würde sich für den Fall ergeben, wenn die reale Dichte über dem kritischen Wert läge. Die Expansion würde nur bis zu einem maximalen Abstand verlaufen und durch die Gravitation in eine Kontraktion umschlagen. Nach rund 60 Milliarden Jahren wäre der Frühzustand des superheißen und superdichten Universums wieder erreicht. Eine erneute Expansion ist nicht auszuschließen (oszillierendes Universum). Die Geometrie des Raumes in diesem Falle wäre sphärisch (siehe Abb. 3.3).

Abbildung 3.4 stellt den Zusammenhang zwischen der Dichte und dem Expansionsverhalten der verschiedenen Modelle dar.

Wie berechnet sich die kritische Dichte? Man stelle sich wieder eine Kugel mit genügend großem Radius vor, so daß die Materieverteilung innerhalb der Kugel annähernd homogen ist, auf deren Oberfläche sich eine Galaxie befindet. Die Kugel übt auf die Galaxie eine Gravitationskraft aus. Um diese zu überwinden und die Kugeloberfläche für immer zu verlassen, muß ein Körper die (zweite) kosmische Geschwindigkeit besitzen:  $v = (2 \cdot \gamma \cdot M/r)^{1/2}$  (4)

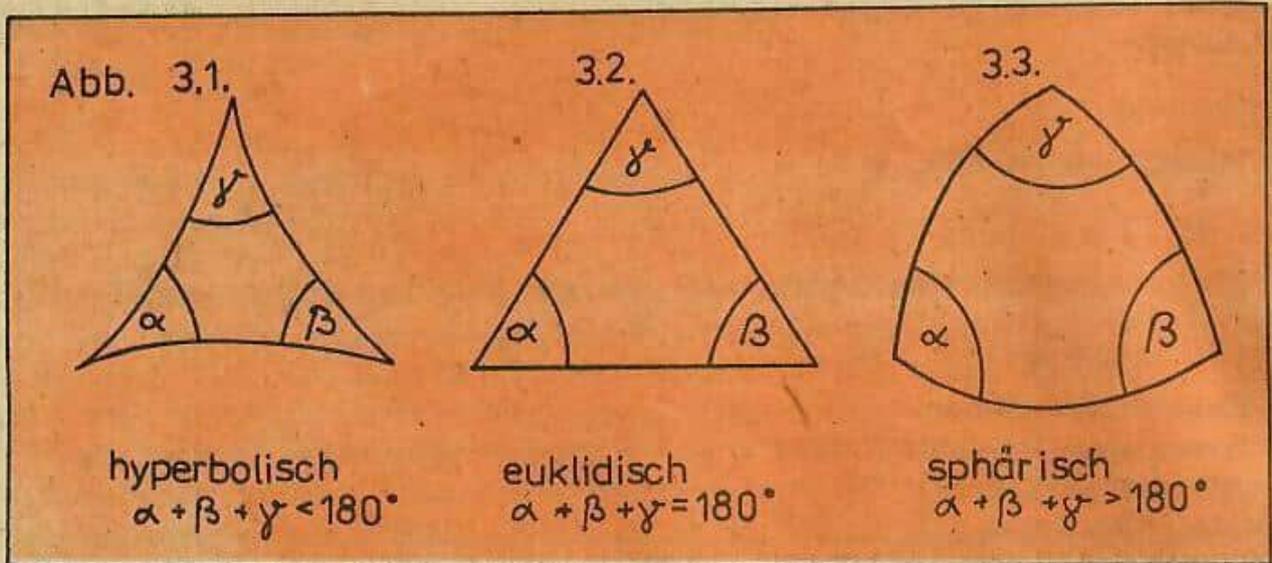


Abb. 3.1, Abb. 3.2, Abb. 3.3

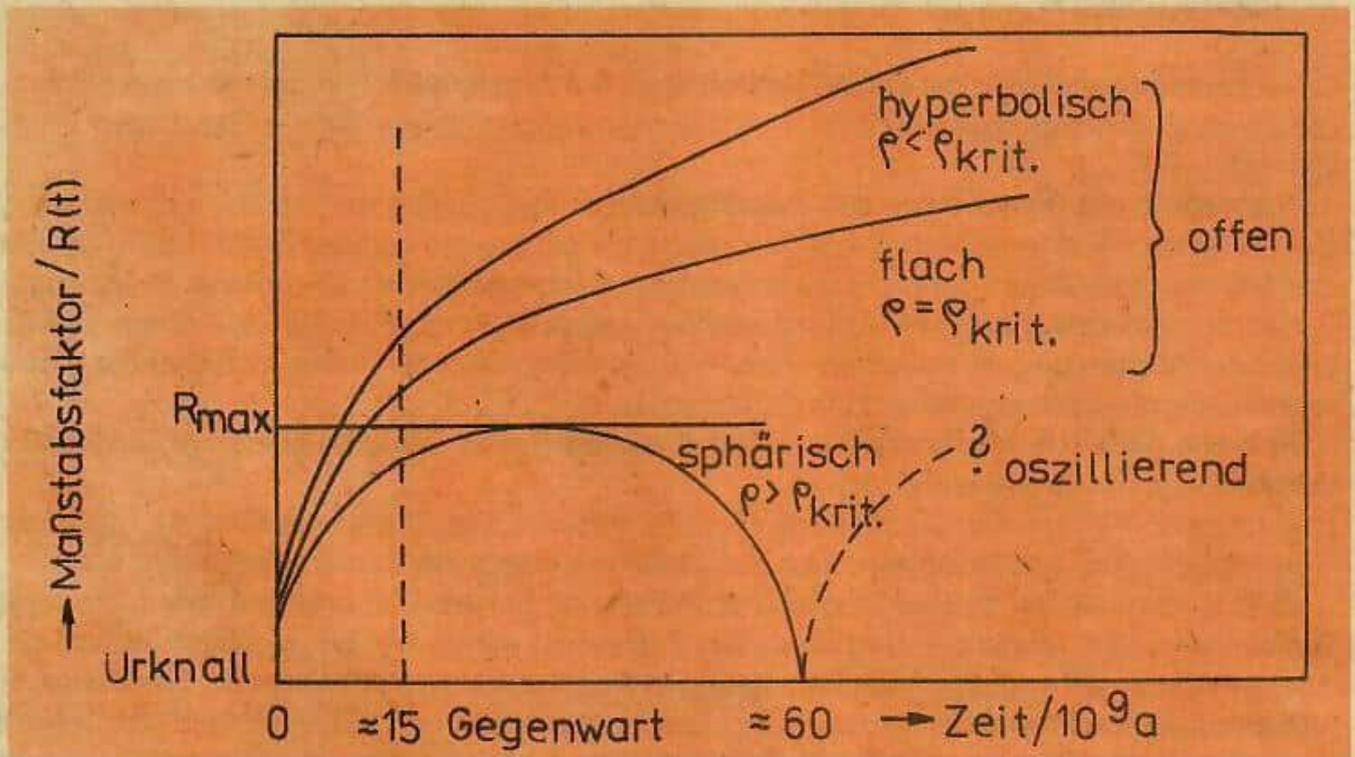


Abb. 3.4

Weiterhin sieht ein Beobachter im Zentrum der Kugel, daß sich die Galaxien mit

$$v = H \cdot r \tag{5}$$

entfernen. Mit

$$M = \rho \cdot V \tag{6}$$

$$\text{und } V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \tag{7}$$

in (4) und gleichgesetzt erhält man

$$H \cdot r = ((2 \cdot \gamma \cdot 4 \cdot \pi \cdot \rho \cdot r^3)/(3 \cdot r))^{1/2}.$$

Umgestellt nach der Dichte:

$$\rho_{\text{krit.}} = (3 \cdot H^2)/(8 \cdot \gamma \cdot \pi)$$

Mit  $H = 75 \text{ km}/(\text{s} \cdot \text{Mpc})$  erhält man  $\rho_{\text{krit.}} = 10^{-29} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ .

Die Frage drängt sich auf, welche mittlere Materiedichte in Wirklichkeit vorliegt. Diese Frage kann nicht eindeutig beantwortet werden. In der Vergangenheit wurden von den meisten Wissenschaftlern Werte von  $\rho = (0,1 \dots 1) \cdot \rho_{\text{krit.}}$  angegeben. Seit einiger Zeit sind aber Untersuchungen zur Bestimmung der Ruhemasse von Neutrinos im Gange. Neutrinos sind Elementarteilchen, die sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegen und kaum in Wechselwirkung mit der Umgebung treten. Sie sind im Kosmos in großer Menge vorhanden. Würden die Neutrinos eine Ruhemasse besitzen, wie es vorläufige Experimente des Instituts für Experimentelle und Theoretische Physik der Akademie der Wissenschaften der UdSSR besagen, so wäre die Endkonsequenz die Bestätigung des geschlossenen Modells.

Das Literaturverzeichnis für diesen Beitrag kann bei der Redaktion angefordert werden.

### Schülerpreis der Physikalischen Gesellschaft 1990

an *Alexander Düring*

und *Christian Hecht*

Erweiterte Spezialoberschule „Georg Thiele“

Kleinmachnow

mit einer Arbeit zum Thema

„Computergestützte Meßwerterfassung und Temperaturregelung für Thermisch Stimulierte Ströme“

betreut von

Dr. Peter Frübing, Pädagogische Hochschule „Karl Liebknecht“

Potsdam, Sektion Physik

In ihrer Arbeit entwickelten die beiden Schüler zur Laborautomatisierung Software für die computergestützte Meßwerterfassung und Temperaturregelung Thermisch Stimulierter Ströme in Isolierschichten. Hierzu muß eine elektrische Spannung in Abhängigkeit einer sich definiert verändernden Proben temperatur gemessen werden. Die entwickelte Software besteht im wesentlichen aus zwei Programmpaketen in U880-Assemblersprache

- dem Meßwerterfassungsprogramm, welches die Meßdaten automatisch erfaßt, die Meßkurven glättet und selbständig den günstigsten Meßbereich am Spannungsmeßgerät wählt
- und dem Temperaturregelprogramm, das der Erzeugung definierter Temperatur-Zeit-Verläufe dient.

Beide Programme sind aufeinander abgestimmt, modular aufgebaut und laufen voll auf Interruptbasis. Dadurch gestatten sie sowohl den einzelnen als auch den simultanen Ein-

(Fortsetzung auf S. 29)

## Wissenschaftler im Kreuzverhör

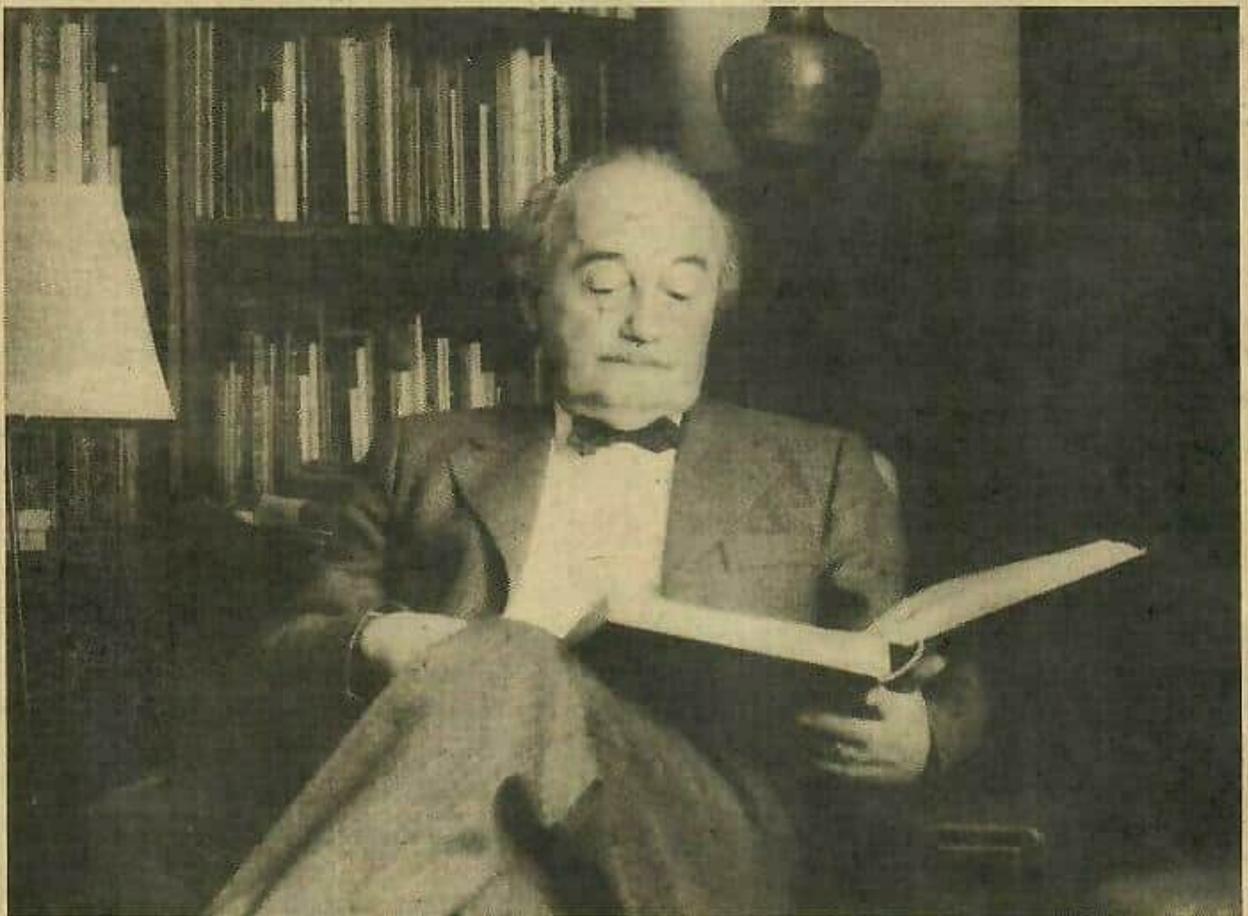
### Heute: Prof. Dr. B. Wächter

Hier nun ein weiterer Beitrag der in Heft 2/89 wieder begonnenen Vorstellung von Hochschullehrern. Das damals geführte Interview mit Prof. Hehl hatte uns (und nicht nur uns) einigen Ärger mit dem Bildungsministerium eingebracht. Daraus erklärt sich die lange Zeitspanne bis zum Erscheinen eines neuen Beitrages.

Prof. Wächter gehört zu den in Jenas Studentenkreisen bekanntesten und geachtetsten Professoren. So hoffen wir, daß seine Ansichten Euer Interesse finden, auch wenn sie mit Physik, Biologie oder Chemie nur indirekt etwas zu tun haben.

### Zur Person:

Prof. Dr. B. Wächter war bis zu seiner Emeritierung am 9. 9. 1989 außerordentlicher Professor der Kunstgeschichte an der Sektion Literatur- und Kunstwissenschaft der FSU Jena. Er ist Mitinitiator, von 1971–1989 Leiter des Kulturpraktikums verschiedenster Fachrichtungen, meist des 1. Studienjahres der FSU. Durch öffentliche Vorlesungen (z. B. über van Gogh, Barlach, Picasso) sowie zahlreiche Vorträge ist er in Jena und darüber hinaus besonders in Thüringen bekannt.



*impuls 68:* Werter Prof. Wächter, zu Beginn möchten wir Sie bitten, unseren Lesern Ihren beruflichen Werdegang und die dabei für Sie entscheidensten Erfahrungen darzustellen.

*Prof. Wächter:* Am Gymnasium C. A. zu Jena erhielt ich die für mich wahrscheinlich optimale

Schulbildung. Neben umfangreichem Wissen wurden mir humanistische Gesinnung und Toleranz vermittelt. Das Elternhaus verstärkte diesen Einfluß: Mein Vater war Freimaurer. Mein Hauptinteresse galt trotz meiner Liebe zu den alten Sprachen (Latein schult Rhetorik und Logik, Griechisch mehr das Ästhetisch-Emotionale), der Musik, der Literatur und der Geschichte. Was über den Rahmen des Schulstoffes hinausging, wurde an der Schule zusätzlich gefördert (Orchester, Schüler-Geschichtsverein) oder von mir selbständig angefaßt. Vom Frühjahrssemester 1944 (Studienerlaubnis, da schwerkriegsbeschädigt) bis zum Herbst 1949 studierte ich an der FSU Jena, die ersten beiden Semester Theaterwissenschaft und Germanistik, dann nach einem achtwöchigen „Seitensprung“ in juristische Gefilde nach der Wiedereröffnung vorwiegend Germanistik, zeitweise dazu Geschichte und Lateinisch, vom 5. bzw. 6. Semester an das Hauptfach Kunstgeschichte und die Nebenfächer Klassische Archäologie und Deutsch.

Das Studium der Kunstgeschichte bedeutete damals ein Risiko. Bis kurz vor meinem Diplom war dieses Fach in der ehemaligen sowjetischen Besatzungszone für einen Prüfungsabschluß nicht zugelassen. Aber das Studium machte Freude, das war wichtiger als „Sicherheit“ im Sinne einer „Rentnerideologie“. Die Engagiertheit meiner akademischen Lehrer Lottlisa Behling (Kunstgeschichte), von der solide Handwerklichkeit und der Blick für größere Zusammenhänge zu lernen waren, Edgar Lehmann (Kunstgeschichte) mit seiner akribischen Exaktheit als Architekturspezialist und Ludger Alscher (Klass. Archäologie) mit seiner großen Begeisterungsfähigkeit steckte an. Dem Studenten wurden einige Stunden einer Hauptvorlesung überantwortet: Förderung durch Forderung. Mein Überwechseln zur Kunstgeschichte scheint unmotiviert, ist es aber nicht. Musik, Lyrik und Bildende Kunst haben im Sinne des Hesse'schen Glasperlenspiels einen gemeinsamen Grund. Meine Musikalität (absolutes Tongehör, Geiger seit 5 1/2 Jahrzehnten) ermöglichte mir mit dem Zugang zum „Künstlerischen an der Kunst“ das erfolgreiche, freudige, freilich mit intensiver Arbeit verbundene Einbringen der jugendlichen Wißbegier in das nur scheinbar neue Fachgebiet in relativ kurzer Frist. Meine wichtigsten Grunderfahrungen aus der Studienzeit: Die Möglichkeiten zum Wechsel, zum Ausprobieren dessen, wo die eigene Stärke liegt, sollten ausgeschöpft werden. Und: Eine Sache beginnt dann wirklich Freude zu machen, wenn man vom spielerischen Beginn zur ernsthaften Arbeit durchdringt. Je profunder das Wissen, um so tiefer die Beglückung. In meinem Falle kommt hinzu das Erfahren der Möglichkeit, Wissen und Empfinden im Ästhetischen vereinen zu können.

Durch meine Heirat mit Roswitha Dietz (Buchhändlerin, Kunstgeschichtsstudentin, voll leidenschaftlicher Anteilnahme an meiner beruflichen Entwicklung) kam ich in Verbindung mit dem von ihrem Vater geleiteten Greifenverlag. Für 1 1/2 Jahre vertauschte ich meine Stelle als Hilfsassistent in Jena mit der eines Lektors in Rudolstadt. Das Kennenlernen der mir bis dahin nicht vertrauten Wandervogel-Mentalität im Hause Dietz, das Mitarbeiten am humanistisch-aufklärerischen Profil dieses privaten Verlages, das Miterleben kultureller Prozesse (mit all ihren Ecken und Kanten, denen verlegerisches kulturpolitisches Wirken ausgesetzt war) erweiterte meinen Horizont und bereicherte spürbar meine Literaturkenntnisse und mein kulturhistorisches Wissen.

Als Kunsthistoriker wurde ich 1952 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Jenaer Universität, erst wissenschaftlicher Assistent, Lehrauftrag und Promotion (über Barlach) folgten bald, dann Oberassistent, Wahrnehmungsdozent, wieder Oberassistent und schließlich außerordentlicher Professor.

Bis 1958 waren noch Hauptfächer auszubilden, seither ausschließlich Nebenfächer besonders der Fachrichtung Klassische Archäologie. 1960 hielt ich meine erste public- (öffentliche)

Vorlesung, 1989 meine (vorläufig) letzte. Anfangs gab es wenige Hörer, später viele. Im „Territorium“ (so nannte man das damals) hielt ich viele Vorträge und nahm gern an der Arbeit besonders im Kulturbund und im Künstlerverband teil, da ich „mit meinem Pfunde wuchern“ wollte. Die Resonanz beim Publikum war gut, bei den Funktionären unterschiedlich. Es gab Ehrungen, aber auch einmal ein Jahr Redeverbot in der Öffentlichkeit. Mancher Einsatz für wesentliche Dinge blieb erfolglos, mancher glückte. Daran, daß das collegium jenensé noch steht, habe ich einen nicht unwesentlichen Anteil. Seit es das Kulturpraktikum an der FSU gab (1969), nahm ich daran teil, seit 1971 als dessen ständiger Leiter. Darüber wird später etwas zu sagen sein. Auch Publikationen gab es (u. a. über Felixmüller, Geißler, Hasse, Hodler, Grundig, Zitzmann), doch nur wenige, da die Zeit meinen Forschungen nicht grün war und da ich zudem erkannte, daß ich mehr zum Pädagogen und Redner geeignet war.

Grunderfahrung: Lehren heißt nicht Referieren, sondern Bekennen.

*impuls 68:* Welchen Wert messen Sie der sogenannten „ernsten Kunst“ in der Schulbildung und Erziehung bei?

Welche Probleme sehen Sie bei der Befähigung aller Schüler, sich mit Kunstwerken und -werten auseinanderzusetzen?

*Prof. Wächter:* Ich würde „U-Kunst“ und „E-Kunst“ nicht voneinander trennen wollen. Die Übergänge sind fließend, das Element des Spielerisch-Schöpferischen ist beiden gemeinsam. Also besser: Kunst. Für mich ist der musisch-ästhetische Faktor besonders in zweierlei Hinsicht für Schulbildung und Erziehung von grundsätzlicher Bedeutung:

a) Er dient der Sensibilisierung, der Erziehung der Gefühle, dem Kennenlernen oder zumindest Erahnen der „Zwischentöne“, die dem „Skelett“ einer nur reflektorisch, primär begrifflich erfaßten Welt Fleisch und Blut verleihen. Das Leben läßt sich nicht mit der Formel „Schwarz-Weiß“ erfassen, soll nicht das differenziertere, reichere Eigentliche und Eigene überhört werden und eine gefahrdrohende Primitivierung ausufern.

b) Er fördert in hohem Maße die Kreativität, die Phantasie, die Lust des Entdeckens und Erfindens.

So ist das Musisch-ästhetische ein unentbehrliches Ferment im Gesamthaushalt des Menschen als geistig-schöpferisches Wesen.

Ein schwer, mitunter kaum lösbares Problem ist es, die Befähigung aller Schüler, sich mit Kunstwerken und -werten auseinanderzusetzen, gleichermaßen zu wecken bzw. zu fördern. Die mitgebrachten Voraussetzungen aus dem Elternhaus und die Anlagen und Begabungen sind unterschiedlich, verschieden sind auch die Wege, die dazu führen, den einzelnen „aufzuschließen“. Hier wird viel Behutsamkeit und individuelles Einfühlungsvermögen vom Pädagogen gefordert. Zudem sind die Kunstgattungen anfänglich unterschiedlich zugänglich. Am leichtesten wird sich das Künstlerische an der Musik erschließen (die Gründe näher auszuführen, verbietet der Zeitfonds). Hier gibt es keinen „Bruch“ der Entwicklung durch die Einschulung; aber es gibt nun leider mal auch unmusikalische Menschen. Schwieriger gestaltet sich das Aufnehmen von bildender Kunst, da hier das Wissen (sich auswirkend in bloßer Naturnachahmung und Illustration von Sachverhalten) zum Feind des Empfindens und der schöpferischen Phantasie – die ursprünglich in den meisten Kindern angelegt ist – werden kann. Meist entwickelt sich die Bereitschaft, die ästhetische Gestaltung z. B. eines Bildes anzunehmen und selbst zu versuchen, erst wieder neu in bzw. nach der Pubertät. Und in Deutsch fällt das Nachspüren der gestalterischen Werte (z. B. eines Gedichtes) nur allzu oft der reinen Information, dem Erkennen der „Fabel“ zum Opfer. Das leichteste und zugleich falscheste ist der Slogan „Was sagt uns das?“, der in den vergangenen Jahrzehnten in den

Schullehrbüchern dominierte, Kunst-Erleben zum vulgärmaterialistischen „Wissenserwerb“ degradierte und Zugänge zum eigentlich Künstlerischen blockierte. Gute Kunsterzieher, und die gab es immer, hatten es dadurch besonders schwer. Kunsterlebnis und -produktion verlangen innere Bereitschaft, Lockerheit, aber ebenso Stille und meditative Gestimmtheit. Eine Stunde in der Woche (und meist noch die sechste) kann da wenig bewirken. Ist die „Einstimmung“ erreicht, ertönt die Klingel. Gut wäre es, Dichtung, Musik und Malen oder Kunstbetrachtung zu verbinden, einen „musischen Vormittag“ – oder wenigstens 2–3 Stunden in Folge – zum inneren Erlebnis werden lassen zu können und auch einmal den Versuch zu unternehmen, den ästhetischen Gehalt „nichtmusischer“ Fächer anklingen zu lassen. Das läßt sich schwer in Stundenplänen festschreiben – und doch scheint mir das der erstrebenswerteste, wenn auch mit Sicherheit anfangs mit vielen Mühen der Erzieher verbundene Weg.

*impuls 68:* Unsere Zeitschrift wendet sich vor allem an naturwissenschaftlich interessierte Schüler. Wie bewerten Sie das Verhältnis des Naturwissenschaftlers zur Kunst und sehen Sie dieser Rolle an unseren Oberschulen Rechnung getragen?

*Prof. Wächter:* Häufig ist das Verhältnis des Naturwissenschaftlers zur Kunst (Musik, bildender Kunst, Literatur) von produktiver Neugier geprägt. Bei älteren Schülern und Studenten ist dies ursprüngliche Interesse an der für manche ein wenig „exotischen“ Welt verbunden mit dem Bestreben, mögliche Vereinseitigung („Fachidiotie“) zu vermeiden und die Allgemeinbildung auszuweiten. Hinzu kommt die Freude am Tun, am Sich-Ausprobieren. Der Weg wird meist erst über das praktische Handeln gehen, um dann zum sensiblen Nachvollziehen zu gelangen. Ferner ist weithin bekannt, daß z. B. 90 % der Nobelpreisträger und immerhin über 80 % der DDR-Nationalpreisträger für Physik sich ernsthaft und erfolgreich mit den verschiedensten Künsten befaßt haben. Kreativität auf musikischem Gebiet entbindet Kreativität schlechthin. So ist z. B. in den Kulturpraktika die Bereitschaft, sich mit den Künsten zu befassen, gerade bei Naturwissenschaftlern (besonders Physikern) auffallend verbreitet.

Die Lehrpläne der Oberschulen tragen diesem Bedürfnis keineswegs Rechnung. Das Stundenvolumen gerade der naturwissenschaftlichen Fächer ist z. Z. so hoch, daß es besser schiene, ein wenig von hierfür zum Lernen (und mechanischen Nachmachen) veranschlagte Zeit auf Fächer zu verlagern, die dem Erfinden und dem Sichselbstfinden gleichermaßen dienlich sind. Aber die Dinge an den Schulen (auch die Frage des Zeitpunktes der Trennung von Oberschule und Allgemeinschule) sind im Fluß, und es heißt hoffen.

*impuls 68:* Für viele Absolventen der Jenaer Universität verbindet sich Ihr Name mit einer der schönsten Phasen ihres Studiums – dem Kulturpraktikum. Was hat Sie 1969 bewogen, dieses Praktikum ins Leben zu rufen und wie erklärt sich seine unverminderte Beliebtheit? Gibt es solche Praktika auch an anderen Universitäten unseres Landes?

*Prof. Wächter:* Zuerst sei das Kulturpraktikum in kürzester Form vorgestellt: „Ästhetische Bildung und Erziehung vermittelt u. a. das Kulturpraktikum. Es findet als zweiwöchiger Lehrgang seit 1969 in einer Jugendherberge (meist der Leuchtenburg) statt . . . Vier Stunden praktischer Arbeit, nach Wahl in den Gruppen Musik, Bildende Kunst, Dramatik, Lyrik/Kurzprosa, Fotografie u. a., zweimal gemeinsames Singen, Vorträge – einführend und aktuell –, Diskussionen, Kunsterlebnisse und selbstgestaltete Feste gliedern abwechslungsreich den Tag. Sie weiten den Horizont, machen sensibler, stärken das Kollektiv und das Selbstbewußtsein des einzelnen, wecken das Schöpferische und ermöglichen eine vollständigere Integration in das Leben unserer Zeit. Die Erfolge sind groß, der Gewinn ist bleibend, ernsthafte Arbeit wird als Vergnügen erlebt. Das „Kupra“ ist populär. Damit sind Anliegen und Grundstruktur genannt, zu der auch das Abschlußprogramm, auf das alle Gruppen hinarbei-

ten, hinzukommt. Es ist eine ernst genommene Bewährungssituation, auch wenn Heiteres geboten wird, Lampenfieber und Angenommensein, Selbstbestätigung und staunendes Erleben, was schöpferische eigene Arbeit für andere (die Öffentlichkeit) bedeuten kann, gehören dazu. Freilich ist das nur ein Teil des Erarbeiteten und Erlebten. Der tatsächliche Gewinn für den einzelnen wie das Kollektiv ist umfassender und vielschichtiger.“

Das fast unveränderte Zitat stammt aus der UZ Nr. 9/1989 (Universitätszeitung), in der ich einen umfangreichen Artikel über das „Kupra“ veröffentlichte, in dem für den Interessenten weitere, erschöpfende Informationen enthalten sind. Die Idee des „Kupra“, an dem ich anfangs „ex officio“ (pflichtgemäß) und sehr gern teilnahm und dessen Leitung und Ausbau ich zwei Jahre später (neben meiner „eigentlichen“ beruflichen Tätigkeit) übernahm, hatte mich, der ich an allen Künsten fast gleichermaßen interessiert bin, von vornherein begeistert. Zugleich füllte das, was wir taten, eine große Bedarfslücke: Den Wunsch junger Menschen, Freiräume zu haben und in der Beschäftigung mit den Künsten sich als Individualität zu erleben, etwas zu dürfen, angenommen zu sein und nicht immer zu müssen, ihren Drang nach Horzonterweiterung und nach Geselligkeit in einem hohen, selbst bestimmten Niveau des gegenseitigen geistigen Austausches, ihr Bedürfnis, mit einem originellen Lehrkörper in Kontakt zu kommen, der durch Wahrhaftigkeit und Herzlichkeit gekennzeichnet war. Das Zusammensein mit jungen Menschen und deren unverstellte Dankbarkeit war für mich beglückend, das Kennenlernen von Mitarbeitern aus anderen Fachdisziplinen und das Zusammenarbeiten mit ihnen schön und bereichernd. Es fällt mir schwer, nicht weiter zu schwärmen.

Die Beliebtheit des Praktikums erklärt sich wesentlich aus dessen o. a. Anliegen und Struktur, vielleicht habe ich auch mit meiner Freude im Praktikumsverlauf ein wenig ansteckend gewirkt. Natürlich waren technische Vorbereitungen u. a. notwendige bürokratische Dinge anstrengend und immer wieder aufregend – das „Kupra“ selbst war stets anregend und voller Charme. Daß dies in den bürokratisch eingeengten, heute „stalinistisch“ genannten Zeiten einen besonderen Glanz in den Studentenalltag brachte, wird den Reiz der Veranstaltung sicher noch erhöht haben.

Das „Jenaer Modell“ wurde einmal an der Berliner Humboldt-Uni mit großem Erfolg ausprobiert – aber dabei blieb es, wohl auch, weil Wissenschaftler (wie mir einmal einer gestand) sich nicht eben gern öfters in einer Herberge aufhalten wollten. Allerdings gibt es in Berlin andere, großartige künstlerische Erlebnisse. Anderenorts hinderten technische und finanzielle Gründe (auch Studienjahres-Ablaufpläne) ein Praktikum des Jenaer Stils. Aber kürzere „Kupras“ gibt es gelegentlich, besonders an Technischen Hochschulen (z. B. Ilmenau), doch konnte meines Wissens nirgendwo eine Jena vergleichbare Kontinuität entstehen.

*impuls 68:* Also auf jeden Fall ein Grund, in Jena zu studieren!

Prof. Wächter, durch Ihre Vorlesungen und Vorträge genießen Sie nicht nur unter den Jenaer Studenten, sondern auch darüber hinaus große Popularität. Verraten Sie unseren Lesern Ihr „Erfolgsrezept“?

*Prof. Wächter:* In einen guten Vortrag muß ebensoviel Zeit und Kraft investiert werden wie in eine Publikation. Da aber eine „Rede“ keine „Schreibe“ ist, seien einige Gesichtspunkte bei der Vorbereitung und Durchführung aufgeführt:

- Auswahl eines Vortragsthemas, für das man sich innerlich erwärmen kann oder das einen wenigstens lebendig interessiert. Das Interesse kommt übrigens nach intensiver Beschäftigung bei mehr Themen als man ursprünglich annimmt,
- gründlichste fachliche Vorarbeit, damit man 90% mehr weiß, als man im Vortrag oder der publice-Vorlesungsstunde zu sagen vorhat. Der Hörer hat ein Gespür dafür, ob aus der

- Fülle oder aus der Armut heraus gesprochen wird,
- 4–6 Stunden vor dem Vortrag nichts mehr essen, um die nötige Sensibilität für das „Aufschließen“ der Kunstwerke und das (innerliche) „Wahrnehmen“ der Reaktionen der Hörer zu haben (vielleicht für andere nicht nötig, wohl aber für mich),
  - einstellen auf den vermutlichen Erwartungshorizont der Hörer, ohne sich dabei gegen das heilsame Lampenfieber zu wehren,
  - den Vortrag selber frei und so locker als möglich halten. Die Mühe des Erarbeitens darf nicht spürbar sein. Das Manuskript sind Dia-Folge und eventuell ausgewählte Zitate,
  - sofortiges Reagieren auf die Zuhörer: schnell weitergehen, wenn man mit dem vorbereiteten „offene Türen einrennt“, erneut und von anderer Seite her interpretieren und vertiefen, wenn Unverständnis zu spüren ist,
  - stets den Wunsch verspüren, das, was für mich ein Erlebnis ist (sei es die Interpretation eines Kunstwerkes oder das Vortragen eines tiefen oder erregenden Gedankens) den Hörern und Betrachtern ebenfalls zum Erlebnis zu machen, d. h. eine ähnliche Mittlerstelle einzunehmen wie ein Dirigent,
  - Wahrhaftigkeit, auch wenn sie nicht opportun sein sollte, so daß der Hörer miterlebt, daß der Vortragende zugleich Bekenner ist (Professor stammt von lat. profiteri – bekennen),
  - dabei jedoch darauf verzichten, die eigene Meinung als einzige Interpretationsmöglichkeit dem Hörer aufzuzwingen,
  - mitunter einzelne Sachverhalte so „vorexerzieren“, daß der Hörer in die Entstehung und Fortführung eines Gedankens einbezogen wird,
  - dennoch nicht prinzipiell referieren, d. h. das Vorgetragene nicht nur wissen, sondern es im Vortrag selbst emotional intensiv erleben, d. h. aber: auch in keinem Wiederholungsvortrag eine Kopie, sondern stets wieder ein Original in Form einer Replik geben,
  - nie den Rapport zum Publikum abreißen lassen,
  - rhetorische „Tricks“ anwenden: z. B. Wechsel im Vortrag von laut und leise, schnell und langsam, Einsatz von Pausen. Ist der Kontakt zum Hörer da, braucht über diese rhetorischen Mittel nicht mehr nachgedacht zu werden, sie wirken im Unterbewußtsein,
  - Einflechten von Lebensmaximen, auch zur Auflockerung, wo es sich anbietet, wobei spontan zu verfahren ist – eine lang zuvor erdachte Pointe wirkt eher peinlich als zündend,
  - möglichst eine poetische Natur sein und zu allem noch Charisma haben. Aber dies ist nicht zu erlernen.

*impuls 68:* Welche Wünsche hat Prof. Wächter für die Zukunft?

*Prof. Wächter:* Der erste Wunsch ist, noch eine Welt des Friedens zu erleben, in der Brüderlichkeit, Humanismus und Toleranz herrschen und in der zu leben ein Glück für Kinder und Enkel ist. Der zweite gilt dem Reisen an Stätten, die ich, da ich kein „Reisekader“ war, während der „Mauer-Zeiten“, d. h. 28 Jahre lang, nicht kennenlernen konnte: z. B. Paris, die Provence, Florenz, Rom, Wien, Köln oder Antwerpen. Die Kunstschatze der DDR und Osteuropas habe ich betrachten können (z. B. 5mal Ermitage), nun soll wenigstens ein Teil des im Westen Versäumten nachgeholt werden, solange Gesundheit, Aufnahmefähigkeit und die Mittel reichen.

Drittens wünsche ich mir geistige Frische, die mich nützlich sein läßt solange ich lebe und ein Ende, das mich niemandem zur Last fallen läßt.

*impuls 68:* Prof. Wächter, wir möchten uns diesen, Ihren Wünschen anschließen, wobei wir auch nicht ganz uneigennützig an mögliche kommende Vorträge und Vorlesungen Ihrerseits in Jena denken, und uns ganz herzlich für die Zeit, die Sie sich für unsere Fragen genommen haben, bedanken.

**Nobelpreis für Chemie 1989**

Den Nobelpreis für Chemie 1989 teilten sich Sidney Altman und Thomas Cech für ihre unabhängig voneinander gemachte Entdeckung der katalytischen Aktivität von Ribonucleinsäuren (RNA). Bis zur Veröffentlichung der Ergebnisse von Altman und Cech 1982/83 galt die allgemeine Auffassung, daß Enzyme stets Eiweiße seien, die mehr oder weniger komplex aus einem oder mehreren Polypeptiden aufgebaut sind. Enzyme sind bekanntlich die in den Zellen höherer oder niederer Organismen alle Stoffwechselprozesse hochspezifisch katalysierenden Stoffe. Die Synthese der Enzyme in den Zellen erfolgt nach entsprechenden „Bauplänen“, die als Sequenz der 4 verschiedenen Nukleotide der Desoxyribonucleinsäure (DNA) in den Genen festgelegt sind. Die genetische Information wird bekanntlich in die Sequenz der RNA-Moleküle umgeschrieben und im Prozeß der Proteinsynthese in die Aminosäuresequenz der Polypeptide übersetzt. Man sah in den RNA-Molekülen folglich nur Faktoren für Herstellung und Aufrechterhaltung bestimmter Strukturen, an denen dann Proteine ihre enzymatische Wirkung entfalten. Die aus nur vier verschiedenen Nukleotiden aufgebaute RNA schien strukturell als viel zu wenig variabel (Proteine dagegen sind aus 20 verschiedenen Aminosäuren zusammengesetzt), um für die hohen Anforderungen an ein Enzym geeignet zu sein. Dahingehend waren die Entdeckungen der beiden Anfang der 80er Jahre eine echte Sensation.

Sidney Altman und seine Mitarbeiter beschäftigten sich bereits seit den 70er Jahren mit dem sogenannten Processing („Reifung“) von transfer-RNA (tRNA). Die bei der Synthese an der DNA zunächst entstehenden Präkursor (Vorläufer) -RNA's sind in den meisten Fällen noch nicht funktionell aktiv und bedürfen unterschiedlichster Veränderungen (Processing), um zu „reifen“ RNA's zu werden. Präkursoren der tRNA's sind viel größer als die reifen tRNA's und müssen deswegen an beiden Enden gekürzt werden. Enzyme, die die RNA abbauen, werden Ribonucleasen genannt.

S. Altman und Mitarbeiter untersuchten die Ribonuclease P, die insbesondere bei den Bakterienarten *Escherichia coli* und *Bacillus subtilis* gut analysiert sind, und die aus einer Protein- und einer tRNA-Untereinheit bestehen. 1983 lieferten sie die experimentellen Beweise dafür, daß der katalytische Prozeß der Kürzung der prä-tRNA selbständig durch die RNA-Untereinheit möglich ist.

Thomas Cech und seine Mitarbeiter beschäftigten sich mit dem Prozeß des Spleißens von prä-RNA's. Man versteht darunter das Herausschneiden von Nucleotidsequenzen, die keine Rolle für die Proteinsynthese (Introns) aus der prä-RNA spielen. Die verbleibenden Nucleotidsequenzen mit der genetischen Information (Exons) müssen danach wieder miteinander verbunden werden. Th. Cechs Arbeitsgruppe verfolgte das Spleißen von prä-ribosomaler- (r)RNA der Einzellerart *Tetrahymena thermophila*.

1982 veröffentlichten sie die Beweise dafür, daß das Herausschneiden des Introns und das Verknüpfen der Exons spontan ohne Anwesenheit von Proteinen erfolgt. Beim Selbstspleißen der prä-rRNA war allerdings die Bedingung so, daß ein Katalysator oder Enzym nach erfolgter Reaktion unverändert vorliegt, nicht erfüllt. Bei ihrer weiteren Arbeit konnte Cechs Gruppe zeigen, daß sich das herauschneidende Intron weiteren Veränderungen unterziehen kann, bis ein „Intronkern“ übrig bleibt. Dieser ist zu verschiedenen katalytischen Reaktionen ohne Veränderung des Moleküls selbst fähig, so z. B. zur Synthese von kurzen RNA-Molekülen. Inzwischen sind weitere Arten von Ribozymen (RNA's mit katalytischer Aktivität) entdeckt worden, und es zeichnet sich auch ein breites Anwendungsgebiet ab. So z. B. für Ribozyme, die in der Lage sind, bestimmte Nucleotidsequenzen zu erkennen und zu

schneiden. Das sequenzspezifische Schneiden sollte krankheitsverursachende Gene ausschließen und Virusinfektionen verhindern, weil so negativ wirkende RNA-Moleküle zerstört und ihre genetischen Informationen wirkungslos gemacht werden. Manipulierte Zellen sind somit auf diese Weise gegen bestimmte Viren resistent.

Norbert Gutman

### Nobelpreis für Physik 1989

Auch der Physik-Nobelpreis 1989 wurde wie schon die Preise der letzten Jahre (Quanten-Hall-Effekt 1985, Rastertunnelmikroskopie 1986, Hochtemperatur-Supraleitung 1987, Nachweis des Myon-Neutrinos 1988) für herausragende experimentelle Leistungen vergeben. 1989 für experimentelle Anordnungen, die es ermöglichen, die genauesten Messungen einer physikalischen Größe vorzunehmen, die es gegenwärtig gibt. Mit ihrer Hilfe gelang es, die fundamentale Größe der Zeit mit einer Meßunsicherheit von  $2 \cdot 10^{-14}$  bei einer Meßzeit von einer Woche zu bestimmen. Eine Uhr dieser Genauigkeit würde, eine entsprechend lange Meßzeit vorausgesetzt, erst in 1 585 490 Jahren 1 Sekunde falsch gehen!

Prinzipiell wird die Zeit immer durch das Zählen eines periodisch wiederkehrenden Vorganges, dessen Schwingungsperiode man genau kennt, gemessen. Bei der Pendeluhr ist das offensichtlich. Den genannten Hochpräzisionsmessungen liegen andere Schwingungen, nämlich die eines Quarzes in einem Quarzgenerator bzw. die Lichtschwingungen eines hochstabilisierten Lasers zugrunde. Da deren Schwingungskonstanz bei weitem nicht ausreicht, werden sie über die Kopplung an sogenannte atomare Resonanzen weiter stabilisiert. Das Prinzip ist einfach: Ein Atom, welches nur in bestimmten und bekannten Energiezuständen auftritt, kann durch eine elektromagnetische Anregung mit der Frequenz  $f$  aus einem Zustand in einen anderen übergehen. Dann muß  $f$  allerdings der Bedingung  $f = f_{ij} = (E_i - E_j)/h$  ( $h$ : PLANCKsches Wirkungsquantum) genügen. Durch Registrierung der erfolgten bzw. nichterfolgten Zustandsänderung wird ein Signal gewonnen, welches für die Regulierung der Schwingungsfrequenz  $f$  genutzt werden kann. Die erreichbare Genauigkeit hängt dann (von allen technischen Problemen abgesehen) nur von der Breite der Energieniveaus des Atoms ab. Die physikalisch erreichbare Grenze liegt dabei noch weit unter der oben erwähnten. Sie wird durch die unvermeidliche sogenannte natürliche Linienbreite des Übergangs, die von der Lebensdauer  $\tau_i$  des angeregten Zustandes abhängt ( $f_{ij} = 1/(2\pi \cdot \tau_i)$ ), bestimmt.

Der Nobelpreis wurde nun zu einer Hälfte an Prof. N. F. RAMSEY (USA) für die von ihm 1949/50 eingeführte Methode der getrennt oszillierenden Felder und ihre Anwendung auf Atomuhren vergeben. Bei dieser Methode werden in einem Atomstrahl (man verwendet Cäsium) durch ein konstantes Magnetfeld mit zwei voneinander getrennten Bereichen mit  $f$  oszillierender Feldstärke Zustandsänderungen der Cs-Atome (hier: Einstellung bestimmter atomarer magnetischer Momente) erzeugt und nachgewiesen. Die Frequenz  $f_{ij}$ , bei der Resonanz auftritt, ist dabei in einem sehr engen Frequenzbereich von weniger als 1 Hz (bei  $f_{ij} = 9\,192\,631\,770$  Hz) bestimmbar, woraus sich die hohe Genauigkeit ergibt. Die Frequenz der oszillierenden Magnetfelder wird dabei von einem Quarzgenerator vor- und vom Resonanzsignal hochstabilisiert.

Der zweite Teil des Nobelpreises ging an die Professoren P. DEHMELT (USA) und W. PAUL (BRD), die in den 50er Jahren die Voraussetzungen schufen, einzelne Ionen in einem

sogenannten Ionenkäfig Stunden oder gar Wochen festzuhalten. Da die Ionen in einer solchen „Falle“ nahezu zur Ruhe kommen, besitzen sie außerordentlich scharfe Energiezustände. Durch die Anregung eines bestimmten Zustandes mittels eines Laserstrahls läßt sich das Ion durch seine mit der Wiederbesetzung des Grundzustandes verbundenen emittierten Strahlung nachweisen. Wenn zusätzlich durch einen zweiten, hochstabilisierten Laser ein anderer, sehr langlebiger ( $\rightarrow f_{ij}$  sehr klein, siehe oben!) Zustand angeregt wird, können in diesem Zeitraum keine Photonen nachgewiesen werden. Das ist das Signal für die erfolgte Zustandsbesetzung und damit für das Regeln der Frequenz des zweiten Lasers. Obwohl die prinzipiell erreichbare Frequenzbreite geringer ist als bei der RAMSEY-Anordnung, ist aufgrund experimenteller Schwierigkeiten die Genauigkeit der Zeitmessung mit  $1 \cdot 10^{-12}$  z. Z. noch schlechter. Diese Methode eröffnet aber nicht nur den Weg zu noch höheren Genauigkeiten der Zeitmessung, sondern auch der Erforschung der Struktur der Atome und der hochgenauen Überprüfung von physikalischen Theorien (Quantenelektrodynamik), die das physikalische Weltbild wesentlich mitbestimmen.

Literaturempfehlung: „wissenschaft und fortschritt“

Heft 3/90: Der lange Weg zur genauen Zeit

Heft 4/90: Geladene in Einzelhaft

Michael Kempe

### Nobelpreis für Physiologie und Medizin 1989

Der Nobelpreis für Physiologie und Medizin 1989 wurde an die beiden amerikanischen Wissenschaftler J. MICHAEL BISHOP und HAROLD E. VARMUS aus Kalifornien/San Francisco für die Entdeckung des zellulären Ursprungs der retroviralen Onkogene vergeben.

Viele Jahre galt die Heubner-Todaro-Hypothese als Erklärung für die Entstehung von Krebszellen. Diese Hypothese sagte aus, daß Retroviren selbständig Krebs erzeugen können. Retroviren bilden eine große Gruppe von RNA-Viren (Diese enthalten Ribo-nuklein-Säure; Säure heißt im Englischen acid, deswegen RNA. Die zweite Hauptgruppe der Viren stellen die DNA-Viren dar.), von denen viele Tumore erzeugen können. Außer in Krebszellen wurden aber auch in normalen Zellen höherer Organismen Gene und Genprodukte von Retroviren gefunden, die man auch als endogene Viren bezeichnet. Jenen Teil des genetischen Materials, der für die Umwandlung (Transformation) von normalen Zellen zu Krebszellen verantwortlich sein sollte, bezeichnete man als Onkogen (onkos-griech., Geschwulst). Daraus ergibt sich der Begriff der retroviralen Onkogene.

Entsprechend der obengenannten Hypothese sollten diese den Retroviren verwandten Gene normalerweise stumm bleiben; ihre Aktivierung aber kann zum Entstehen von Tumoren beitragen. Das erste identifizierte Krebsgen war das sogenannte Sarkom-Gen (sarcoma-griech., bedeutet Fleischgeschwulst; es ist eine bösartige Geschwulst, die vom mesodermalen Gewebe aus wächst. Es gibt darüber hinaus Gewebe endo- und ektodermalen Ursprungs). Bei Verlust des Sarkom-Gens oder wesentlicher Teile davon verliert das Virus seine Fähigkeit, Krebs auszulösen.

Entsprechend einer Veröffentlichung in der Zeitschrift „Nature“ im Jahre 1976 konnten Bishop und Varmus mit einer radioaktiv markierten Sarkom-Sonde nachweisen, daß Sarkom-

homologe Sequenzen („Spiegelbilder“) der viralen Krebsgene in gesunden Zellen verschiedener Geflügelarten vorkommen. Das Sarkom-Gen konnte demnach auch zellulären Ursprungs sein und mußte nicht, wie Heubner und Todaro postuliert hatten, aus den Viren stammen.

Es zeigte sich, daß viele Retroviren transformierende (d. h. umwandelnde und damit krebserzeugende) Gene enthalten, von denen jeweils ein „Spiegelbild“ in Normalzellen vorkommt. Weiterhin konnte man feststellen, daß alle diese zellulären Gene (das sind die Sarkom-Gen-Spiegelbilder in den Normalzellen) einer Genfamilie angehören und in den Zellen aller höheren Organismen vorhanden sind. Sie gehören zum Genbestand einer jeden menschlichen Zelle ebenso wie zu den Hefezellen und natürlich auch den Viren.

Daraus konnte man schließen, daß solche transformierenden Gene im Verlauf der Evolution bewahrt worden sind. Mit dem Nachweis der Existenz der zellulären Onkogene (in der Literatur oft auch als Proto- oder ursprüngliche Onkogene bezeichnet) durch Bishop und Varmus konnten in den letzten Jahren in der weiteren Forschung viele Fragen zur Krebsentstehung beantwortet werden. Die Entdeckung ermöglichte neue Experimente in der Grundlagenforschung wie auch die praktische Anwendung in der Biotechnologie und in der Diagnostik von Krebserkrankungen.

#### Literatur:

Wissenschaft und Fortschritt 1/1990 S. 4–6

*(Fortsetzung von S. 19)*

satz, und sie lassen sich relativ leicht auf jeden U 880-Mikrorechner übertragen. Die entwickelten Methoden sind praktisch überall dort nutzbar, wo zeit- bzw. temperaturabhängige elektrische Spannungen bzw. Stromstärken über große Zeit- und Temperaturbereiche gemessen werden müssen.

Die umfangreiche schriftliche Dokumentation ist klar gegliedert, stilistisch einwandfrei und ansprechend gestaltet. Nach einer kurzen und präzisen Darstellung der rechentechnischen Grundlagen werden die hardwaremäßigen Gegebenheiten an Hand von Literatur überblicksmäßig dargestellt. Ausführlich werden die Programme mit Hilfe von Flußbildern erläutert sowie Hinweise für mögliche Uminstallation gegeben. Die Assembler-Listfiles werden ausführlich kommentiert. Die Gesamtanlage der Arbeit belegt, daß sich die beiden Schüler nicht nur auf die Erarbeitung von Software beschränkten, sondern darüber hinaus sich in die mit ihrer Aufgabenstellung zusammenhängenden Probleme der Elektronik und Regelungstechnik einzuarbeiten verstanden.

## Lösungen zu Experimentieraufgaben Heft 2/90

### Ergebnisse: Bewegte Gedanken zum Rollen, Fallen und Werfen

Das rohe Ei kommt schneller in Schwung und erreicht den Fußpunkt der geneigten Ebene vor dem gekochten Ei. Das In-Bewegung-Kommen hängt bei einem rollenden (rotierenden) Körper von seinem Trägheitsmoment  $J$  ab. Mit wachsendem  $J$  wird bei gleichbleibender Antriebskraft für das Rollen die mögliche Beschleunigung und damit die in einer Zeiteinheit zurückgelegte Strecke kleiner werden. Ein gekochtes Ei kann in erster Näherung als ein starrer Körper betrachtet werden. Mit zunehmender Abrollgeschwindigkeit muß jedes Masenelement in der entsprechenden Umlaufbahn um die Rotationsachse gegen seine Trägheit beschleunigt werden. Bei einem rohen, im Inneren flüssigen Ei, ist das Trägheitsmoment kleiner als beim gekochten Ei, da zu diesem größtenteils nur die äußeren Schichten (vor allem die Schale) beitragen.

Das zweite Experiment (aufgepumpte Wasserflasche mit Steigröhrchen) überrascht beim freien Fall der Flasche durch einen hoch aus dem Röhrchen spritzenden Wasserstrahl. In Ruhelage passiert dies nicht, weil sich die Gewichtskraft der Wassersäule und die aus dem Überdruck resultierende Kraft kompensieren. Der freie Fall ist eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung im Schwerfeld, d. h. unter dem Einfluß der Gravitationskraft auf die passive schwere Masse des fallenden Körpers. Für die Beschleunigung der Wassersäule muß ihre Trägheit (als Folge der trägen Masse) überwunden werden. Die Trägheitskraft ist der Gravitationskraft entgegengerichtet und betragsmäßig gleich dieser. Folglich wird die Wassersäule gegenüber der Flasche schwerelos und die verbleibende Druckkraft hebt die Wassersäule aus dem Röhrchen heraus. – Angewandt wird diese Schwerelosigkeit beim freien Fall für die Ausbildung von Kosmonauten. Für kurze Zeit können die Testpersonen in einem frei fallenden Flugzeug bezüglich diesem ihre Fortbewegung unter Weltraumbedingungen üben. – Die Physik setzt sich heute unter anderem mit der Frage auseinander, ob träge und schwere Masse wirklich gleich groß sind.

Eine frei fallende Luftgewehrkugel erreicht zur selben Zeit wie eine aus gleicher Höhe abgeschossene Kugel den Erdboden (Einflüsse der Luftreibung einmal ausgeschlossen). Nach dem Prinzip der Unabhängigkeit der Bewegungen erreicht ein Körper ein und denselben Ort unabhängig davon, ob die einzelnen Bewegungen beliebig nacheinander oder gleichzeitig erfolgen. Das gelungene Experiment dazu wird also in jedem Fall einen Zusammenstoß der beiden Versuchskörper (falls diese nicht vorher den Boden erreichen) zeigen.

Literatur: Grimsehl, Lehrbuch d. Physik, Band 1

*Olaf Fischer*

### Zur Erinnerung

Vor 200 Jahren, am 17. April 1790, starb 84jährig Benjamin Franklin, einer der zu Lebzeiten berühmtesten Männer der Welt. Als Diplomat in Diensten der nach Unabhängigkeit von dem englischen Königreich strebenden Vereinigten Staaten von Amerika leistete er bedeutsames für den Freiheitskampf. Doch auch auf dem Gebiet der Naturwissenschaft, vor allem der Elektrizitätslehre, fand Franklin Anerkennung. 1750 erfand er in Philadelphia den Blitzableiter. Die Universalität von Franklin zollt noch heute Hochachtung ab. Einzelheiten aus seinem Leben zu erfahren ist aufschlußreich, vor allem auch hinsichtlich des Werdens der heutigen Welt.

*Klaus-Dieter Herbst*

**Olaf Fischer**  
 Friedrich-Schiller-Universität Jena  
 Sektion Physik

## Erscheinung und Wesen – oder warum das Laufen gelernt sein will

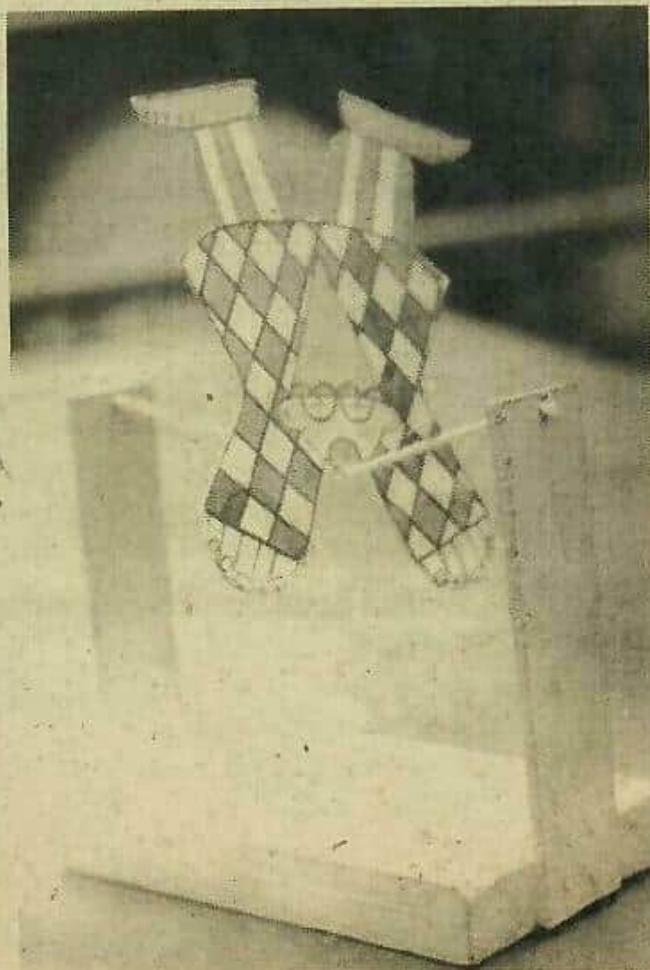
sikexperte wird vom Ausgang der Versuche verblüfft sein. Ihr auch?

Im ersten Experiment seid Ihr selbst wichtigster Teil der Versuchsanordnung. Eine Versuchsperson stelle sich mit dem Rücken so an die Wand, daß die Fußhacken diese berühren. Sie erhält die verlockende Aufgabe, einen 5-Mark-Schein, der ca. 30 cm vor deren Fußspitzen liegt, aufzuheben, ohne dabei die Beine einzuknicken oder umzufallen. Wer will sich so leicht 5 Mark verdienen?

Warum steht er noch, der Schiefe Turm von Pisa?

Warum ist die Hochseilartistik der Gebrüder Weissheit, bei der ein Motorrad mit untergehängtem Sitz auf einem Stahlseil bis in schwindelerregende Höhe fährt, ohne Netz erlaubt? Warum dauert es so lange, bis ein Kind richtig laufen kann?

Die Antwort auf alle diese Fragen konzentriert sich unter anderem auf einen wichtigen Begriff der Physik. Die folgenden Experimente sind geeignet, diesen Begriff besser kennenzulernen und die genannten Fragen zunächst qualitativ zu beantworten. Soll es ganz konkret werden, muß gerechnet werden. So mancher Phy-

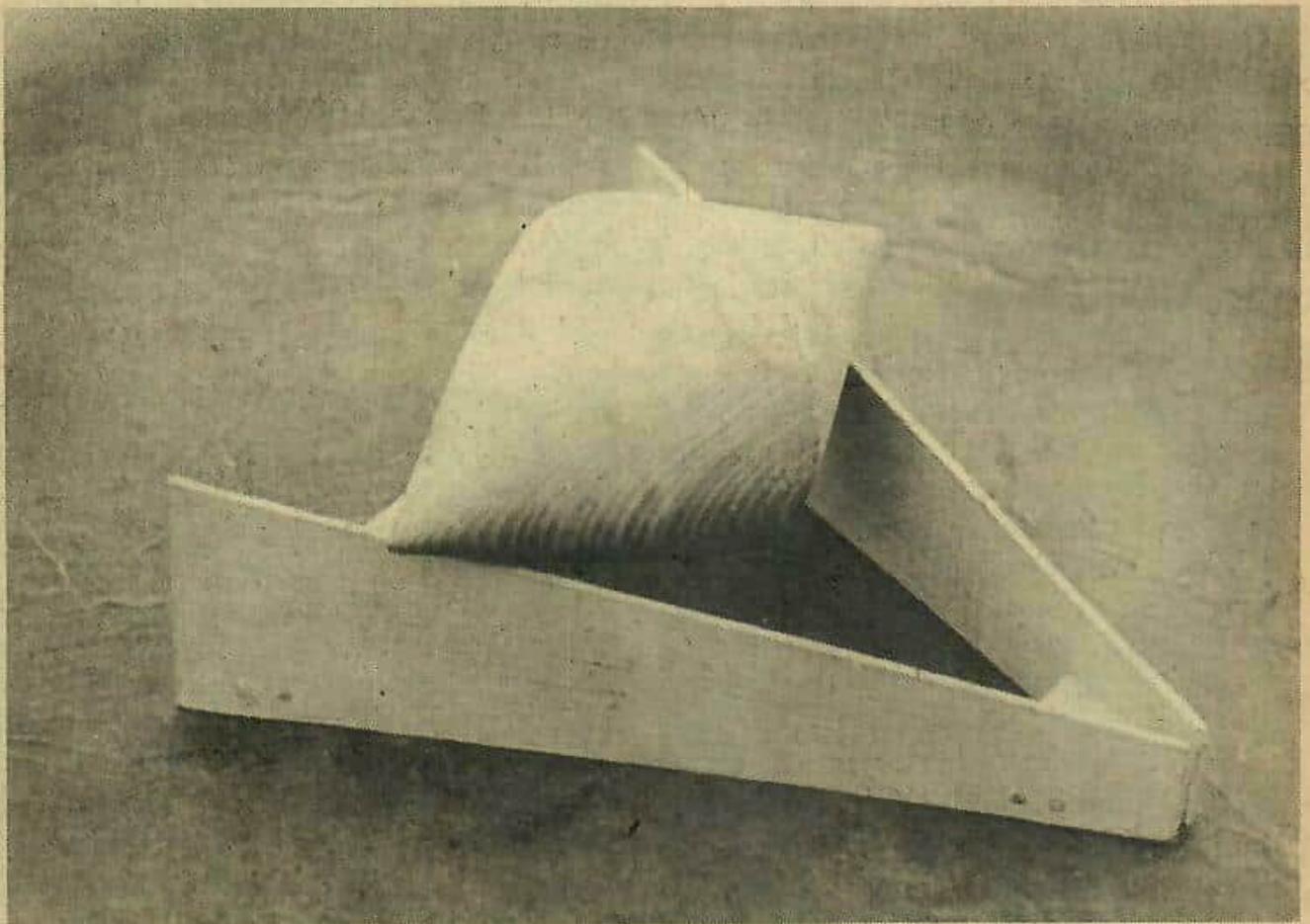


13228 4  
KRUSE, C  
6504 2006 5125

650 008 797  
HICO 5/362

Die beiden folgenden Versuche erfordern etwas Bastelarbeit. Eine Artistensilhouette (siehe Abb.; Größe ca. 15 cm) wird aus festem Papier ausgeschnitten. Eine Kleinigkeit muß ergänzt werden, und das zweite Experiment – ein Kopfstand auf dem Seil – klappt. Diese Ergänzung sollte natürlich dem Zuschauer nicht direkt ersichtlich sein.

Für das dritte Experiment werden ein Doppelkegel und eine ihm entsprechend geformte geneigte Ebene (siehe Abb.) benötigt. Hat man beides mit Geschick und physikalischem Verstand angefertigt, bringt man etwas von der Erscheinung her Phantastisches zustande – der Doppelkegel rollt ohne äußeren Anstoß die geneigte Ebene hinauf.



Wir hoffen, Ihr habt Spaß beim Experimentieren und findet recht schnell den für die Lösung wesentlichen Begriff.