

impuls

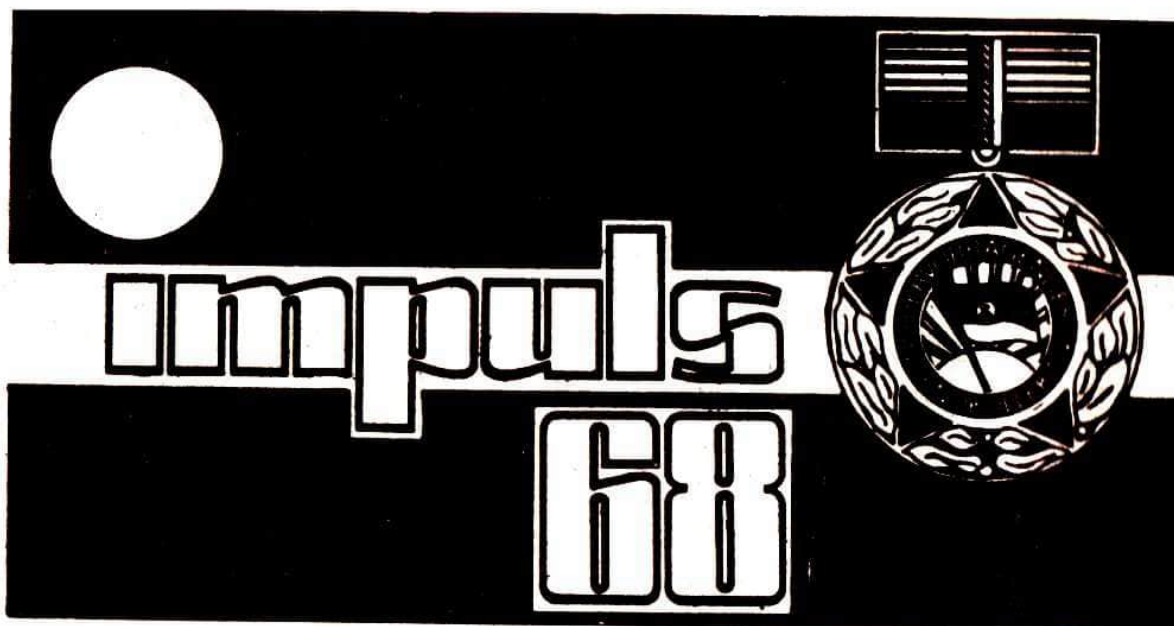
68

Schülerzeitschrift für 1/88
Physik, Chemie und Biologie

(22. Jg.) Preis 60 Pf.
INDEX 322004 ISSN 0232-9220



**Erwin Schrödinger – zum 100. Geburtstag
des Begründers der Wellenmechanik**



Dr. D. Hoffmann	Erwin Schrödinger – Zum 100. Geburtstag des Begründers der Wellenmechanik	GE	S. 3
Kay Sonntag	Molekülstruktur und Farbigkeit von chemischen Verbindungen	CHE	S. 14
	BÜCHERMARKT		S. 20
Matthias Mann	Einführung in die Physik der Selbstorganisation und Evolution	PHY	S. 21
	JAHRESINHALTSVERZEICHNIS 1987		S. 24
Iris Hunger	Biosensoren-Ergebnis der Kombination von Biotechnologie und Mikroelektronik	BIO	S. 31
Dr. T. Damm	Die Grundlagen des Farbfernsehens (Schluß)	PHY	S. 36
Karsten König	Exoelektronen	PHY	S. 41
	IPHO-AUFGABE 1 – LÖSUNG		S. 45

impuls 68 – SCHÜLERZEITSCHRIFT FÜR PHYSIK, CHEMIE UND BIOLOGIE

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

Die Zeitschrift erscheint im Eigenverlag der Redaktion „impuls 68“

Anschrift der Redaktion: Max-Wien-Platz 1, Jena, 6900, Telefon 271 22/2 17

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

Erscheinungsweise: zweimonatlich

Heftpreis: –,60 M

Bezugsmöglichkeiten: durch den Postzeitungsvertrieb

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

Chefredakteur: Dr. Bringfried Stecklum, stellv. Chefredakteur: Karsten König

Redaktionsmitglieder: Petra Richter, Peter Kroll, Alexander Niehardt, Ralph Huonker, Rainer Strobel,

Andreas Erdmann, Wolfram Meinhardt, Jens Thole, Andreas Chwala

Die Redaktion wurde 1969 und 1980 mit dem Ehrentitel „Hervorragendes Jugendkollektiv der DDR“ ausgezeichnet.

Über die Annahme der Manuskripte entscheidet die Redaktion; sie behält sich das Recht vor, für nötig erachtete Kürzungen und Änderungen im Text vorzunehmen bzw. vorzuschlagen.

Gestaltung: Richter, Stecklum

Redaktionsschluß: 23. 11. 1987

Titelbild: Erwin Schrödinger (Foto: WiFo)

**Dr. D. Hoffmann
Institut für Theorie,
Geschichte und Organi-
sation der Wissenschaft
der AdW der DDR, Berlin**

**Erwin Schrödinger –
Zum 100. Geburtstag des
Begründers der Wellenmechanik**

In den 74 Jahren, die zwischen Geburt und Tod Erwin Schrödingers liegen, vollzog sich auf dem Gebiete der Physik eine tiefgreifende Änderung ihrer Grundlagen. Die Geburtsstunde dessen, was wir heute durch den Begriff des Atomzeitalters kennzeichnen, fiel in die Zeit seiner Jugend und die seines Studiums. Es entstanden Relativitäts- und Quantentheorie.

Besonders mit letzterer, die wohl die wichtigste Theorie unseres Jahrhunderts darstellt, ist der Name Erwin Schrödingers untrennbar verbunden, hat er doch zu ihrer Entwicklung maßgeblich beigetragen. Die von ihm aufgestellte Wellengleichung wurde zu einer zentralen Grundlage dieses Gebietes, die ihn wohl für immer als einen der ganz Großen der Physik ausweist und die darüber hinaus seinen Namen im Bewußtsein der nachfolgenden Generationen bewahren wird. Jenes Verfahren zur Lösung quantenmechanischer Probleme – die Schrödingergleichung – hat unter den Physikern bis heute eine solch uneingeschränkte Popularität und Anwendungsbreite, daß sein Name der wohl am häufigsten zitierte in der physikalischen Fachliteratur ist. Arnold Sommerfeld (1868-1951) nannte die Wellenmechanik, deren Grundlage die Schrödingergleichung bildet, einmal die erstaunlichste unter allen erstaunlichen Entdeckungen des zwanzigsten Jahrhunderts.

Geboren am 12. August 1887 in Wien, stammte Erwin Schrödinger aus einer gewerbetreibenden Familie des Wiener Mittelstandes. Die geistige Atmosphäre Wiens und die in seinem Elternhaus, das gegenüber den Naturwissenschaften sehr aufgeschlossen war, prägten maßgeblich die Entwicklung des jungen Schrödinger. Sie legten die Grundlagen für das hohe Maß an allgemeiner Bildung und Vielseitigkeit, die ihn zeitlebens auszeichnete. Nicht nur die Physik, sondern auch Philosophie und Kunst – hier war es insbeson-

dere die Literatur und das Theater - spielten in seinem Leben eine große Rolle, so daß für Schrödinger das Bekenntnis seines großen Landsmanns Ludwig Boltzmann (1844-1906), daß es ohne Schiller zwar einen Mann mit gleicher Bart- und Nasenform, aber niemals ihn selbst geben könne, gleichermaßen zutreffend erscheint. Erwin Schrödinger, der außerdem sechs Sprachen beherrschte, Nachdichtungen aus dem Englischen besorgte und auch Gedichte verfaßt hat /1/, war so in gleicher Weise Zeit seines Lebens künstlerischer Mensch wie Wissenschaftler. /2, S. 174/.

Nach dem glänzenden Abschluß des Wiener akademischen Gymnasiums, an dem zuvor auch Ludwig Boltzmann und Stefan Zweig (1881-1942) Schüler gewesen waren, begann er im Jahre 1906 mit dem Studium. Seine akademischen Lehrer waren der Mathematiker Wilhelm Wirtinger (1865-1945) sowie die Physiker Franz Exner (1829-1926) und Friedrich Hasenöhrle (1874-1915); vor allem letzteren verdankt er nach seinen eigenen Worten wesentliche Grundlagen seiner Persönlichkeitsentwicklung. Bereits als Student fiel sein herausragendes physikalisches Talent auf, so daß es für seine Kommilitonen und Freunde schon damals klar zu sein schien, daß von ihm einmal etwas ganz Besonderes zu erwarten sei.

Nach dem Abschluß des Studiums im Jahre 1910, das wie damals üblich mit der Promotion endete, blieb er für die nächsten zehn Jahre - sieht man von der Unterbrechung durch Kriegsdienst und Weltkrieg ab - auch weiterhin an der Wiener Universität. Als Praktikumsassistent bei Exner lag sein Tätigkeitsbereich während dieser Zeit vor allem auf experimentellem Gebiet. Trotz seines schon damals ausgeprägten Interesses für die theoretische Physik empfand er dies als keineswegs nachteilig, lernte er doch so durch direkte Anschauung, was messen heißt.

Die zu keinerlei Optimismus Veranlassung gebende Lage in Österreich nach dem ersten Weltkrieg sowie die große Anziehungskraft, die das wissenschaftliche Leben Deutschlands besonders auf dem Gebiet der theoretischen Physik ausübte, bewogen ihn, für jeweils ein Semester als Privatdozent bzw. Professor nach Jena, Stuttgart und Breslau zu gehen. Anschließend nahm er dann im Jahre 1921 die Berufung an die Universität Zürich an; es war dieselbe Professur, die zuvor Albert Einstein (1879-1955) und Max von Laue (1879-1961) innegehabt hatten. Die sechs Jahre, die Schrödinger in Zürich blieb, waren für seine wissenschaftli-

che Entwicklung außerordentlich bedeutsam. Nicht nur, daß hier seine bahnbrechenden Arbeiten zur Wellenmechanik entstanden, auch durch andere originelle und inhaltsreiche Beiträge zu den unterschiedlichsten physikalischen Problemen hat er während dieser Zeit bereits auf sich aufmerksam gemacht. Die Vielfalt der ihn damals beschäftigenden Fragen reicht von der Theorie der Brownschen Bewegung sowie anderer Schwankungserscheinungen, über statistische Mechanik, Thermodynamik und Allgemeine Relativitätstheorie bis zur physiologischen Farbentheorie, mit der er sich intensiv, messend wie rechnend, beschäftigte.

Die Jahre zwischen 1925 und 1927 waren nicht nur der Höhepunkt des "goldenen Zeitalters der modernen Physik" - jener Umbruch, der neben die klassische Mechanik das Gebäude einer neuen, der Quantenmechanik, setzte.

Diese Jahre stellen ohne Zweifel auch den Höhepunkt im Schaffen von Erwin Schrödinger dar. Unter dem Titel "Quantisierung als Eigenwertproblem" erschienen in diesen Jahren mehrere klassisch zu nennende Arbeiten, in denen Schrödinger seine Wellenmechanik entwickelte und physikalisch begründete.

Welches waren die Grundlagen, auf die Schrödinger sowie die anderen Physiker seiner Zeit bei der Weiterentwicklung und dem Ausbau der Quantentheorie aufbauen konnten?

Seit jener denkwürdigen Sitzung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft vom 14. Dezember 1900, auf der durch Max Planck (1858-1947) das berühmte Strahlungsgesetz sowie das Wirkungsquantum h begründet worden waren, hatte sich die Entwicklung der Quantenhypothese in zwei großen Etappen vollzogen. Die erste bestand in der Formulierung und Durchsetzung des Prinzips selbst, sie währte bis etwa zum Jahre 1913. Dann folgte die zweite, in der vor allem Niels Bohr (1885-1962) das Quantenkonzept auf die Beschreibung atomarer Vorgänge übertrug und man sich so zu einer neuen Atomdynamik "herantastete". Gegen Mitte der zwanziger Jahre waren dann aber auch die Möglichkeiten einer solchen halbklassischen Vorgehensweise erschöpft. (Halbklassisch deshalb, da die Bohrschen Postulate der klassischen Physik lediglich eine "Zwangsjacke" anlegten, die noch nichts über die physikalischen Ursachen aussagte.) Die Bohrsche Atomtheorie, die in der Analyse von Einelektronensystemen bedeutende Erfolge erzielt hatte, ge-

langte an die Grenze ihrer Leistungsfähigkeit, sobald Mehrelektronensysteme oder gar relativistische Erscheinungen berücksichtigt werden mußten.

Beim Versuch, eine Lösung der dabei auftretenden Schwierigkeiten zu finden, schieden sich nun aber die Auffassungen. Von einigen Physikern, zu denen vor allem Niels Bohr, Max Born (1882-1970), Werner Heisenberg (1901-1976), Pasqual Jordan (1902-1978) und Paul A. M. Dirac (1902-1985) gehörten, wurde die Lösung im wesentlichen über eine Verschärfung des Bohrschen Korrespondenzprinzips gesucht, wobei für die Beschreibung der physikalischen Phänomene nur beobachtbare Größen zugelassen wurden (siehe auch /4/). Man ging damit von einer klassischen punktmechanischen Beschreibung mit den prinzipiell "unbeobachtbaren" Bahnen, Radien und Umlauffrequenzen der Elektronen zu den damit korrespondierenden quantenmechanischen Größen - den die Beobachtung beschreibenden Übergangsamplituden - über. Als Ergebnis dieser Bemühungen entstand in den Jahren 1925/26 die sogenannte Matrizenmechanik /4/, die sich bereits bei den ersten Anwendungen ausgezeichnet bewährte und aus der sich dann später als wohl bedeutsamste Konsequenz die Heisenbergsche Unschärferelation entwickelte. Leitete die Matrizenmechanik die Bohrsche Frequenzbedingung aus dem diskreten Charakter der dynamischen Größen des Atoms ab (z.B. wird die Emission eines Lichtquants als sprunghafter Übergang des Elektrons aus einem höheren in ein tieferes Energieniveau aufgefaßt, wobei über das physikalische Wesen des Sprungs keine Aussagen gemacht werden können), so war der Weg zur Wellenmechanik, die im wesentlichen das Werk Erwin Schrödingers ist, dem diametral entgegengesetzt.

Obwohl die Arbeiten zur "Göttinger Matrizenmechanik" der "Züricher Wellenmechanik" zeitlich vorausgingen, existiert zwischen beiden kein genetischer Zusammenhang, wenn man einmal von dem provozierenden Eindruck auf Schrödinger absieht, der von der Matrizenmechanik abgeschreckt, um nicht zu sagen abgestoßen worden war /5; S. 147/. Ausgangspunkt seiner Arbeiten war einerseits die Idee von Louis de Broglie (geb. 1892), daß ein bewegtes materielles Teilchen sich in mancher Beziehung wie eine Welle verhält (Welleneigenschaft der Materie) sowie andererseits die detaillierte Kenntnis der klassischen Wellentheorie des Lichts, die ihn veranlaßte, sich mit dem Werk des irischen Naturforschers

William Rowan Hamilton (1805-1885) auseinanderzusetzen. Hatte zu Beginn des Jahrhunderts - gewissermaßen zum "Entsetzen aller Physiker", die ja bis dahin fest von der Wellentheorie des Lichts überzeugt waren - Albert Einstein mit seiner Deutung des lichtelektrischen Effektes auf die Dualität von Teilchen und Welle bei der elektromagnetischen Strahlung hingewiesen, so versuchte Louis de Broglie 20 Jahre später diese Dualität in einer noch radikaleren Weise weiterzuentwickeln. Er hoffte, auf diesem Wege die stabilen Bahnen im Bohrschen Atommodell auf stehende Wellen zurückzuführen und damit physikalisch begründen zu können.

Obwohl viele seiner Zeitgenossen die Originalität der Idee anerkannten, glaubte kaum jemand ernstlich an die Realität solcher Materiewellen, bis auf einen: Albert Einstein. Durch ihn war dann auch Erwin Schrödinger "mit der Nase auf die Wichtigkeit der de Broglieschen Idee gestoßen worden" /6, S. 24/.

Er versuchte, den Gedanken de Broglies eine auch quantitativ formulierbare Fassung zu geben sowie auf die Beschreibung des Verhaltens des Atoms anzuwenden. Dabei betrachtete er die Energiestufen des Atoms als mögliche Eigenschwingungen eines Elektrons. Genau so wie die Strahlenoptik nur ein Grenzfall ($\lambda \rightarrow 0$) der Wellenoptik ist, stellte sich dabei die Frage, ob nicht auch die klassische Mechanik eine Approximation darstellt, die beim Übergang zu atomaren Dimensionen durch eine Wellenmechanik ersetzt werden muß. Beim Nachdenken darüber erinnerte sich Schrödinger an die bereits 100 Jahre zuvor von Hamilton erkannte Analogie von Mechanik und Strahlenoptik. Hamilton hatte damals gezeigt, daß die Grundgesetze dieser beiden, an sich unterschiedlichen Gebiete in einer mathematisch identischen Form dargestellt werden können. Man kann die Bewegung von Lichtstrahlen in einem optisch inhomogenen Medium mit einem geeignet gewählten Brechungsindex $n(x,y,z)$ genau so betrachten wie die Bewegung eines Massenpunktes in einem Feld mit dem Potential $V(x,y,z)$. Von der Erkenntnis dieses Sachverhalts war es für Schrödinger nur noch ein kleiner, wenn auch kühner Schritt, die undulatorische Mechanik auf dem Wege einer wellentheoretischen Ausgestaltung des Hamiltonschen Bildes zu suchen /5; S 132/.

Dies alles war im Herbst des Jahres 1925 geschehen, doch die Intensität seiner Arbeiten an dem Problem erhöhte sich noch. In einem Brief vom 27. Dezember 1925 an Wilhelm Wien (1864-1928)

schrieb er: "Im Augenblick plagt mich eine neue Atomtheorie. Wenn ich nur mehr Mathematik könnte! Ich bin bei dieser Sache sehr optimistisch und hoffe."/7; S.343/ Er versuchte zunächst eine relativistische Wellengleichung aufzustellen. Dabei gelangte er zu einer Gleichung der Form, die man heute (fälschlicherweise also) als Klein-Gordon-Gleichung bezeichnet:

$$\Delta \Psi + \frac{4\pi^2}{h^2} \left[\left(\frac{ih}{2\pi c} \frac{\partial}{\partial t} + \frac{e^2}{cr} \right) - m^2 c^2 \right] \Psi = 0$$

c	Lichtgeschwindigkeit
m	Elektronenmasse
e	Elementarladung
r	Abstand Elektron - Kern
Ψ	Wellenfunktion
Δ	Laplace-Operator

Diese relativistische Schrödingergleichung führte jedoch noch nicht zum Erfolg, da sich aus ihr nicht alle Energiewerte des Wasserstoffatoms richtig berechnen ließen. Dieser Mißerfolg, dessen Ursache einfach darin lag, daß der Elektronenspin hätte berücksichtigt werden müssen, der jedoch damals kaum erforscht war, hatte die Hoffnungen Schrödingers nur getrübt, aber nicht gebrochen, denn schon kurze Zeit später, im Januar 1926, gelang es ihm, eine das Verhalten des Wasserstoffatoms richtig widergebende nichtrelativistische Theorie aufzustellen. In seiner ersten Mitteilung hierüber steht dann auch seine berühmte, auf das Wasserstoffatom bezogene Wellengleichung /5; S. 110/:

$$\Delta \Psi + \frac{2m}{h^2} \left(E + \frac{e^2}{r} \right) \Psi = 0$$

E	Energie
$\hbar = h/2\pi$	h... Plancksche Konstante

Sie war für Schrödinger die Grundlage der Wellenmechanik, so daß eine für die damalige Zeit höchst merkwürdige Situation entstanden war; besaß man zu Beginn des Jahres 1925 noch keine exakte Quantentheorie, so gab es ein Jahr danach auf einmal zwei. Die Verwirrung war dementsprechend; jedoch nur von kurzer Dauer, denn bereits wenig später (im März 1926) gelang sowohl Schrödinger als auch Wolfgang Pauli (1900-1958) der Nachweis, daß trotz des unterschiedlichen Charakters von Matrizen- und Wellenmechanik die Anwendung beider auf dasselbe System stets zu äquivalenten Ergebnissen führt; aus den Schrödingerschen Wellenfunktionen kann man die Matrizen konstruieren und umgekehrt.

In seiner Züricher Zeit hat Schrödinger an der konkreten Ausgestaltung und Nutzung der Theorie (vor allem der Störungstheorie) mitgearbeitet und damit selbst Grundlagen für eine Reihe Anwendungen - von der Festkörper- bis zur Elementarteilchenphysik - gelegt, die dann in schneller Folge in den nachfolgenden Jahren sich entwickelten. Als mathematisches Werkzeug für die Behandlung atomarer Prozesse erwies sich die Schrödingergleichung gegenüber dem damals umständlichen und ungebräuchlichen Matrizenkalkül als leistungsfähiger, sodaß die Schrödingersche Theorie der Matrizenmechanik vorgezogen wurde.

Doch war für Schrödinger die Welleneigenschaft der Materie und damit seine Wellengleichung nicht einfach eine "kuriose Eigenschaft der Materie" beziehungsweise ein elegantes Rechenrezept. Vielmehr meinte er, eine tiefere Einsicht in die mikrophysikalischen Erscheinungen gewonnen zu haben, die die Rückkehr zu einer klassischen Kontinuumsphysik ermöglichen würde. Hierzu bemühte er sich - unter Preisgabe des Welle-Teilchen-Dualismus -, seine Theorie auf ein durchgängiges Wellenkonzept zu gründen, wozu er die Teilchen als enge Wellengruppen (Wellenpakete) darzustellen versuchte. Allerdings ließ sich nur ein einziges Beispiel (der harmonische Oszillator) für eine derartige korpuskulare Deutung der Wellengruppen angeben; in allen anderen Fällen "zerfließen" die Wellenpakete bereits in sehr kurzer Zeit.

Dieses anschauliche Verständnis der Quantenerscheinungen erfuhr im Sommer 1926 durch Max Borns Deutung der Wellenfunktion als Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines bestimmten Ereignisses eine wesentliche Einschränkung. Für Schrödinger war

diese Wende zu einer statistischen Interpretation der Quantentheorie, die mit der sogenannten Kopenhagener Deutung auch schon bald (1927) ihre abgeschlossene und widerspruchsfreie Form erhalten sollte, enttäuschend. Wie Albert Einstein, Louis de Broglie und Max von Laue hat sich auch Erwin Schrödinger bis an sein Lebensende nicht mit der Kopenhagener Auffassung der Quantentheorie aussöhnen können - für ihn war es unbegreiflich, daß Elektronen wie Flöhe springen sollten. (Es ist sicherlich kein Zufall, daß diese "Gegner" einer statistischen Interpretation auch zu den ersten Verfechtern der Idee von Materiewellen gehörten und das auch popularisierten.)

Aber nicht nur für sein wissenschaftliches Leben markierte das Jahr 1927 einen wichtigen Wendepunkt. Auch für ihn persönlich bedeutete es einen bedeutenden Einschnitt, wurde ihm doch als Nachfolger von Max Planck die Professur für theoretische Physik an der Berliner Universität angeboten. Dieser Ruf war Ausdruck großer Wertschätzung, denn es konnte als Nachfolger des geistigen Oberhauptes der deutschen Physiker nur ein Mann von internationaler Bedeutung ausgewählt werden. Seine Entscheidung, nach Berlin zu gehen, fiel Schrödinger schwer. In Zürich hatte er sich sowohl wissenschaftlich - insbesondere wegen des engen Kontaktes zu Peter Debye (1884-1966) und Hermann Weyl (1885-1955), der auch bei der mathematischen Ausarbeitung der Wellenmechanik geholfen hatte - als auch persönlich sehr wohl gefühlt. Dennoch bewirkte der wissenschaftliche Ruf der Berliner Physik, die zu dieser Zeit die allgemeine Entwicklung der Physik in der Welt bestimmte, daß er zusagte. An zwei Universitäten, der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft, der Physikalisch-technischen Reichsanstalt sowie an den zahlreichen Industrielaboratorien wirkte eine Reihe international anerkannter Physiker.

Sechs Jahre blieb Schrödinger in Berlin, die für ihn zu den glücklichsten Jahren seines Lebens gehörten und in denen er vor allem wohl wegen der gemeinsamen wissenschaftlichen und philosophischen Anschauungen ein recht enges freundschaftliches Verhältnis zu Max Planck und Albert Einstein entwickelt hat. Die Übernahme der Macht durch den Faschismus empörte ihn als zutiefst humanistisch gesinnten bürgerlichen Wissenschaftler so stark, daß er nach England emigrierte, obgleich er von den Faschisten weder politisch noch rassistisch verfolgt war. Kurz nach seiner Ankunft im

Oxforder Exil erfuhr er, daß ihm gemeinsam mit Paul A.M. Dirac der Nobelpreis für Physik des Jahres 1933 verliehen worden war.

Die besondere Atmosphäre eines englischen College ließ ihn jedoch nicht heimisch werden, so daß die Sehnsucht nach seiner österreichischen Heimat immer größer wurde und er sich im Jahre 1936 - trotz schwerwiegender politischer Bedenken - entschloß, einen Ruf an die Universität Graz anzunehmen.

Durch die faschistische Annexion Österreichs im März 1938 erwiesen sich die Bedenken schon sehr bald mehr als berechtigt, so daß er - Repressalien ausgesetzt - erneut emigrieren mußte; "dieses Mal unfreiwillig und nur mit einem Handkoffer, all meine damalige Habe zurücklassend."

Über mehrere Zwischenstationen gelangte Schrödinger nach Dublin, wo er ein Angebot des irischen Ministerpräsidenten und damaligen Präsidenten des Völkerbundes Eamon de Valera (1882-1975) annahm und am eigens für ihn gegründeten Institute for Advanced Studies einen neuen Wirkungskreis fand. Hier blieb er bis zu seiner Emeritierung im Jahre 1955, wobei er sich nicht nur seinen eigenen wissenschaftlichen Arbeiten, sondern auch der Ausbildung junger Physiker widmete. Forschungsstipendiaten aus aller Welt arbeiteten für ein oder zwei Jahre am Schrödingerschen Institut. Berühmt war die alljährliche Summer School, ein zwangloses Kolloquium, zu dem vor allem Teilnehmer aus England, aber auch aus anderen Ländern kamen, um aktuelle Fragen der Physik zu diskutieren.

Neben der Quantentheorie traten nun auch Fragen ins Zentrum seiner wissenschaftlichen Aufmerksamkeit, die sich im Umkreis der Allgemeinen Relativitätstheorie und deren Weiterentwicklung zur einheitlichen Feldtheorie befanden und an Untersuchungen aus seiner Berliner Zeit anknüpften. In seiner letzten Schaffensperiode hat sich Schrödinger darüber hinaus eingehend mit dem Verhältnis von Physik und Biologie beschäftigt. Auch wenn in seinem damals entstandenen Buch "Was ist Leben?" die im Titel aufgeworfenen Fragen nach den physikalischen Grundlagen der Molekularbiologie noch nicht beantwortet wurden, so hat es doch auf eine Generation von Physikern und Biologen einen nachhaltigen Eindruck ausgeübt und die heutigen großen Erfolge ihrer Zusammenarbeit (man denke nur an die Genetik) maßgeblich initiiert. Es wies weite Kreise auf die Morgendämmerung einer neuen Epoche

biologischer Forschung hin."/9; 8.13/ Auch heute noch haben die von Schrödinger entwickelten Ideen einer thermodynamischen Theorie des Lebens Aktualität, bilden sie doch - als wichtige Grundlage der Thermodynamik irreversibler Prozesse - einen Schlüssel für das hochaktuelle Forschungsgebiet der Strukturbildung in biologischen Systemen und damit für die Entstehung und Weiterentwicklung des Lebens selbst.

Hatte Erwin Schrödinger schon zu Beginn seiner akademischen Laufbahn davon geträumt, redlich die theoretische Physik vorzutragen, sich im übrigen aber mit Philosophie zu befassen, so konnte er diesen Vorsatz wahrscheinlich erst in der ruhigen und von konkreten Lehr- und Forschungsverpflichtungen unbelasteten Atmosphäre des Dubliner Instituts verwirklichen. Anknüpfend an bereits früher geäußerte Gedanken erschienen in diesen Jahren mehrere originelle Monographien, in denen er sich erkenntnistheoretischen, philosophischen und weltanschaulichen Fragen der modernen Physik zuwandte, um davon ausgehend auch seinen Standpunkt zu philosophischen Problemen allgemeiner Natur darzulegen. Die Fülle des hierzu vorliegenden Materials macht es im Rahmen dieses Beitrags selbstverständlich unmöglich, eine differenzierte Charakterisierung seiner weltanschaulichen und philosophischen Haltung zu geben. Für seine Persönlichkeit, die in unverkennbarer Weise durch bürgerlich-humanistische Ideale geprägt wurde, ist es charakteristisch, daß im Zentrum seines Philosophierens die Gedankenwelt der Antike steht. Leitbild war für ihn dabei insbesondere die dort verkörperte Einheit von Philosophie und Naturwissenschaft, die er über eine gewisse Rückführung zur Antike auch für die Zukunft wieder zu erreichen hoffte. Das Eine wurde so Grundmotiv seines gesamten Schaffens, wobei hier aber auch Ansätze für idealistische Tendenzen liegen, wollte er diese Einheit doch auch für das Verhältnis von Naturwissenschaft und Religion bzw. auf ein naturwissenschaftliches Verständnis des Denkens und der Gesellschaft insgesamt ausgedehnt wissen. Wichtig scheint indessen zu sein, daß er als Physiker vom Prinzip her immer materialistische Positionen vertreten und in der Zeit der Auseinandersetzung mit dem Positivismus die Basis des naturwissenschaftlichen Materialismus nie verlassen hat. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang sein Gesetzeskonzept, in dem er - anknüpfend an Vorstellungen seines Lehrers Exner - eine statistische

Gesetzesauffassung vertrat und sich damit vom mechanischen Determinismus mit seiner strengen Determiniertheit allen Naturgeschehens abgrenzt./10/

Obwohl er nach Beendigung des zweiten Weltkriegs nach Berlin oder auch in seine österreichische Heimat hätte zurückkehren können, bewogen ihn die Wirren und ökonomischen Schwierigkeiten der Nachkriegszeit, weiterhin in Dublin zu bleiben. So kehrte er erst im Jahre 1956, nach seiner Emeritierung, nach Wien zurück. Als angesehener Wissenschaftler, Mitglied zahlreicher wissenschaftlicher Gesellschaften - darunter auch der Berliner Akademie - und als mehrfacher Ehrendoktor geehrt, hatte er an der Stätte seiner ersten wissenschaftlichen Tätigkeit, dem Physikalischen Institut der Universität Wien, noch für zwei Jahre eine Ehrenprofessur inne, bevor er sich endgültig ins Privatleben zurückzog. Die letzten Lebensjahre - Schrödinger starb am 4. Januar 1961 - lebte er relativ abgeschieden in dem kleinen Tiroler Bergdorf Alpach, wo sich auch sein Grab befindet.

(Ein Literaturverzeichnis wird interessierten Lesern auf Wunsch zugesendet.)

In eigener Sache

Dem Redaktionskollektiv der Schülerzeitschrift "impuls 68" wurde für besondere Leistungen und für erfolgreiche Mitarbeit bei der sozialistischen Bildung und Erziehung vom Ministerium für Volksbildung der DDR die

Ehrennadel

für Verdienste im sozialistischen Bildungswesen

verliehen.

Diese Auszeichnung ist für uns Ansporn und Verpflichtung, die Popularisierung wissenschaftlicher Erkenntnisse auf hohem Niveau weiter engagiert zu betreiben.

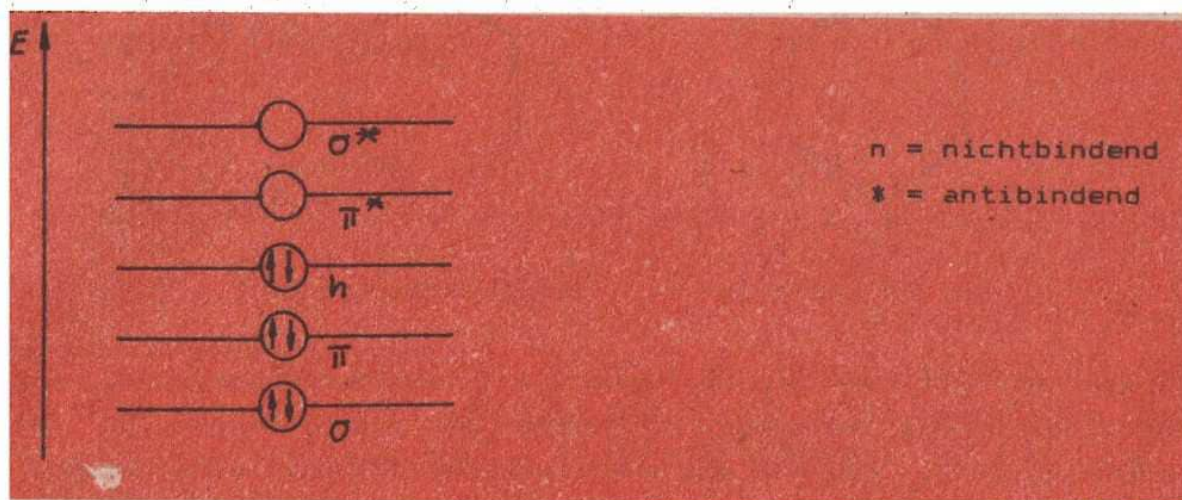
Schon vor tausenden Jahren beschäftigten sich die Menschen mit Farben. In vielen Schriften wird die Anmut und Schönheit von Farben beschrieben. Mit der Entwicklung der Industrie, vor allem im Textilbereich, versuchte man auch künstliche Farbstoffe herzustellen. Voraussetzung dafür war aber das gründliche Studium der Naturfarbstoffe zur Aufklärung ihres Aufbaus, ihrer elektronischen Struktur und ihrer chemischen Reaktionen. Auf der Grundlage dieser Forschungen entwickelte sich die Farbstofftheorie. Mit diesem Artikel soll versucht werden, einige Zusammenhänge zwischen Farbigkeit und molekularem Aufbau von chemischen Verbindungen darzulegen.

Ein Stoff erscheint uns farbig, wenn er bestimmte Anteile des sichtbaren Lichtes (Wellenlängenbereich von 380 bis 780 nm) absorbiert. Wird der gesamte Teil des sichtbaren Spektrums absorbiert, erscheint er schwarz; wird kein Licht absorbiert, ist der Stoff farblos. Absorbiert die Substanz z.B. den gelben Anteil des Lichtes, dann erscheint sie uns in der Komplementärfarbe Blau.

Das Licht besteht aus Lichtquanten (Photonen), deren Energie von der Frequenz abhängt $E = h\nu$ (h - Plancksches Wirkungsquantum). Die Absorption des Lichtes führt dazu, daß Elektronen der im Farbstoff enthaltenen Atome auf höhere Energieniveaus gelangen. Die Struktur der Farbstoffe wird durch Moleküle gebildet, d.h. Atomen, die durch chemische Bindungen miteinander verbunden sind. Dabei können sowohl Einzel- als auch Mehrfachbindungen auftreten (Über die Natur der chemischen Bindung siehe "impuls 68" Heft 6/86-5/87). Eine Mehrfachbindung besteht aus einer σ -Bindung und einer oder mehreren π -Bindungen. Bei der Ausbildung von Bindungen entstehen aus Atomorbitalen Molekülorbitale.

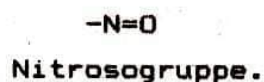
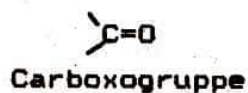
Gemäß der quantenchemischen Theorie existiert zu jedem bindendem Molekülorbital (MO) ein antibindendes Molekülorbital (MO^*). Für

Atome mit freien, ungebundenen Elektronenpaaren (z.B. N) gibt es auch nichtbindende MO. Die Energie der MO wird durch nachfolgendes Schema veranschaulicht.



Dabei nimmt E in entsprechender Reihenfolge $n \rightarrow \pi^* < \pi \rightarrow \pi^* < n \rightarrow \sigma^* < \sigma \rightarrow \sigma^*$ zu.

Das bedeutet, daß π -Elektronen wesentlich leichter anzuregen sind als σ -Elektronen. Molekülgruppen mit π -Bindungen (oder Doppelbindungen) absorbieren also Licht mit relativ großer Wellenlänge (bzw. relativ geringer Frequenz). Solche Gruppen nennt man Chromophore (Farbträger). Beispiele sind:

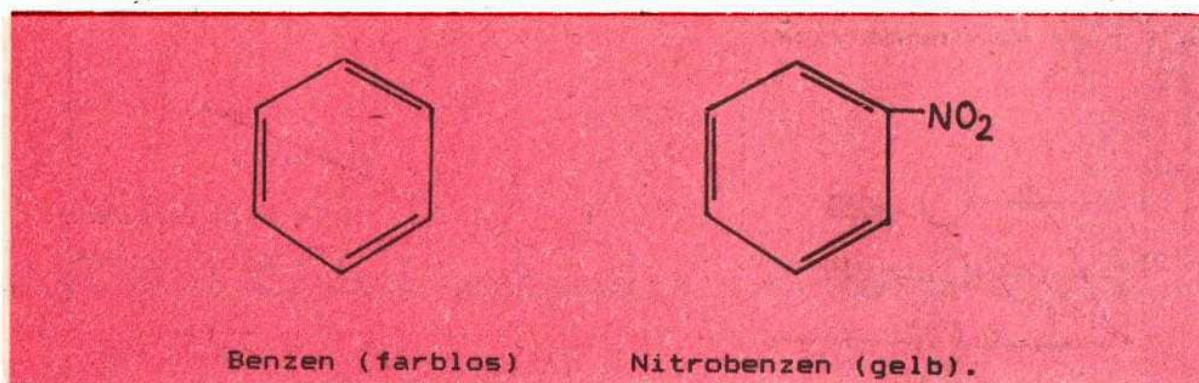


Andere Gruppen sind selbst keine Chromophore, üben aber mit Chromophoren gekoppelt, einen farbvertiefenden Effekt aus. Sie werden als Auxochrome bezeichnet. Dazu gehören u.a.



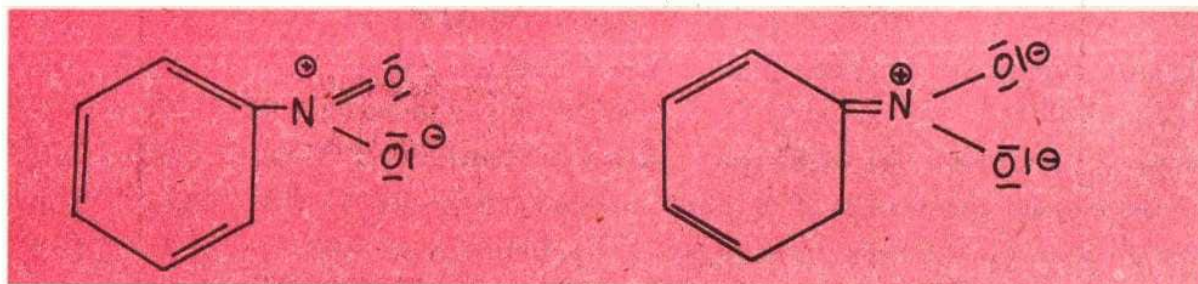
Bei einer Reihe anderer Gruppen, wie -NO_2 , können sowohl farbvertiefende, als auch farbaufhellende Effekte auftreten. Welcher Effekt eintritt, hängt von mehreren Faktoren ab, z.B. vom pH-Wert, dem Vorhandensein weiterer Auxochrome, von mesomeren und induktiven Effekten. Das Zusammenwirken aller Gruppen und Faktoren verursacht die Farbigkeit vieler Stoffe, falls ihre chemische Struktur Doppelbindungen (konjugierte Doppelbindungen) ent-

hält. Ein Beispiel dafür ist



Benzen enthält zwar ein konjugiertes Doppelbindungssystem, die Energiedifferenz zwischen bindendem und antibindendem MO ist jedoch so groß, daß nur das energiereiche UV-Licht eine Veränderung der Elektronenstruktur hervorrufen kann. Benzen erscheint uns deshalb farblos. Der Einbau der Nitrogruppe ($-\text{NO}_2$) hat zur Folge, daß durch den stark elektronegativen Sauerstoff dem Ring Elektronen entzogen werden. Dieser Effekt wird als " $-\text{M}$ "-Effekt bezeichnet (M für mesomerer Effekt; $-$ bedeutet elektronenentziehend).

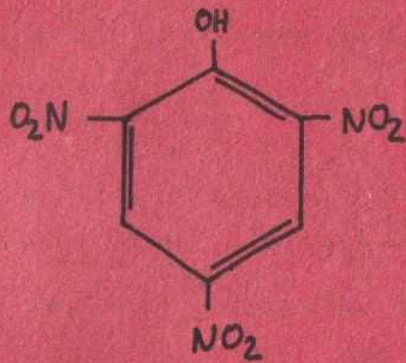
Es lassen sich dafür die folgenden beiden mesomeren Grenzstrukturen angeben:



Das System wird dadurch weiter delokalisiert. Infolge dessen kann nun Licht mit geringerer Energie (also mit größerer Wellenlänge) absorbiert werden. Das Nitrobenzen erscheint in gelber Farbe. Der Effekt der Verschiebung des Absorptionsmaximums nach größeren Wellenlängen wird als bathochromer Effekt bezeichnet. Im Gegensatz dazu heißt die Verschiebung zu kürzeren Wellenlängen hypsochromer Effekt.

Je nach Art des Chromophors unterscheidet man verschiedene Farbstoffklassen. Einige seien hier angeführt:

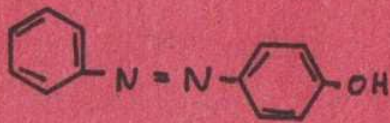
1.) Nitrofarbstoffe ($-\text{NO}_2$)



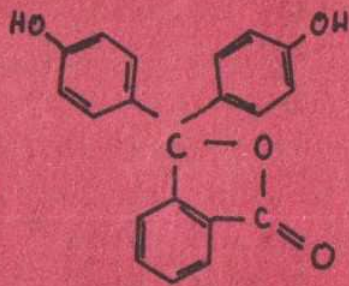
Pikrinsäure (2,4,6 Trinitrophenol)

2.) Azofarbstoffe ($-\text{N}=\text{N}-$)

4 Hydroxy-Azobenzen

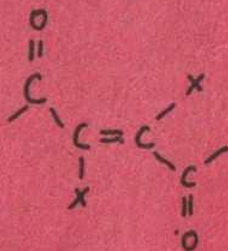


3.) Di-Triarylmethanfarbstoffe



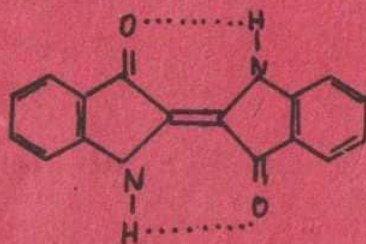
Phenolphthalein

4.) Indigoide Farbstoffe



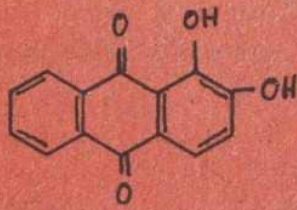
Grundgerüst (Kombination von Chromophoren)

$\text{X} = \text{NH}; \text{S}$



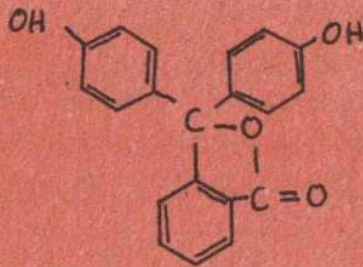
Indigotin (blau)

5.) Anthrachinonfarbstoffe

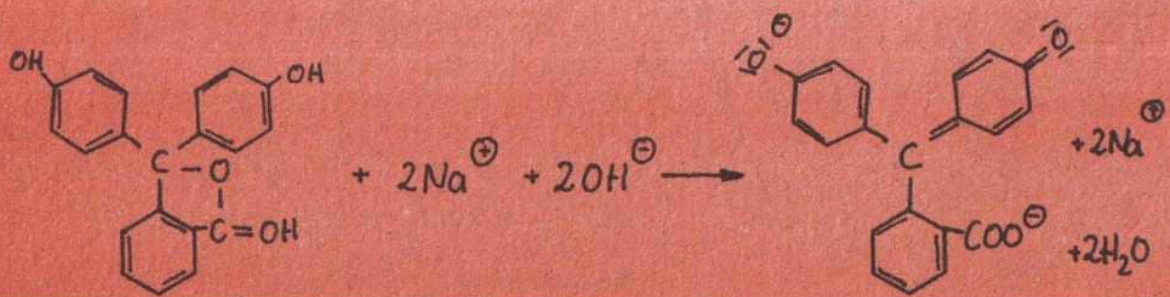


Alizarin (1,2-Dihydroxyanthrachinon)

Die Abhängigkeit der Farbigkeit einer Verbindung vom pH-Wert veranschaulichen wir uns am Beispiel des Phenolphthaleins. Es liegt in saurer Lösung als farblose Substanz vor.



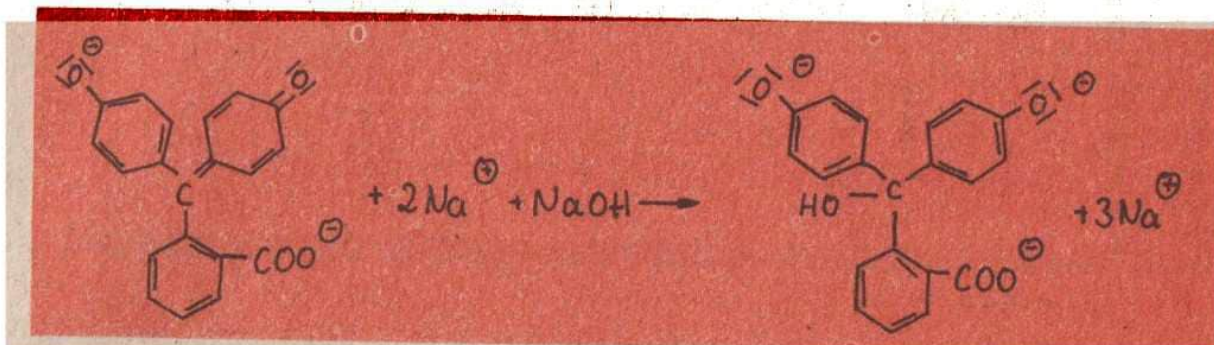
Bei Zugabe von starken Laugen (z.B. NaOH) findet folgende Reaktion statt.



Nunmehr besitzt das Phenolphthalein ein chinoides System als Chromophor - es besitzt eine rote Färbung.

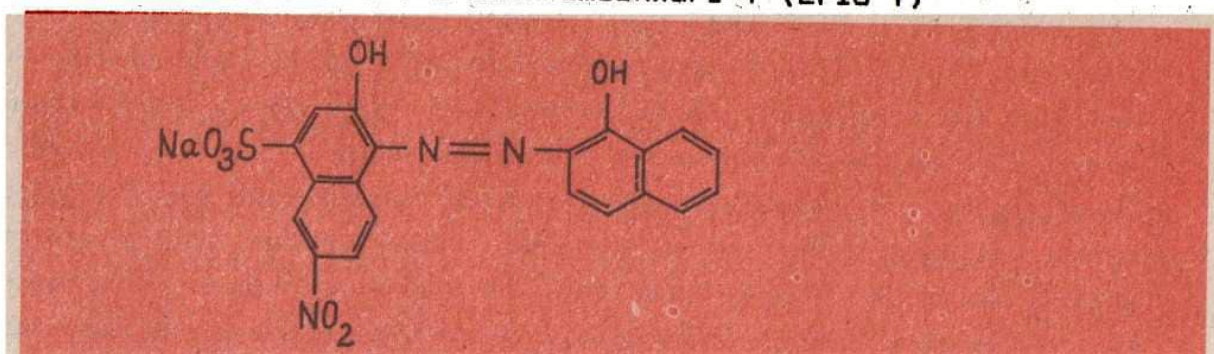


Bei weiterer Zugabe von NaOH wird das chinoides System aufgelöst.



Es entsteht das farblose Trinatriumsalz.

Eine interessante praktische Anwendung einer solchen pH-Abhängigkeit erfolgt bei der komplexometrischen Titration. Häufig wird hierbei der Farbstoff Eriochromschwarz T (Erio T)



als Metallindikator verwendet. Im Bereich von pH 7-11 hat er eine blaue Farbe. Läßt man in diesem Bereich Metallionen, z.B. Mg^{2+} , mit Erio T reagieren, so bildet sich ein Metall-Indikator-Komplex und die Lösung nimmt eine rötliche Färbung an. So kann man den genauen Äquivalenzpunkt bestimmen und auf diese Art und Weise eine recht genaue quantitative Analyse von Metallionen durchführen.

Damit wird deutlich, welchen Einfluß der pH-Wert und die damit verbundene strukturelle Veränderung auf die Farbigeit von chemischen Verbindungen besitzen.

BUCHERMARKT

N. Elsner, P. Böhmer und W. Fratzscher:
Aufgabensammlung zur Technischen Thermodynamik,
VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1987, 2. durchgesehene Auflage, 199 Seiten, Best.-Nr. 5420009, Preis 17,40 M.

Die soeben in zweiter Auflage erschienene Aufgabensammlung zur Technischen Thermodynamik wendet sich vornehmlich an Studierende des Verfahreningenieurwesens und Maschineningenieurwesens. Es enthält eine große Anzahl von Aufgaben. Im einzelnen findet man Aufgaben zu den folgenden Gebieten: Charakterisierung des thermodynamischen Zustandes, Prozeßgrößen, Bilanzen für Masse, Energie, Entropie und Exergie, technische Prozesse wie Kreisprozesse, Verbrennungs- und Reaktionsprozesse, Wärmeleitung und -durchgang, Konvektion sowie eine Reihe von Aufgaben komplexer Natur. Die Aufgabensammlung hält sich eng an das Lehrbuch "Grundlagen der Technischen Thermodynamik" von N. Elsner, was für den Studierenden einige Vorteile bringt, der eng mit diesem Lehrbuch arbeitet. Als besonders positiv kann man die durchgerechneten Beispiele jedes Abschnitts nennen. Das ist sehr förderlich für die selbständige Arbeit der Studenten mit der Aufgabensammlung. Für alle anderen Aufgaben ist lediglich das numerische bzw. graphische Resultat angegeben. Die Angabe des Lösungsansatzes würde die Arbeit für die Studenten im Selbststudium erleichtern. Insgesamt ist dieses Buch ein sorgsam zusammengestelltes Aufgabenwerk, das durch einige allgemein thermodynamische Problemstellungen, die kurze Angabe des Lösungsweges und die Aufnahme von Aufgabenstellungen moderneren Inhalts noch gewinnen könnte. Es ist in der Form geeignet für Studenten der eingangs erwähnten Studienrichtungen, jedoch nur bedingt für Studierende anderer Fächer.

L. Wendler, Jena

Unter dieser Überschrift erscheint eine Artikelserie, die sich mit physikalischen Hintergründen der Bildung von Strukturen in den verschiedenartigsten Systemen der Realität beschäftigt. Wir gewinnen dadurch einen Einblick in physikalische Wirkprinzipien der Evolution überhaupt.

Um uns einen Einblick in dieses überaus vielfältige Gebiet zu erhalten, müssen wir uns mit den verschiedenartigsten Themen beschäftigen.

Die Grobgliederung dieser Artikelserie sieht wie folgt aus:

1. Einleitung
2. Struktur und Entropie
 - Der Strukturbegriff
 - Wahrscheinlichkeit und Entropie
3. Thermodynamik und dissipative Strukturen
 - II. Hauptsatz und Selbstorganisation
 - Dissipative Strukturen in Physik und Chemie
 - Thermodynamik der Evolution der Metagalaxis und der Erde
 - Thermodynamik der Selbstorganisation lebender Systeme
 - Thermodynamik ökologischer Systeme
4. Grundlagen der linearen Thermodynamik irreversibler Prozesse
5. Grundlegende Wirkprinzipien der Evolution
 - Stabilität und Nichtlinearität
 - Mathematische Formulierung
 - Beispiele für mechanische und elektrische nichtlineare Systeme
 - Bistabilität
 - Selbstreproduktion
 - Konkurrenz und Selektion
 - Mutation

- Informationsspeicherung und -verarbeitung
- nichtlineare Thermodynamik irreversibler Prozesse und Evolutionskriterien
- Strategien der Evolution

Es wäre zu wünschen, daß diese Artikelserie einen kleinen Einblick in dieses moderne und hochinteressante Forschungsgebiet der Physik gibt.

1. Einleitung

1.1. Strukturbildung aus physikalischer Sicht

Die Methoden der theoretischen Physik dringen in den letzten Jahren immer mehr in alle Naturwissenschaften ein. Dies liegt zum Teil darin begründet, daß bestimmte physikalische Ideen für die anderen Naturwissenschaften fundamentale Bedeutung besitzen. Ein Beispiel für derartige Grundlagenideen bildet die Physik der Bildung von Strukturen aus homogenen, undifferenzierten Medien. Hier sind viele Probleme nur zum Teil gelöst, viele liegen noch völlig im Dunkeln. Es geht hierbei um die Klärung des seit über 100 Jahren offenen Grundwiderspruchs der Naturwissenschaften zwischen dem II. Hauptsatz der Wärmelehre nach CLAUSIUS und dem hohen Grad der Strukturiertheit der uns umgebenden Welt. Die Thermodynamik sagt eine Zunahme der Entropie in abgeschlossenen Systemen voraus, was, wie wir noch sehen werden, mit wachsender Unordnung verbunden ist. Im direkten Gegensatz dazu postuliert die DARWINsche Evolutionshypothese aufgrund des Selektionsprinzips eine Zunahme des Organisationsgrades biologischer Systeme. Der Widerspruch scheint vollkommen zu sein.

Viele Wissenschaftler bezogen deshalb eine einseitig orientierte Position. Bei den CLAUSIUS-Anhängern endete die Welt unausweichlich im umfassenden Chaos. Die Vertreter des biologisch orientierten Idealismus stellten dagegen das Evolutionsprinzip an die Spitze. Verbreitet waren auch Auffassungen, die von einer Trennung des organischen und anorganischen Bereichs ausgingen, bzw. die Gültigkeit thermodynamischer Prinzipien für lebende Systeme anfochten.

Es wurde auch versucht, die spontane Strukturbildung auf rein statistische Prozesse (makroskopische Fluktuationen) zurückzuführen.

ren. Alle Abschätzungen ergaben jedoch so unvorstellbar kleine Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten derartiger Fluktuationen, daß dieser Versuch als gescheitert gilt.

Einen entscheidenden Beitrag zum Verständnis der Evolution lieferte die Anwendung kybernetischer Gedankengänge. Die Kybernetik ist die allgemeine Strukturwissenschaft, die von den besonderen Bewegungsformen der Materie abstrahiert. Die kybernetische Modellierung des Evolutionsprozesses als sich *selbstregulierender, selbstorganisierender* Prozeß hat wesentlich zur Aufklärung des erwähnten Grundwiderspruchs beigetragen.

Die Kybernetik kann allerdings keine Aussagen über die *physikalischen Grundlagen* der Entstehung von Relationen, Rückkopplungen usw. machen.

Diese Aspekte können nur von der Physik beantwortet werden. Die zentrale Frage hierbei ist, wie ohne Widerspruch zum II. Hauptsatz spontan Strukturen in molekularen Systemen entstehen können. Wir wissen heute, daß sich in *offenen* Systemen, denen von außen ständig Energie und Stoff zugeführt wird, *stationäre Nichtgleichgewichtszustände* mit *hohem Ordnungsgrad* ausbilden können. Infolge der großen Abweichungen vom Gleichgewicht wird ihr Verhalten durch nichtlineare Gleichungen beschrieben und es können mehrere *stationäre* Lösungen existieren. Durch Stabilitätsanalyse findet man die physikalisch relevante Lösung, die gegenüber Fluktuationen stabil ist.

Zusammenfassend spielen folgende Prinzipien bei der Strukturbildung eine wesentliche Rolle:

1. Große Abweichungen vom Gleichgewicht
2. Offene Systeme
3. Nichtlinearität der Grundgleichungen
4. Stabilität gegenüber Fluktuationen
5. Verstärkung der Abweichungen bei instabilen Zuständen
6. Spontane Strukturbildung und Selbstorganisation
7. PRIGOGINE-GLANSDORFF-Evolutionsprinzip.

1.2. Selbstorganisation und Evolution

In den letzten Punkten des vorigen Abschnitts wurden die nun entscheidenden Stichworte erwähnt.

(Fortsetzung auf S.26)

Inhaltsverzeichnis „Impuls 68“ 21. Jahrgang (1987)

Titel		Autor	Heft	Seite
PHYSIK				
Die Grundlagen des	(1)	Damm	1	26
Farbfernsehens	(2)	Damm	4	17
	(3)	Damm	5	15
Programmieren leicht	(7)	Löhr	2	35
verständlich	(8)	Löhr	3	13
Kernkraft: Ja oder		Kroll	1	19
Nein, danke?				
Excimer-Laser in der		König	4	22
Herzchirurgie				
Prüfmethoden für Holz		Horn, Hampel	5	3
		Zschoch, Peschke,		
		Laube		
Newtonsche Axiome und		Liebscher	6	25
Relativitätstheorie				
BIOLOGIE				
AIDS	(1)	Niehardt, König	1	40
	(2)	Niehardt, König	2	22
Die Gifte der Spinnen-		Martinetz	1	11
tiere				
Lurche-Giftstarrende		Martinetz	2	3
Wesen				
Friedensfähigkeit des		Pittelkow	4	3
Menschen aus der Sicht				
der Anthropologie				
CHEMIE				
Das wellenmechanische	(2)	Oertel	1	3
Atommodell	(3)	Oertel	2	29
	(4)	Oertel	3	25

	(5)	Oertel	4	31
Internationale Chemie-olympiaden		Bauer	4	15
Anorganische Chemie und Schlüsseltechnologien		Kolditz	6	9

ASTRONOMIE

Molekülwolken und die Sternentstehung	(1)	Henning, Stecklum	2	11
	(2)	Henning, Stecklum	3	38
	(3)	Henning, Stecklum	5	35
Astronomische Koordinatentransformationen (Programmieren (9))		Reimann	5	8
Supernova 1987A		Stecklum	4	39

GESCHICHTE u.a.

Mendelejew		König	1	35
Der ewige Student zu Jena		König	2	9
Gustav Hertz		Hoffmann	6	37
Tagung der Physikalischen Gesellschaft		Niehardt	3	3
20 Jahre 'impuls 68'		Wilhelmi	6	3
Aus den Anfängen von 'impuls'		Jähnig	6	5

WISSENSWERTES			6	47
---------------	--	--	---	----

PHYSIKAUFGABE			6	45
---------------	--	--	---	----

BUCHERMARKT			2	43
-------------	--	--	---	----

4 45

5 20

BASIC-EXTRA (Sonderheft)			1	48
--------------------------	--	--	---	----

Unter Selbstorganisation verstehen wir einen irreversiblen, d.h. unumkehrbaren Prozeß, der durch das kooperative Wirken von Teilsystemen zu komplexeren Strukturen des Gesamtsystems führt. Die Strukturbildung ist also eine Grundlage der Selbstorganisation. Diese wiederum ist der Elementarprozeß der Evolution, die als unbegrenzte Folge von Prozessen der Selbstorganisation verstanden wird. Unter Selbstorganisation wollen wir hier dissipative, d.h. mit Energieentwertung verbundene Selbstorganisation verstehen. Daneben gibt es weitere Formen der Selbstorganisation wie die konservative Selbstorganisation (Strukturbildung der Kristalle usw.) und die dispersive Selbstorganisation (Bildung von Solitonenstrukturen).

Die Physik der Selbstorganisation entstand im wesentlichen aus folgenden Disziplinen:

- a) Thermodynamik irreversibler Prozesse in offenen Systemen
- b) Nichtlineare Mechanik, Elektro- und Laserphysik
- c) Chemische Kinetik weitab vom Gleichgewicht
- d) nichtlineare Populationsdynamik und Ökologie
- e) nichtlineare Regeltechnik, Kybernetik und Systemtheorie

Man muß sich fragen, ob es möglich ist, von einer Physik der Selbstorganisation zu einer Physik der Evolution zu gelangen. Dazu ist folgendes zu sagen: Die Gesetze der Physik sind auch im Bereich der Evolution uneingeschränkt gültig. Die Physik steckt somit einen allgemeinen Rahmen auch für Evolutionsprozesse ab, indem sie Möglichkeiten und Verbote formuliert. Andererseits ist die Physik allein nicht in der Lage, die Grundgesetze und das Wesen der Evolution zu erkennen, da hier sehr komplexe Aspekte wesentlich werden. Das Anliegen sollte daher darin bestehen, dem Evolutionsforscher alle die gesicherten Erkenntnisse der Physiker zuzuarbeiten, die für die Bearbeitung des außerordentlich komplizierten Problems der Evolution von Nutzen sein können.

1.3. Kurze Geschichte der Evolution

Dieser Abschnitt muß sehr kurz gehalten werden. Es wäre möglich, hier ganze Bände zu füllen.

Die Geschichte der Evolution ist die Geschichte der Entstehung

immer komplexerer Strukturen aus einfacheren.

Wesentliche Phasen der Evolution der von uns überschaubaren Welt waren folgende:

- kosmische Evolution: Urknall, Bildung von Atomen und Molekülen, Entstehung der Galaxien, Sterne und Planeten
- chemische Evolution: Bildung des Systems der chemischen Elemente und Verbindungen, Entstehung organischer Verbindungen, Polymerisation zu organischen Kettenmolekülen
- geologische Evolution: Herausbildung der Krustenstruktur der Erde, der Gebirge, Gewässer usw.
- Evolution der Urzelle: Selbstorganisation der Biopolymere, räumliche Individualisierung, Entstehung einer molekularen "Sprache"
- Darwinsche Evolution: Entwicklung der Arten von Pflanzen und Tieren
- Evolution des Menschen: Entwicklung der Arbeit, der Sprache und des Denkens
- Evolution der Gesellschaft: Entwicklung der Arbeitsteilung, der Organisation, der Technik, der Gesellschaftsformationen usw.
- Evolution der Information und des Informationsaustausches: Entwicklung der Kommunikation des Wissens, der Wissenschaften usw.

Die Geschichte der Evolutionsprozesse kann hier nicht dargestellt werden. Statt dessen begnügen wir uns mit einem zeitlich stark verkürztem Evolutionskalender:

Kalender der Evolution mit einem zeitlichen Verkürzungsfaktor von $1:2 \cdot 10^{10}$:

Frühjahr	Explosion des Kosmos (heißer Urknall)
Juni	Entstehung der Milchstraßen, Galaxie
September	Entstehung des Sonnensystems und Bildung des Planeten Erde
Oktober	erste Lebewesen, älteste bekannte Sedimentgesteine, älteste bekannte Fossilien von Mikroorganismen
November	sauerstoffproduzierende Mikrobionten breiten sich aus, Entwicklung der Sexualität, Auftreten photosynthetisierender Pflanzen, erste

		mitosefähige Zellen mit echtem Kern (Eukaryoten)
Anfang Dezember		Bildung einer stark sauerstoffhaltigen Atmosphäre, intensive Vulkanausbrüche, Ausprägung einer meiotisch-sexuellen Fortpflanzung
Mitte Dezember		Entwicklung heterotropher Einzeller, erste mehrzellige Organismen, Beginn des makroskopischen Lebens
20.12.		Entstehung der Avertebraten
21.12.		erstes ozeanisches Plankton, Blüte der Trilobiten
22.12.		Periode des Ordovoziums: erste Vertebraten
23.12.		Periode des Silur: Gefäßporenpflanzen besiedeln das Festland
24.12.		Periode des Devon: erste Insekten, Lebewesen besiedeln das Festland, erste Amphibien, fliegende Insekten
25.12.		Periode des Karbon: erste Farnpflanzen, erste Reptilien
26.12.		erste Dinosaurier
27.12.		Periode des Trias: erste Säugetiere
28.12.		Periode des Jura: erste Vögel
29.12.		Periode der Kreide: erste Blütenpflanzen, Aussterben der Saurier
30.12.		Epoche des Tertiär: erste Primaten, Blüte der Säugetiere, erste Hominiden
31.12.	14:00:00	Entstehung des Proconsul und des Ramapithecus
	22:30:00	erste Menschen
	23:00:00	Gebrauch von Steinwerkzeugen
	23:59:00	Erfindung des Ackerbaus
	23:59:30	erste Städte
	23:59:54	Erfindung der Schrift
	23:59:56	Bronzemetallurgie
	23:59:57	Eisenmetallurgie
	23:59:59	euklidische Geometrie, archimedische Physik
	24:00:00	Beginn der Zeitrechnung
01.01.	00:00:01	Einführung der Null und der Dezimalzahlen
	00:00:02	Renaissance und moderne Wissenschaft
	00:00:03	jetzt

Man erkennt mühelos die enorme Beschleunigung des Evolutionsvorganges mit zunehmender Evolutionszeit. Die tieferen Ursachen für diese Beschleunigung sieht man heute in einer Evolutionsrückkopplung, die darin besteht, daß die Evolutionsmechanismen auf ihre Ursachen selbst zurückwirken.

Wählt man als eine mögliche Maßzahl die Größe der jeweils zu Gesamtheiten integrierten Strukturen, so folgt die Evolution einem Exponentialgesetz, daß einige qualitative Sprünge aufweist.

Phase	Integrationsgrad	Zeit der Verdopplung
vorbiologische Phase	10^{25} Nukleonen (Makromoleküle)	500 Millionen Jahre
biologische Phase	bis 10^{27} Nukleonen (Säugetiere)	50 Millionen Jahre
intellektuelle Phase	10^{40} Nukleonen (Menschheit+Prod.-mittel)	100 000 Jahre

Selbst wenn man für die ferne Zukunft die Aufnahme kosmischer Verbindungen unterstellt (kosmische Phase), führt eine Extrapolation dieser Abschätzungen bald auf ein physikalisches "Haltzeichen", daß durch die Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit und der Masse des Kosmos (10^{77} Protonen) gesetzt wird. Mit einiger Wahrscheinlichkeit kann man annehmen, daß die Beschleunigung der intellektuellen Phase unseres Planeten in einen stationären Zustand der Erde einmünden wird, der durch einen maximalen Integrations- und Kooperationsgrad gekennzeichnet ist.

Spekulativ sind alle Betrachtungen über die fernere Zukunft unseres Universums.

1.4. Zur allgemeinen Struktur von Evolutionsprozessen

Evolutionierende Systeme durchlaufen eine Folge von Zuständen verschiedener Qualität. Dabei spielen verschiedene Faktoren eine wesentliche Rolle. Die Analyse dieser Mechanismen ist von grundlegender Bedeutung für die Ausarbeitung einer Evolutionstheorie. Eine der fundamentalen Fragen lautet: Welches sind die notwendi-

gen physikalischen Bedingungen für Evolutionsprozesse ?

Wir können uns hier nur mit dieser Frage beschäftigen. Es zeigt sich, daß aus physikalischer Sicht folgende Faktoren von Bedeutung sind:

1. Fähigkeit zum Entropieexport durch Energie- und Stoffaustausch mit der Umgebung
2. Gleichgewichtsferne, überkritischer Abstand vom thermodynamischen Gleichgewicht, Charakter einer "dissipativen Struktur"
3. nichtlineare Dynamik des Systems
4. Fähigkeit zur Selbstreproduktion, d.h. Herstellung relativ genauer Kopien des Systems
5. Endlichkeit der Lebensdauer eines Systems und damit verbundener ständiger Generationswechsel und Erneuerungsprozeß
6. Multistabilität, d.h. Existenz mehrere stabiler Zustände des Systems, Abhängigkeit des aktuellen Zustandes von der Vorgeschichte, potentielle Fähigkeit zur Speicherung von Informationen
7. Selektion durch Auslese günstiger Systeme oder Mechanismen aus einer Vielzahl von Möglichkeiten im Ergebnis eines Konkurrenzprozesses
8. Zufällige Fehler beim Reproduktionsprozeß als Quelle neuer Strukturen, Mechanismen und Informationen (Mutation)
9. Informationsverarbeitung, d.h. Fähigkeit zur Erzeugung, Speicherung, Weiterleitung und Nutzung von Informationen
10. Fähigkeit zur Optimierung und Anpassung an wechselnde äußere Bedingungen, Existenz von Optimierungskriterien

Es wäre ohne weiteres möglich, dieser Liste noch Dutzende von Punkten hinzuzufügen. Wir beschränken uns jedoch auf diese wesentlichen physikalischen Bedingungen.

Nach dieser relativ umfangreichen Einleitung mit vielen neuen und unbekannten Begriffen werden wir uns in den nächsten Folgen systematisch mit den hier vorgestellten Problemen der Theorie der dissipativen Strukturbildung, Selbstorganisation und Evolution beschäftigen und uns diese Theorie an vielen Beispielen deutlich machen.

Jeder lebende Organismus besitzt Sensoren, mit deren Hilfe er Veränderungen seiner Umwelt und seines eigenen Stoffwechsels wahrnimmt, um entsprechend darauf zu reagieren. Solche biotischen Rezeptoren arbeiten mit extrem niedrigen Reizschwellen von ungefähr 10^{-17} W. Auch bei vorhandener Signalintensität erfassen sie geringfügigste Änderungen. Die Funktionsweise eines Sinnesorgans ist sehr kompliziert und konnte noch nicht vollständig aufgeklärt werden. Wenn man aber eine biologisch aktive Substanz (Enzyme, Antikörper, Organellen, Zellen) mit elektronischen Meß- und Anzeigegeräten koppelt, erhält man eine neuartige Klasse von Meßelementen, die der Biosensoren. Sie verbindet die hohe Selektivität biologischer Substanzen mit der Signalverarbeitung der Elektronik.

Der allgemeine Aufbau eines Biosensors ist in Abb.1 gezeigt. Die bioaktive Substanz (1), die jeweils nur einen ganz spezifischen

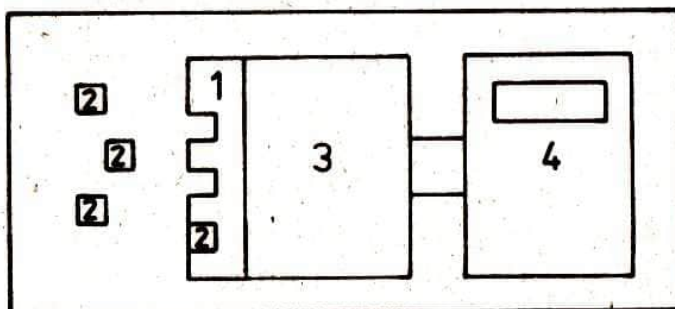


Abb.1

Stoff (2) umsetzt, ist vor einem Signalumwandler (engl. Transducer) (3) fixiert. Diese Fixierung, auch als Immobilisierung bezeichnet, kann dabei auf verschiedene Weise realisiert werden. Der Signaltransducer wandelt die bei der Bindung des Substrates an die bio-

aktive Substanz entstehenden biochemischen Signale in elektronisch verarbeitbare um. Die entstehenden elektrischen Signale werden

verstärkt und angezeigt (4). Hinsichtlich Bekanntheit und wirtschaftlicher Nutzung sind unter den Biosensoren die Enzymelektroden am weitesten entwickelt. Als bioaktive Substanz wird hierbei ein Enzym genutzt.

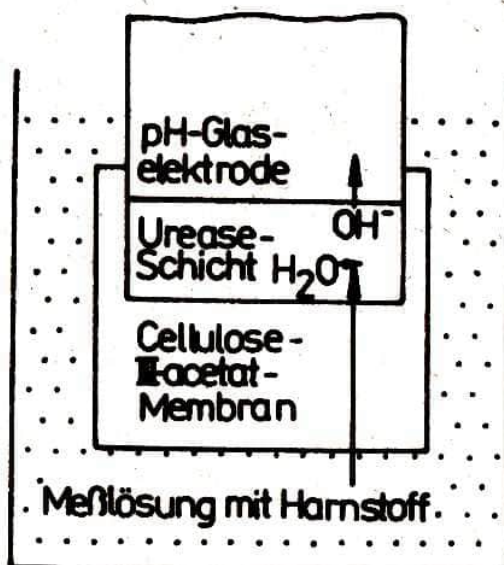
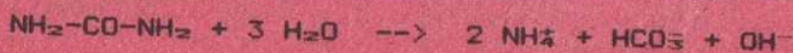
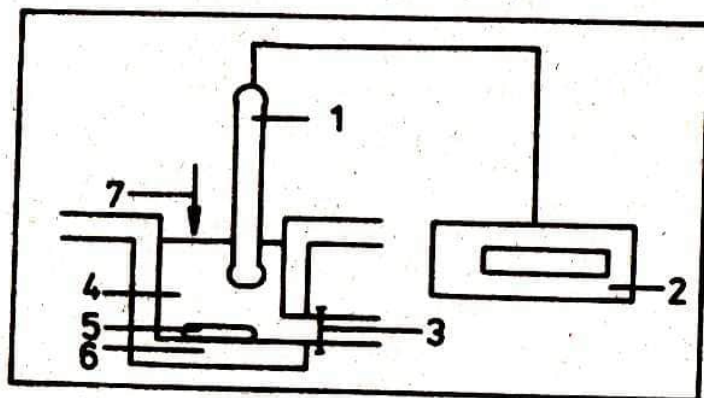


Abb.2

Am Beispiel der Enzymelektrode, die das harnstoffspaltende Enzym Urease nutzt, möchte ich Aufbau und Funktion erläutern. Mit dieser Enzymelektrode habe ich mich im Rahmen meines Leistungsauftrages beschäftigt; sie ist wie folgt aufgebaut. Vor einer pH-Elektrode wird eine Schicht Urease durch eine Cellulose-III-acetat-Membran fixiert. Diese Elektrode taucht in die Grundlösung ein. Nach der Zugabe von Harnstoff diffundiert dieser durch die Membran in die Enzymschicht. Dort läuft folgende Reaktion ab:



Die entstehenden Hydroxidionen ändern den pH-Wert der Lösung. Diese Änderung wird mit der pH-Elektrode gemessen und ist von der Harnstoffkonzentration in der Lösung abhängig (siehe Abb.2). In



Meßaufbau:

- 1 - Enzymelektrode
- 2 - pH-Meter
- 3 - Absaugung
- 4 - Meßlösung
- 5 - Rührung
- 6 - Temperierung
- 7 - Probenzugabe

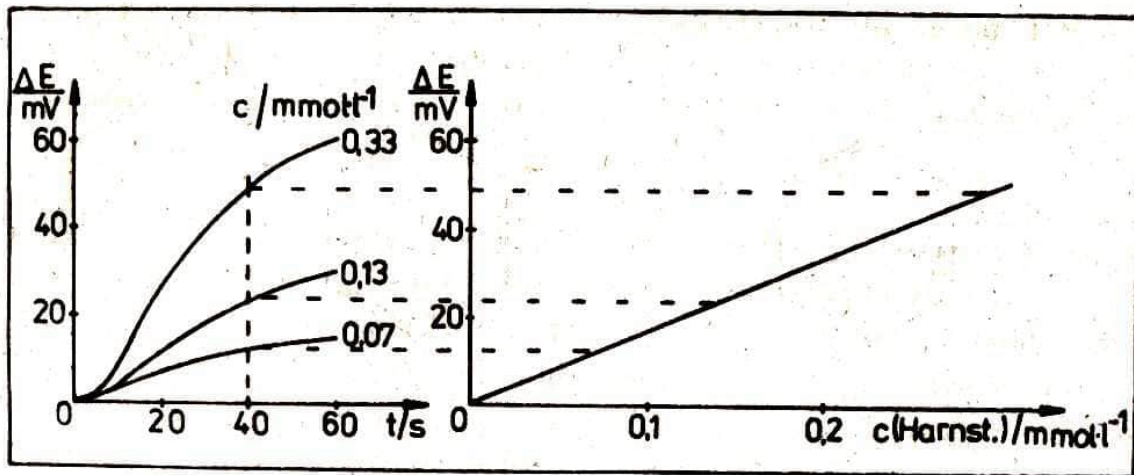


Abb. 3

Abb. 3 ist die zeitliche Abhängigkeit der Elektrodenpotentialänderung, welche die pH-Wertänderung ausdrückt, von der Harnstoffkonzentration gezeigt. Stellt man die jeweils in den ersten Zeitabschnitten vorhandene maximale Geschwindigkeit und die zugehörige Harnstoffkonzentration in einer bestimmten Weise graphisch dar (Lineweaver-Burk-Diagramm), so lassen sich die Enzymkonstanten K_M und v_{max} bestimmen (siehe Abb. 4). Dabei ist v_{max} die maximale

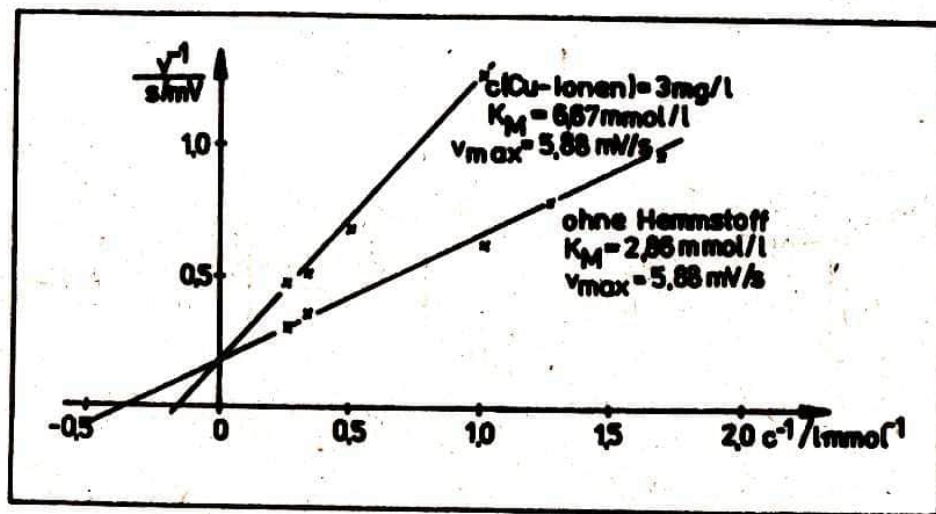


Abb. 4

Umsetzgeschwindigkeit, mit der das Enzym das Substrat umsetzen kann. Die sogenannte Michaeliskonstante K_M ist die Substratkonzentration, bei der die halbe maximale Umsetzgeschwindigkeit vorliegt. Die Elektrodenpotentialänderung ist der Harnstoffkonzentration proportional (siehe Abb. 3).

Mit der beschriebenen Enzymelektrode läßt sich somit auf ein-

fache Weise die Harnstoffkonzentration in verschiedenen Lösungen (z.B. in der Spüllösung einer künstlichen Niere) bestimmen. Ein entsprechendes Gerät ist im Institut in Berlin-Buch entwickelt worden.

Im Rahmen dieser Arbeit habe ich einen weiteren Effekt untersucht. Die Umsatzgeschwindigkeit der Enzymelektrode sinkt bei Zugabe bestimmter Substanzen, z.B. Metallionen, Fluoridionen, weil die Urease durch diese ganz oder teilweise inaktiviert wird. Diese Hemmung der Enzymaktivität wird als Inhibierung bezeichnet. Die Enzymelektrode setzt bei Inhibitoreinwirkung in der gleichen Zeit weniger Harnstoff um. Die damit verbundene Abnahme der pH-Wertänderung ist von der Konzentration des Inhibitors abhängig.

Viele der Ureaseinhibitoren sind anorganische Wasserinhaltsstoffe. Die Analyse von Wasser, vor allem von Abwasser, wird größtenteils durch aufwendige naßchemische Methoden realisiert. Mittels eines Enzymelektroden-Verfahrens würde sich die Wasseranalyse wesentlich ökonomischer und arbeitssparender gestalten. Deshalb habe ich Möglichkeiten des Einsatzes von Enzymelektroden zur

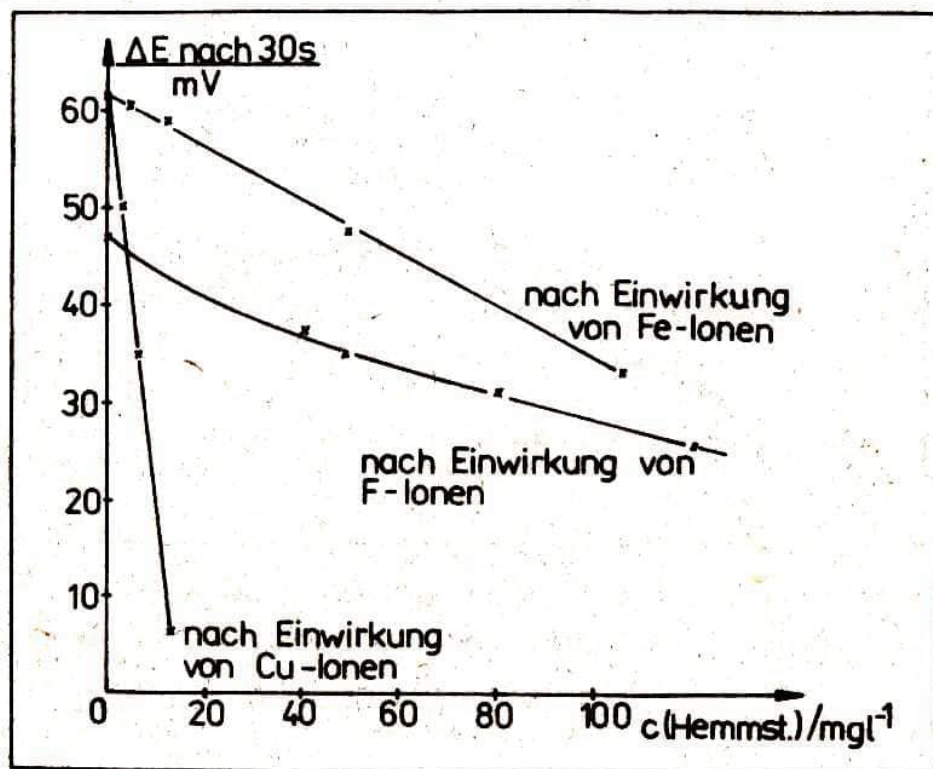


Abb. 5

Analyse ionischer Wasserinhaltsstoffe untersucht. In Abb.4 ist der Einfluß von Cu-Ionen auf die Enzymkonstanten zu erkennen. Die maximale Umsetzungsgeschwindigkeit bleibt konstant, die Michaeliskonstante vergrößert sich. Die Cu-Ionen verdrängen den Harnstoff vom aktiven Zentrum der Urease und verhindern so den Umsatz des Substrates. Die Abnahme der Enzyaktivität, ausgedrückt durch die pH-Wertänderung in 30 s, ist der Cu-Ionenkonzentration proportional (siehe Abb.5).

Bei der Hemmung durch Cu-Ionen tritt die Schwierigkeit auf, daß diese nicht ohne weiteres reversibel ist. Durch die Anwendung einer speziellen Aktivierungslösung gelingt es, die immobilisierte Urease wieder fast vollständig arbeitsfähig zu machen.

Auch Fe-Ionen hemmen die Urease in gleicher Weise wie Cu-Ionen, wobei jedoch die Abnahme der Enzymaktivität durch diese Ionen wesentlich geringer ist (siehe Abb.5). Bei der Hemmung durch F-Ionen, die Überwachung des Fluoridgehaltes ist vor allem bei der Trinkwasserfluoridierung von Bedeutung, tritt ein etwas anderes Verhalten auf. F-Ionen hemmen reversibel, eine Aktivierung ist also nicht nötig. Mit steigender Harnstoffkonzentration nimmt die Enzymaktivität exponentiell ab.

Die verschiedenen Wasserinhaltsstoffe beeinflussen die Arbeit der Enzymelektrode auf unterschiedliche Weise. Eine qualitative Wasseranalyse ist nicht möglich. Wenn die Zusammensetzung aber annähernd bekannt ist, wie das auf Abwässern aus ganz bestimmten Industriezweigen zutrifft, kann das Verfahren nach weiterer Optimierung gut zur ständigen Grenzwertkontrolle eingesetzt werden.

Unterstützung erhielt ich von Prof. Scheller im Rahmen eines Fördervertrages mit dem Zentralinstitut für Molekularbiologie Berlin-Buch und dem VEB Halbleiterwerk Frankfurt/Oder, das den Meßplatz zur Verfügung stellte. Vom Institut "K. Schwabe" (Meinsberg) erhielt ich das pH-Meßgerät. Bei der Durchführung der Untersuchungen wurde ich von Herrn Hamann, Mitarbeiter des Zentralinstitutes für Molekularbiologie, angeleitet. Ich möchte mich bei allen, die mir diese Untersuchungen ermöglicht haben, bedanken. Durch diese Arbeit lernte ich Methoden der wissenschaftlichen Forschungsarbeit kennen, und sie stellt sicher eine gute Vorbereitung auf mein Studium dar.

5. Das SECAM-Verfahren

Im letzten Teil dieser Reihe wollen wir das SECAM-Verfahren erläutern. SECAM ist die Abkürzung von *sequentielle, a memoire*, zu deutsch: sequentielle Übertragung und Speicherung. Vorgeschlagen wurde dieses Übertragungsverfahren von Henry de France; entwickelt wurde es in Frankreich und der Sowjetunion.

Wie bei allen anderen Farbfernsehverfahren werden auch beim SECAM-System neben dem bereits erläuterten Leuchtdichtesignal $Y = 0,3R + 0,59G + 0,11B$ nur die beiden Farbdifferenzsignale $R-Y$ und $B-Y$ übertragen. Die Übertragung der Farbdifferenzsignale erfolgt beim SECAM-Verfahren jedoch nicht gleichzeitig, sondern abwechselnd nacheinander (sequentiell). Der Farbhilfsträger ist daher abwechselnd von Zeile zu Zeile mit nur einem der beiden Farbdifferenzsignale moduliert, wobei im Gegensatz zum PAL- und NTSC-Verfahren eine Frequenzmodulation angewendet wird. Das zu übertragende Signal wird dabei in eine Frequenzverschiebung des Farbhilfsträgers umgewandelt. Im Empfänger wird diese Frequenzverschiebung wieder in einen Spannungswert, d.h. die Amplitude des entsprechenden Farbdifferenzsignals, zurückverwandelt. Da bei diesem Modulationsverfahren der Träger mit übertragen wird, und nicht wie beim PAL- und NTSC-Verfahren im Empfänger regeneriert werden muß, werden die vor allem beim letztgenannten Verfahren auftretenden Phasenfehler vermieden. Deshalb ist es möglich, mit dem SECAM-Verfahren auch über sehr lange Übertragungswege mit wechselnden Phasenverhältnissen eine Farbbildübertragung zu realisieren.

In Abb.1 ist das Prinzip eines SECAM-Coders dargestellt. Der Zeilenumschalter schaltet abwechselnd das $(R-Y)$ - bzw. $(B-Y)$ -Signal an den Hilfsträgermodulator. Beispielsweise wird das $(R-$

Y)-Signal nur in jeder zweiten Zeile übertragen. Als Folge davon ist das Farbauflösungsvermögen in vertikaler Richtung geringer

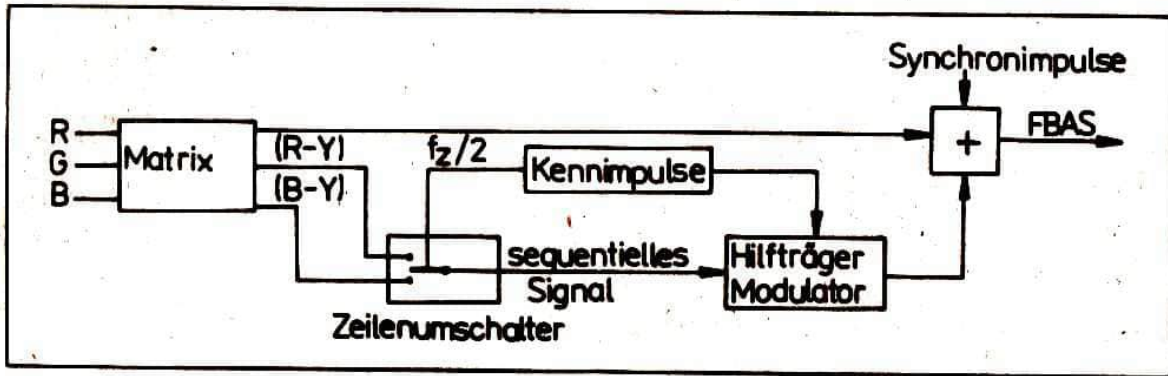


Abb.1

als bei den anderen Verfahren. Allerdings stört das wenig, da das Auflösungsvermögen des Auges bei Farben gegenüber Helligkeitsunterschieden stark verringert ist. Im Hilfsträgermodulator wird das sequentielle Signal dem entsprechenden Hilfsträger aufmoduliert und zur Summierstufe weitergeleitet. Für die Ruhefrequenzen (Farbdifferenzsignal = 0) und den Frequenzhub (für maximales Farbdifferenzsignal) wurden aus Optimierungsrechnungen für ein günstiges Übertragsverhalten des Gesamtsystems folgenden Werte abgeleitet:

- Die Ruhefrequenzen sind ganzzahlige Vielfache der Zeilenfrequenz, damit Moire-Störungen durch den Farbhilfsträger in Schwarz-Weiß-Fernsehgeräten unbeweglich, d.h. zeilenstarr, bleiben. Es wurde festgelegt:

$$f_0(B-Y) = 272 \cdot f_z = 4,25000 \text{ MHz}$$

$$f_0(R-Y) = 282 \cdot f_z = 4,40625 \text{ MHz.}$$

Um den Einfluß des Hilfsträgers in Schwarz-Weiß-Empfängern (Störmoire) weiter zu unterdrücken, wird während jeder dritten Zeile und nach jedem Halbbild die Phase des Farbhilfsträgers zur Zeilenfrequenz um 180° gedreht. Man gelangt dadurch zu einem kompliziertem Raster, das sich nach 12 Halbbildern wiederholt, erreicht aber damit eine nur sehr geringe Störung bzw. gute Kompatibilität.

Da maximale Farbdifferenzsignale nur bei gesättigten Farben,

also recht selten auftreten, wurden die Frequenzanteile auf folgende Normwerte bzw. Maximalwerte begrenzt:

Norm	Maximum
$f(B-Y) = \pm 280 \text{ kHz}$	+ 350 kHz
	- 500 kHz
$f(R-Y) = \pm 230 \text{ kHz}$	+ 500 kHz
	- 350 kHz.

Die unterschiedlichen Werte für die beiden Farbdifferenzsignale berücksichtigen den unterschiedlichen Anteil der drei Grundfarben am Leuchtdichtesignal und die -Korrektur (Korrektur des Kennlinienverlaufs der Bildröhre).

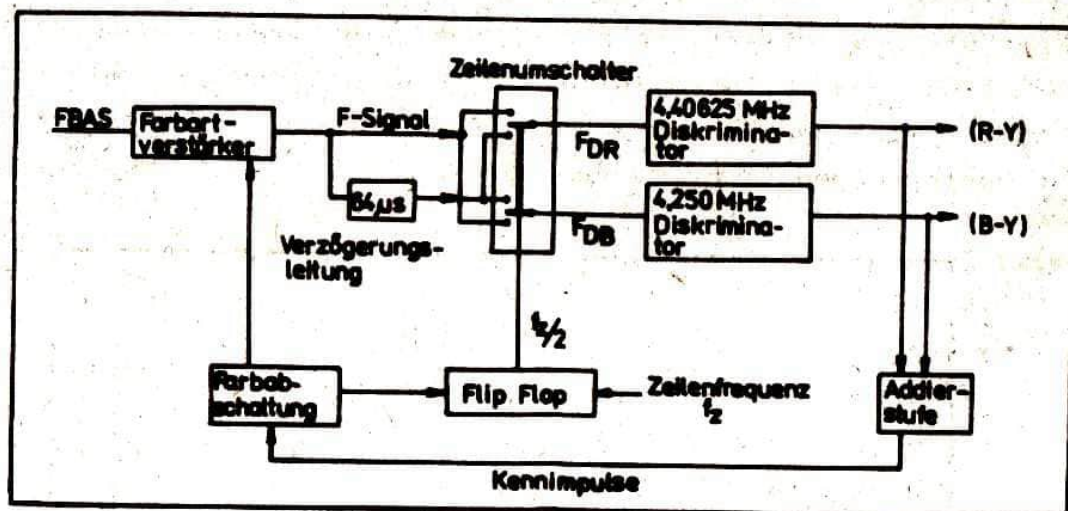


Abb. 2

In Abb. 2 ist das Blockschaltbild eines SECAM-Decoders dargestellt. Im Farbsignalverstärker wird aus dem FBAS-Signal das Farbsignal F ausgelekt und verstärkt. Dieses Signal enthält abwechselnd von Zeile zu Zeile das (B-Y)- oder (R-Y)-Farbdifferenzsignal. Der Empfänger benötigt allerdings gleichzeitig beide Farbdifferenzsignale. Dieses Problem wird mit einer Verzögerungsleitung gelöst, die wie beim PAL-Verfahren das Signal für eine Zeilendauer ($64 \mu\text{s}$) verzögert bzw. speichert. Es stehen also beide Farbdifferenzsignale gleichzeitig zur Verfügung: Ein Signal wird gerade übertragen und für die nächste Zeile eingespeichert; das andere Signal wurde in der vorhergehenden Zeile über-

tragen und kommt in der aktuellen Zeile aus dem Speicher (Verzögerungsleitung). Um das richtige Signal an den jeweiligen Frequenzdemodulator bzw. Diskriminator zu führen, folgt ein zweifacher Umschalter, der von Zeile zu Zeile umgeschaltet wird. In den beiden Diskriminatoren werden die Farbdifferenzsignale zunächst in ihrer Amplitude begrenzt, um Störungen zu verringern und anschließend die augenblickliche Frequenz des Signals in eine proportionale Spannung umgewandelt. Diese Spannung stellt bereits das entsprechende Farbdifferenzsignal dar.

Damit die elektronische Umschaltung richtig erfolgt, z.B. das F_{OR} -Signal auch zum Rot-Diskriminator gelangt, ist eine Farbsynchronisation nötig. Dazu werden vom Sender während der (im Bild nicht sichtbaren) Zeilen 7 bis 15 bzw. 320 bis 328 trapezförmige Kennimpulse übertragen. In diesen Zeilen ist der Farbhilfsfräger zunächst unmoduliert, d.h. er hat seine Grundfrequenz f_0 (abwechselnd von Zeile zu Zeile 4,25 bzw. 4,40 MHz). Wie in Abb.3 gezeigt, wird dann die Frequenz trapezförmig auf die dem Maximalhub entsprechenden Werte von 3,90 MHz bzw. 4,75 MHz geändert.

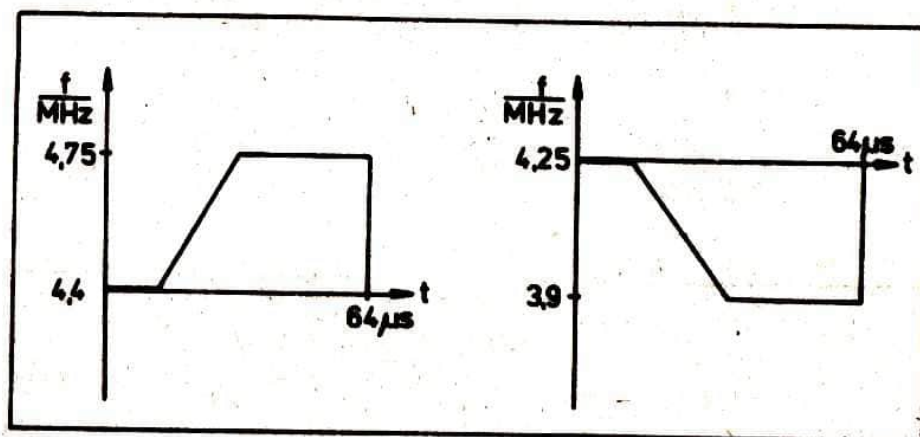


Abb.3

Dabei wird auch die Amplitude des Hilfsträgers trapezförmig erhöht. Im Decoder erscheinen diese Kennimpulse genau so wie die Farbdifferenzsignale nach den Diskriminatoren als Trapezimpulse wieder. Die Frequenz von 3,90 MHz erzeugt dabei einen negativen Impuls, die Frequenz von 4,75 MHz eigentlich einen positiven. Da aber das $(R-Y)$ -Signal zur Verbesserung der Übertragungseigenschaften ein negatives Vorzeichen erhält (es wird $-(R-Y)$ übertragen), entsteht auch nach dem $(R-Y)$ -Diskriminator ein negativer

Trapezimpuls. Gelangt nun das falsche F_D -Signal an den entsprechenden Diskriminator, so entstehen positive Kennimpulse, die in der Addierstufe summiert und der Farbartschaltung zugeführt werden. Dort werden die positiven Kennimpulse als falsch erkannt und der Zeilenumschalter über das Flip-Flop in die richtige Lage gesetzt, so daß die Synchronisation mit dem Zeilenumschalter des Senders erreicht wird.

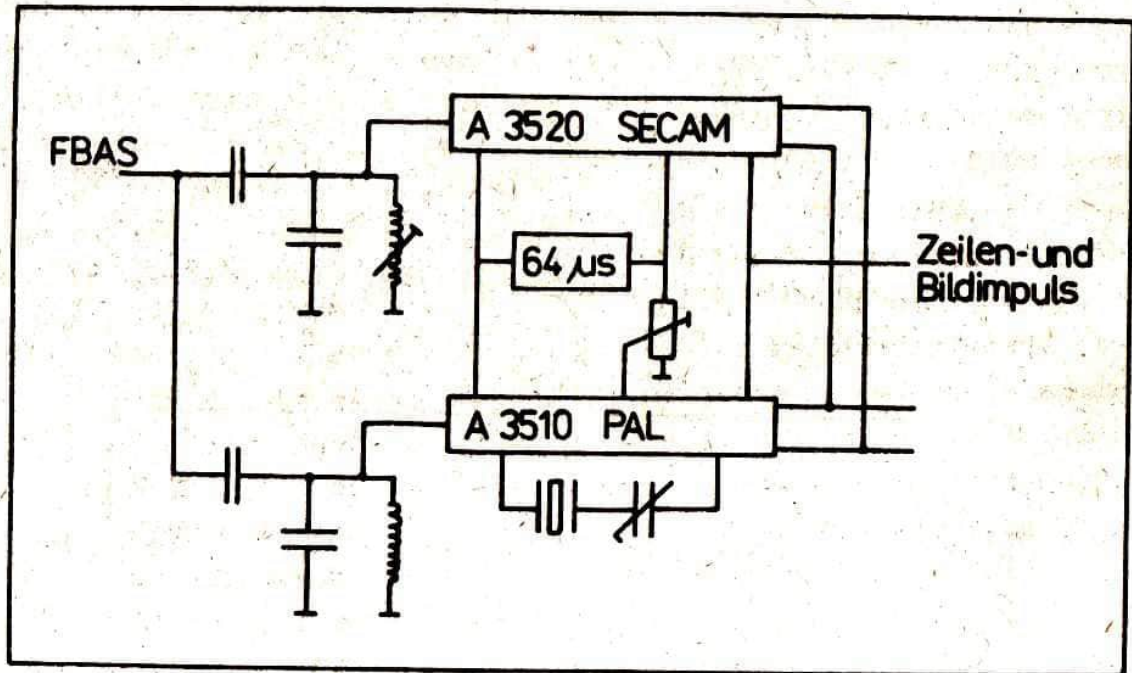


Abb. 4

Zum Schluß dieses Beitrages ist in Abb. 4 das Blockschaltbild eines modernen PAL/SECAM-Decoders aus der DDR-Produktion dargestellt. Die integrierte Schaltung A 3510 enthält alle Baugruppen des PAL-Decoders; im A 3520 ist ein SECAM-Decoder integriert, so daß nur wenige zusätzliche Bauelemente benötigt werden. Die Verzögerungsleitung wird von den beiden Systemen gemeinsam genutzt. Es brauchen nur die Eingangsschwingkreise beider integrierter Schaltungen, die Laufzeitleitung und der Quarzoszillator des PAL-Systems abgeglichen zu werden.

Beschießt man ein Festkörpertarget mit Elektronen, so wird ein Teil dieser sogenannten Primärelektronen elastisch zurückgestreut. Die anderen Elektronen dringen in das Target ein und können dort weitere Elektronen (Sekundärelektronen) herausschlagen, wenn ihre kinetische Energie dazu ausreicht. Nach Abgabe kinetischer Energie an das Kristallgitter des Targets wird ein gewisser Teil der Elektronen im Target-Innern von sogenannten Haftstellen eingefangen.

Wird der Probe jetzt von außen Wärmeenergie zugeführt, kann man die Emission von Elektronen registrieren. Die Bestimmung der mittleren Energie der emittierten Elektronen ergibt nach Abzug des zur Überwindung der Oberflächenbarriere notwendigen Energieanteils (Austrittsarbeit) erstaunlicherweise einen größeren Wert, als gemäß der Maxwell-Boltzmann-Verteilung für die entsprechende Emissionstemperatur zu erwarten wäre. Diese Elektronen werden als hyperthermisch bezeichnet. Es muß ihnen also eine zusätzliche Energiequelle in Form exogener (energiefreisetzender) Prozesse zur Verfügung stehen. Wir sprechen von Exoelektronen.

Das Phänomen der Exoelektronenemission (EEE) wurde 1902 zuerst beobachtet, jedoch begannen systematische Untersuchungen erst ab 1949. Das erste internationale Symposium zu diesem Thema fand 1956 in Innsbruck statt.

Die oben beschriebene thermische stimulierende Exoelektronenemission (TSEE) stellt nur eine Form der EEE dar. Allgemein lassen sich folgende Kennzeichen der EEE angeben:

1. Die Existenz von Störzellen im Target, an denen Elektronen anhaften können, ist notwendig; diese können durch mechanische Deformation, Gasexposition, elektromagnetische oder Teilchenstrahlung (Elektronen u.a.) erzeugt werden.
2. Es muß eine Relaxation dieser Störstellen (Rückkehr in den unbesetzten Ausgangszustand) stattfinden können. Exoelektronen würden nach dem Targetbeschuß auch ohne anschließende Erwärmung emittieren. Um die Relaxationszeit auf gut beobachtbare Werte zu

senken, wird u.a. zusätzlich Energie in Form von Wärme oder Licht zugeführt (externe Stimulation).

3. Der Prozeß der Besetzung und Befreiung der Störstellen muß reversibel sein.

4. Im Gegensatz zur Photo- oder Glühemission wird die EEE als nichtstationär (zeitabhängig) bezeichnet, denn es wird nur eine endliche Anzahl Elektronen aus Haftstellen (getrappte Elektronen; von engl. trap = Haftstelle) emittiert. Bei einem zweiten Aufheizvorgang ohne vorherigen Elektronenbeschuß würden dann keine Elektronen mehr emittiert werden.

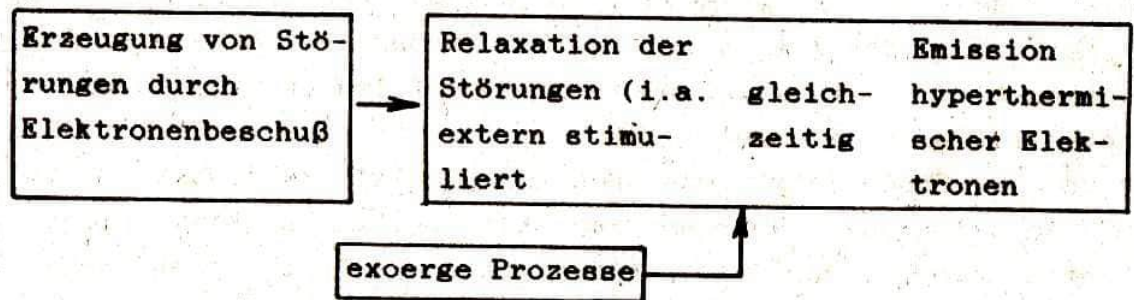


Abb.1 Ablauf der Exoelektronenemission

Unklarheiten herrschen noch über viele Details der exoergen Vorgänge. Hier sollen einige Modellvorstellungen erwähnt werden, über die z.Z. diskutiert wird.

Tab. 1 EEE - Modellvorstellungen

<u>Feldgestützte EEE aus dem Volumen</u>	<u>EEE von der Oberfläche</u>
- exoerger Relaxationsprozeß: Beschleunigung der befreiten Elektronen durch innere elektrische Felder; Überwindung des Randpotentials	-exoerger Relaxationsprozeß; Überwindung des Randpotentials

Das Volumenmodell geht davon aus, daß sich exoerge Prozesse in größeren Targettiefen abspielen. Innere elektrische Felder sollen die Elektronen in Richtung Oberfläche beschleunigen (feldgestützte Volumenemission).

Im Gegensatz dazu wird beim Oberflächenmodell angenommen, daß sich die exoerge Befreiung der Elektronen nur an der Oberfläche vollzieht.

Weitere Modellvorstellungen betreffen das Auftreten von Exoelektronen als Begleiterscheinung von Adsorption und Desorption sowie von Dissoziations- und Assoziationsprozessen an der Festkörper-Oberfläche bei gleichzeitiger Belichtung. Die elementaren Vorgänge dabei sind ebenfalls noch weitgehend ungeklärt (vgl. Tab. 1).

Unabhängig von der konkreten Modellvorstellung kommt den verschiedenen Sorptionsprozessen eine entscheidende Bedeutung für die EEE zu (s. Tab. 2).

Tab. 2 Sorptionsarten

Physikalische Adsorption (Physisorption)	Chemische Adsorption (Chemisorption)	Absorption
- durch Dispersions- bzw. Van-der-Waals-Kräfte bewirkte Anlagerung von Ionen oder Dipolen an der Oberfläche (elektrostatische Wechselwirkung)	- Anlagerung von Teilchen durch gegenseitige Durchdringung der Elektronenhüllen der Bindungspartner (ähnlich der homöopolaren Bindung)	- Eindringen von Gasteilchen in den Festkörper, Besetzung von Zwischengitterplätzen

Auf den Einfluß der oft überwiegenden Chemisorption soll jetzt näher eingegangen werden. Dabei sind zwei Vorgänge von Bedeutung:

1. Durch die Anlagerung von Teilchen mit einem Dipolmoment kommt es zu einer Erniedrigung der Oberflächenbarriere bzw. des Randpotentials. Das hat eine Verringerung der Austrittsarbeit und eine Erhöhung der Austrittswahrscheinlichkeit zur Folge.
2. Bei einer Temperaturerhöhung verschiebt sich das Gleichgewicht zwischen Adsorption und dem umgekehrten Vorgang der Desorption zugunsten der Desorption, die an der Oberfläche Leerstellen er-

zeugt und zu Relaxationsprozessen führt. Diese verlaufen exoerg.

Der exoerge Prozeß und die anschließende Energieübertragung auf Elektronen ermöglichen die Überwindung der erniedrigten Barriere durch weit hyperthermische Elektronen, die anschließend emittiert werden.

Forschungsgegenstand mehrerer Exoelektronen-Gruppen ist der Einfluß verschiedener Adsorbate und unterschiedlicher Targets auf die EEE. Abb.2 zeigt ein TSEE-Spektrum, bei dem die Intensität

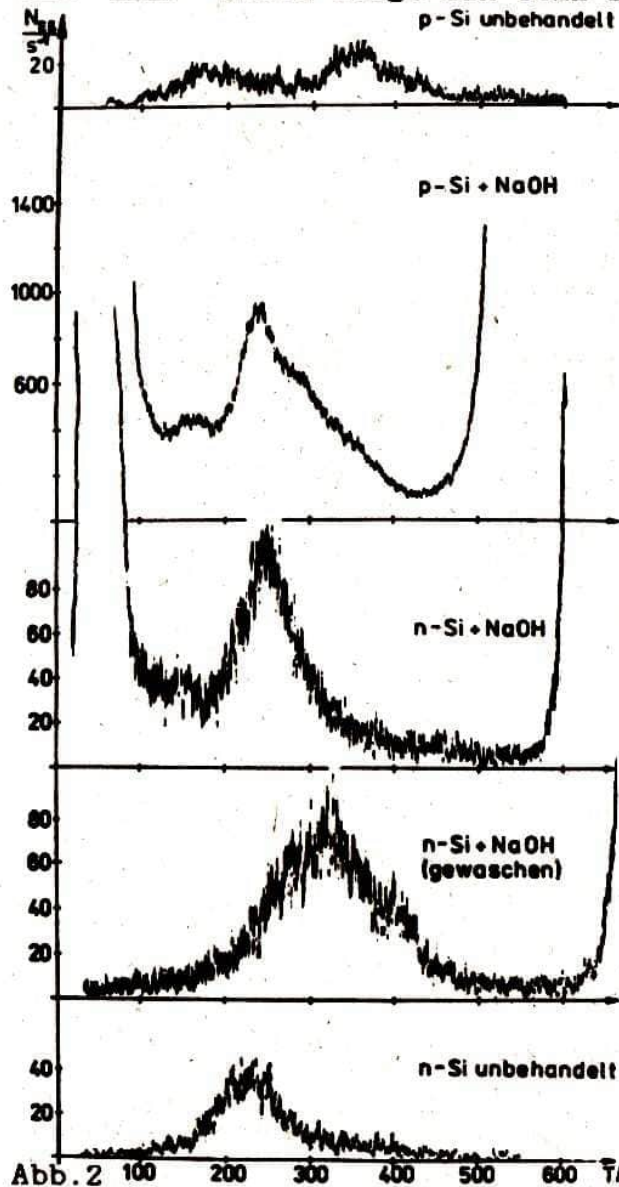


Abb. 2 zeigt ein TSEE-Spektrum, bei dem die Intensität der EEE über der Targettemperatur aufgetragen ist. Interessant ist, daß unterschiedlich dotiertes Siliciumdioxid jeweils ein anderes EEE-Verhalten zeigt. Wird dieses Präparat z.B. mit einem Alkali-hydroxid, hier NaOH, behandelt, ergeben sich stark veränderte Spektren mit bemerkenswerten Intensitätsunterschieden in Abhängigkeit von der Dotierung. Ähnliche Zusammenhänge ergeben sich bei der Aufnahme der EEE in Abhängigkeit von der Energie der emittierenden Elektronen. Aus diesen Spektren lassen sich Rückschlüsse auf die Beeinflussung der Oberflächenbarriere durch Adsorbate ziehen, und man erwartet Aussagen über Art und Tiefe der exoergen Prozesse. Außerdem erhofft man sich konkrete Aussagen zur energetischen Tiefe von Störstellen und zur Oberflächenbeschaffenheit. Damit würde sich die Möglichkeit eröffnen, mit Hilfe der Elektronenspektroskopie eine sehr empfindliche Meßmethode zur Erforschung spezieller Aspekte der Reinheit von Halbleitern und anderen Materialien zu erhalten.

Lösung der 1. Aufgabe der Internationalen Physikolympiade 1987 (aus Heft 5/87)

1. Temperatur T_1 an der Wolkenuntergrenze

Aus der Druck-Volumen-Beziehung bei adiabatischer Zustandsänderung

$$\frac{p_0}{p_1} = \left(\frac{V_1}{V_0} \right)^\alpha$$

erhält man mit der Zustandsgleichung

$$\frac{p_0 \cdot V_0}{T_0} = \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} \quad \frac{T_1}{T_0} = \left(\frac{p_1}{p_0} \right)^{1 - \frac{1}{\alpha}}$$

Mit den angegebenen Größen $p_0 = 100 \text{ kPa}$, $p_1 = 84,5 \text{ kPa}$, $\alpha = 1,4$ und $\vartheta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ findet man

$$T_1 = 279,4 \text{ K.}$$

2. Höhe h_1 der Wolkenuntergrenze

Da der Luftdruck dem Gewicht der Luftsäule über dem Meßpunkt gleich ist, findet man die Höhe h_1 aus der Luftdruckdifferenz

$$p_0 - p_1 = g \bar{\rho} h_1, \quad (1)$$

wobei $\bar{\rho}$ die mittlere Dichte der Luft bedeutet.

Wegen der Annahme einer linearen Abnahme der Dichte der Luft ist

$$\bar{\rho} = (\rho_0 + \rho_1)/2$$

ρ_1 errechnet man aus der Zustandsgleichung

$$\frac{p_0}{\rho_0 \cdot T} = \frac{p_1}{\rho_1 \cdot T}$$

Mit den gegebenen Größen erhält man

$$\rho_1 = 1,054 \text{ kg m}^{-3}.$$

Für die mittlere Dichte ergibt sich

$$\bar{\rho} = 1,122 \text{ kg m}^{-3}$$

Damit findet man mit (1):

$$h_1 = (p_0 - p_1)/(g \cdot \bar{\rho}), \quad h_1 = 1408 \text{ m.}$$

3. Temperatur T_2 am Kamm des Gebirgszuges

Die Temperaturänderung beim Aufstieg der Luft von der Höhe der Wolkengrenze bis zum Kamm des Gebirgszuges erfolgt durch zwei Prozesse:

- Abkühlung auf die Temperatur T_x durch adiabatischen Aufstieg
- Erwärmung um ΔT durch Kondensation.

Damit ergibt sich

$$T_2 = T_x + \Delta T.$$

Berechnung von T_x :

$$\text{Aus} \quad \frac{T_x}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{1 - \frac{1}{\kappa}}$$

erhält man mit den gegebenen Größen

$$T_1 = 279,4 \text{ K}; \quad p_1 = 84,5 \text{ kPa}; \quad p_2 = 70 \text{ kPa} \text{ und } \kappa = 1,4$$

$$T_x = 264,8 \text{ K.}$$

Berechnung von ΔT :

Die je Kilogramm Luft freiwerdende Kondensationswärme $q_v \cdot m$ ist gleich der spezifischen Wärmemenge $c_p \cdot \Delta T$ zur Erwärmung der Luft. Dabei bedeutet m die je Kilogramm Luft entstehende Wassermasse. Somit gilt

$$\Delta T = \frac{q_v \cdot m}{c_p}$$

Mit den gegebenen Größen ergibt sich $\Delta T = 6,1 \text{ K.}$

Folglich erhält man für

$$T_2 = 270,9 \text{ K.}$$

4. Höhe der ausfallenden Wassersäule

Aus der aufsteigenden Luftsäule fallen bis zur Erreichung der Kammhöhe je Sekunde und Quadratmeter

$2000 \cdot 2,45 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot 1500^{-1}$ Niederschlag (Regen) aus. In 3 Stunden sind das $35,3 \text{ kg m}^{-2}$.

Dabei bedeutet 1 kg m^{-2} eine Niederschlagshöhe von 1 mm. Die Höhe der ausfallenden Wassersäule beträgt somit 35,3 mm.

5. Temperatur T_3 an der Station M_3

Da das Abgleiten der Luft auf der Rückseite des Gebirgszuges adiabatisch erfolgt, erhält man mit

$$T_3 = T_2 \left(\frac{P_3}{P_2} \right)^{1 - \frac{1}{\kappa}}$$

und den gegebenen Größen $T_3 = 300 \text{ K}$.

Diskussion:

An der Station M_3 mißt man unter den gegebenen Bedingungen eine größere Temperatur als an der Station M_0 . Die Luft ist beim Überströmen des Gebirgszuges wärmer und trockener geworden. Die Temperaturzunahme wird durch die Kondensation des Wasserdampfes verursacht. Wird der Gebirgszug unter sonst gleichen Bedingungen von völlig trockener Luft umströmt, mißt man an den Stationen M_3 und M_0 gleiche Lufttemperaturen.

Im nächsten Heft:

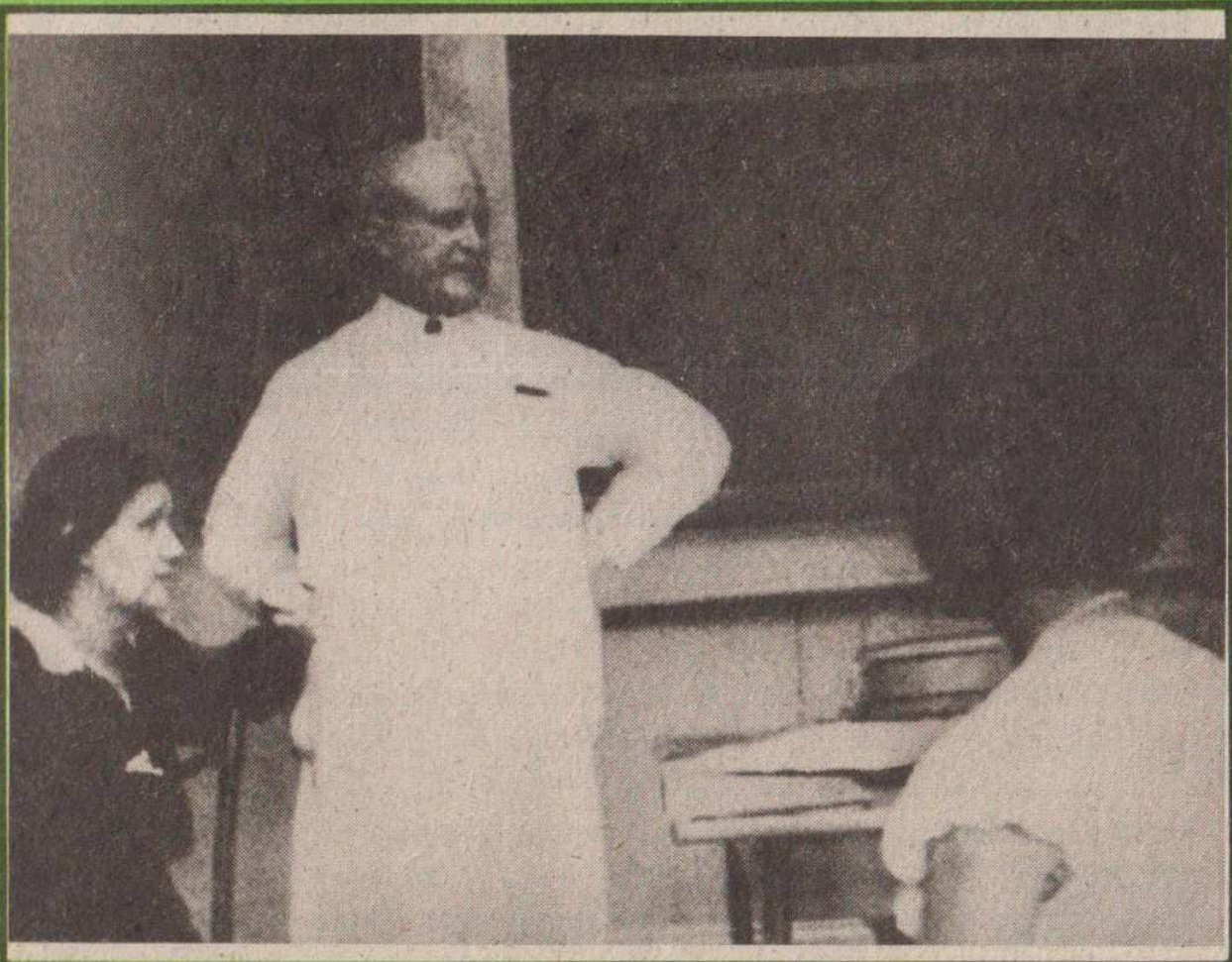
- Wissenschaftlich-technische Schülersgesellschaft an der Friedrich-Schiller-Universität Jena
- Hochtemperatursupraleitung
- Elektrokardiographie
- Physik und Evolution (II)

impuls

68

Schülerzeitschrift für 2/88
Physik, Chemie und Biologie

(22. Jg.) Preis 60 Pf.
INDEX 322004 ISSN 0232-9220



**Die Entdeckung des Elektroenzephalogramms
durch Hans Berger**



Dr. B. Stecklum	Wissenschaftlich-technische Schülergesellschaft		3
Sabine Wieczorek	Die Entdeckung des Elektroenzepha- logramms durch Hans Berger	MED	5
Dr. R. Hetterich	1987 – Das Jahr der Hochtemperatur- supraleitung	PHY	9
Matthias Mann	Einführung in die Physik der Selbstorganisation und Strukturbildung (Teil II)	PHY	12
Wolfram Meinhardt	Fraktale	MATHE	23
	BÜCHERMARKT		32
	Lösung der IPHO-Aufgaben (Teil II)		34
Klaus-Dieter Herbst	Historischer Abriß über die Vorstellungen vom Mond (Teil I)	ASTRO	39
	WISSENSWERTES		47

impuls 68 – SCHÜLERZEITSCHRIFT FÜR PHYSIK, CHEMIE UND BIOLOGIE

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

Die Zeitschrift erscheint im Eigenverlag der Redaktion „impuls 68“

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

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

Erscheinungsweise: zweimonatlich

Heftpreis: –,60 M

Bezugsmöglichkeiten: durch den Postzeitungsvertrieb

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

Chefredakteur: Dr. Bringfried Stecklum, stellv. Chefredakteur: Karsten König

Redaktionsmitglieder: Petra Richter, Peter Kroll, Alexander Niehardt, Ralph Huonker, Rainer Strobel, Andreas Erdmann, Wolfram Meinhardt, Jens Thole, Andreas Chwala

Die Redaktion wurde 1969 und 1980 mit dem Ehrentitel „Hervorragendes Jugendkollektiv der DDR“ ausgezeichnet.

Über die Annahme der Manuskripte entscheidet die Redaktion; sie behält sich das Recht vor, für nötig erachtete Kürzungen und Änderungen im Text vorzunehmen bzw. vorzuschlagen.

Gestaltung: Stecklum, Richter

Redaktionsschluß: 22. 1. 1988

Titelbild: Hans Berger während der Vorlesung – Demonstration einer Patientin.

Dr. Bringfried Stecklum
FSU Jena
Sektion Physik
WB Astronomie

**Wissenschaftlich-technische
Schülergesellschaft an der
Friedrich-Schiller-Universität
gegründet**

In einem feierlichen Rahmen vollzog sich am 9.12.1987 die Gründung der wissenschaftlich-technischen Schülergesellschaft (WTSG) der Alma Mater Jenensis. In seiner Ansprache betonte der Rektor der Universität, Magnifizenz Prof. B. Wilhelmi, daß das Aufdecken von Begabungen und die Förderung von Talenten ganz im Sinne des sozialistischen Persönlichkeitsbildes erfolgt. Damit werde gesellschaftlichen Anforderungen entsprochen, die insbesondere den Bildungsvorlauf als eine wichtige Grundlage für die rasche Entwicklung und Anwendung von Schlüsseltechnologien betreffen. Es zeichne sich immer deutlicher ab, daß Spitzenleistungen nur von hochbegabten und dazu in die Lage versetzten Wissenschaftlern vollbracht werden können. Diese auf dem Gebiet der Natur- und Technikwissenschaften hervorzubringen sei Anliegen der WTSG. Prof. Wilhelmi unterstrich, daß es dabei weder um eine elitäre Zielstellung noch die Restaurierung des Bildungsprivileges geht; vielmehr gelte es, den Reichtum der Gesellschaft in Form der Individualität ihrer Subjekte stärker zu nutzen.

Die wissenschaftliche Förderung von Schülern ziele nicht auf die Extrema, Nichts über Alles oder Alles über Nichts zu vermitteln, sondern verfolge die Absicht, die Schüler schon frühzeitig entsprechend ihrer Talente an der Seite von Wissenschaftlern mit der Methode des wissenschaftlichen Arbeitens vertraut zu machen. Damit werde ihnen fachliches und methodisches Rüstzeug für ein erfolgreiches Studium auf hohem wissenschaftlichen Niveau verliehen.

Anhand biographischer Angaben und Zitate belegte Prof. Wilhelmi, daß viele berühmte Gelehrte und Wissenschaftler keineswegs nur nach Vervollkommnung auf wissenschaftlichem Gebiet trachteten, sondern zugleich bedacht waren, andere Seiten ihrer Persönlichkeit zu entwickeln; damit Ausgleich und Grundlage für wissen-

schaftliche Leistungsfähigkeit zu schaffen. In diesem Sinne sei auch das Wirken der WTSG zu verstehen.

Im Namen der Schüler, deren Aufnahme in die WTSG durch die Übergabe der Mitgliedsausweise vollzogen wurde, sprach Holger Theissel (Spezialschule "Carl Zeiss"). Er dankte für die Möglichkeit, in der WTSG arbeiten zu können und damit auf vorteilhafte Weise persönliche und gesellschaftliche Interessen in Einklang zu bringen. Sein Interesse gelte der Mathematik und er hoffe, durch das Wirken in der WTSG eine gute Vorbereitung auf das Informatik-Studium zu erhalten.

Die Arbeit der WTSG erfolgt nach einem Statut, das gemeinsam von der Abteilung Volksbildung des Bezirkes Gera und dem Direktorat für Erziehung und Ausbildung der FSU Jena erarbeitet wurde. Es legt neben der Zielstellung und der Arbeitsweise die Träger der WTSG sowie die Regeln der Mitgliedschaft fest.

Dementsprechend können Schüler der 9.-12.Klassen des Bezirkes Gera, die besonderes Interesse, Begabung oder Talent für eine der angebotenen Sektionen besitzen, Mitglied der WTSG werden. Die Aufnahme erfolgt in der Regel über eine Delegation durch die Abteilung Volksbildung auf der Grundlage der Vorschläge der Direktoren der POS bzw. EOS/BBS und der entsprechenden Kreisklubs. Dabei stehen die Sektionen Technikwissenschaften, Mathematik, Physik und Chemie zur Auswahl.

Die Arbeit der WTSG wird in vielfältiger Form realisiert. Dazu zählen Einzelpatenschaften durch erfahrene Hochschullehrer, individuelle Betreuung im Rahmen des wahlweise-obligatorischen Unterrichts, Zirkel, Vorträge und Kolloquien, Spezialistenlager und das angeleitete Selbststudium. Dabei finden Erfahrungen Berücksichtigung, die bereits durch andere Schülergesellschaften, wie z.B. an der Sektion Mathematik der Humboldt-Universität Berlin, aber auch im Rahmen der Talentförderung an der FSU Jena gewonnen wurden. Zur Arbeitsweise der WTSG gehört auch eine enge Kooperation mit den Schülerzeitschriften "Wurzel" und "impuls 68", die über Fortschritte und Resultate der wissenschaftlich-technischen Arbeit der Schüler berichten werden.

Die WTSG wird von Prof.Dr.sc.D. Hoffmann (Sektion Technologie) geleitet; dem Beirat gehören Vertreter der Sektionen, der Volksbildungsorgane, der Kombinate VEB Carl Zeiss Jena und VEB Keramische Werke Hermsdorf sowie des Jugendverbandes an.

"Wie seltsam, daß geheime Wellen gehen
von Mensch zu Mensch,
weit über Land und Meer,
daß einer Seele Ruf wie Flügelwehen
uns nächtlich streift, kaum ahnen wir woher..."

In romantische Worte gefaßt, mag dieses Gedicht vielleicht doch in treffender Weise die Gedanken ausdrücken, die für Hans Berger Anlaß zu seinen Untersuchungen am Gehirn des Menschen waren. Sein Verdienst ist es, daß er sich in seinen Forschungen beharrlich dem Ziel widmete, die unbekannte, nur vermutete Größe "psychische Energie" erfassen zu können. Diese schließlich fanden ihren Höhepunkt in der Entdeckung des Elektroenzephalogramms (EEG).

Die Elektroenzephalographie ist eine Methode zur Darstellung der bioelektrischen Erscheinungen am lebenden Gehirn durch Ableitung rhythmischer Potentialschwankungen von synchron entladenen Nervenzellen der Kopfhaut. Das Ruhepotential der Nervenzellen kann bis zu 70 mV betragen, jedoch entstehen bei äußerer Ableitung (Elektrode außen am Schädel) durch Hirnhäute, Hirnflüssigkeit, Schädelknochen und Haut erhebliche Spannungsverluste. Die meßbaren Spannungen liegen letztendlich in der Größenordnung von 100 μ V.

Je nach Frequenzbereich der registrierten Signale unterscheidet man Deltawellen (1...4 Hz), Thetawellen (4...8 Hz), Alphawellen (8...13 Hz) und Betawellen (13...30 Hz).

Die Signale werden von niederfrequenten Störungen überlagert, beispielsweise durch Aktionspotentiale von Lidschlägen, Augenapfelbewegungen, Pulswellen. Neben einer hohen Empfindlichkeit muß ein EEG-Gerät entsprechende elektronische Filter aufweisen.

Das Frequenzbild und die Amplitude des EEG sind abhängig von Alter, Wach- und Schlafstadium, Aufmerksamkeit und, was größeres Interesse findet, von pathologischen Erscheinungen. So kann das

EEG u. a. zur Diagnose von Hirntumoren und Epilepsie eingesetzt werden.

Als Sohn eines Arztes wurde Hans Berger am 21. Mai 1873 in Neuses bei Coburg geboren. Von seinem Großvater, dem spätromantischen Dichter Friedrich Rückert, stammt ein Vers, der als Leitmotiv seines Strebens Bergers ganzes Leben durchziehen sollte:

"Vor jedem steht ein Bild
Des was er werden soll.
So lang er das nicht wird,
ist nicht sein Friede voll."

Zunächst studierte er, seinen Neigungen entsprechend, Mathematik und Astronomie in Berlin, mit dem Ziel, Astronom zu werden. Nach einem Semester jedoch war er enttäuscht von den reinen Naturwissenschaften, und zweifelnd an seinen Fähigkeiten entschloß er sich zum Militärdienst in der Armee. Obwohl er der "geliebten Philosophie" eng verbunden war, regte Berger ein telephatisches Erlebnis zu seiner endgültigen Berufswahl und Forschungstätigkeit an. Dazu schreibt er 1940 in seinem letzten Werk "Psyche":

"Als 19-jähriger Student bin ich bei einer militärischen Übung...schwer verunglückt und mit knapper Not einem sicheren Tode entgangen. Ich stürzte...mit dem sich aufbäumenden und sich überschlagenden Pferde...und kam unter das Rad eines Geschützes zu liegen. Im letzten Augenblick hielt das mit 6 Pferden bespannte Geschütz an, und ich kam mit dem Schrecken davon...Am Abend desselben Tages erhielt ich von meinem Vater eine telegraphische Anfrage wie es mir gehe?...Meine älteste Schwester, mit der ich in besonders innigem geschwisterlichen Verhältnis stand, hatte diese telegraphische Anfrage veranlaßt, weil sie plötzlich meinen Eltern gegenüber behauptete, sie wisse bestimmt, daß mir ein Unglück zugestoßen sei...Das ist spontane Gedankenübertragung, bei der ich wohl im Augenblick der höchsten Gefahr, den sicheren Tod vor Augen, als Sender und die mir besonders nahestehende Schwester als Empfängerin tätig war."

Durch dieses Erlebnis empfand Berger die elektrischen Äußerungen des menschlichen Gehirns als Schlüssel zum Verständnis geistiger Phänomene, als jene Sprache, die die neuronalen Elemente der

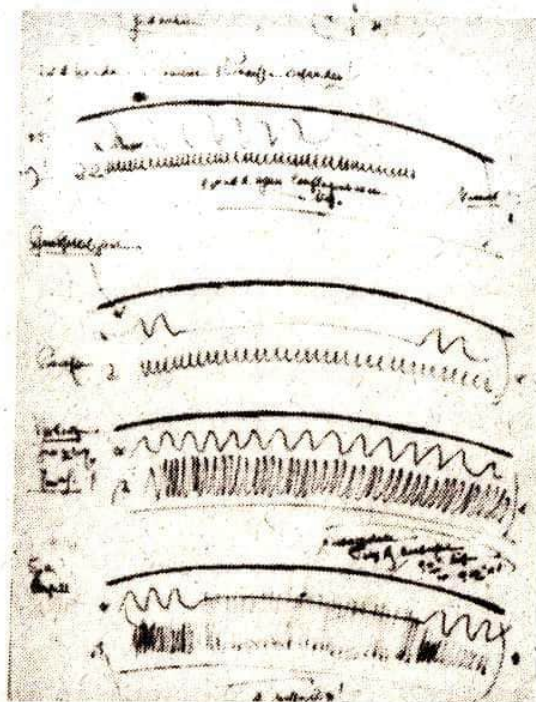
Gehirnrinde zu ihrer Kommunikation nützen.

Nachdem er 1893-97 in Berlin, Jena, Würzburg, Kiel und zum Schluß erneut in Jena das Studium der Medizin absolvierte, wurde er am 10. Juni 1897 Assistent der psychiatrischen Klinik unter Binswanger, 1900 "Hausarzt" und 1912 "beamteter Oberarzt". Hier blieb er bis zur Emeritierung 1938 mit kurzer Unterbrechung von fast vier Jahren während des 1. Weltkrieges. Im Jahre 1919 wurde er Direktor der psychiatrischen Klinik. Hans Berger war der Typ des Gelehrten, still, beharrlich, bescheiden, zurückhaltend, zuverlässig und gewissenhaft. Er lebte ganz für die Forschung und ordnete alles diesem Ziel unter. Charakteristisch für ihn war die zähe Verfolgung einzelner herausragender Ideen, die seine Forschung während des ganzen Lebens bestimmten.

1902 begann er seine Arbeiten über die Hirntemperatur und die tierexperimentellen Untersuchungen zur Ableitung von Hirnströmen; 1910 schloß er seine Forschungen vorerst ohne sichtbaren Erfolg ab. Mit der Unterstützung der Physiker M. Wien und A. Esau führte er mit einer verbesserten technischen Apparatur Kortexreizversuche an Patienten mit trepaniertem Schädel durch, die schließlich am 6. Juli 1924 zu der Entdeckung des EEG führten.

"Ich glaube also in der Tat das Elektrenkephalogramm des Menschen gefunden und zum ersten Male veröffentlicht zu haben."

1929 publizierte er sein Ergebnis erstmals und danach in 14 Mitteilungen bis 1938. Berger hat bereits alle wesentlichen EEG-Befunde bei Gesunden und Kranken beschrieben und interpretiert. Der Nachwelt blieb die Aufgabe der praktischen Anwendung und Überprüfung an einem großen Krankengut sowie die technische Weiterentwicklung.



Notizen Bergers zu α - und β -Wellen vom 21.9.1931

Jedoch wurde die epochale Entdeckung Bergers zunächst nicht beachtet, teilweise wurde sie abgelehnt, oder sogar angezweifelt. Der Durchbruch zur Anerkennung des EEG kam erst, als der Neurophysiologe Adrian zufällig 1934 etwas über Bergers Untersuchungen gelesen hatte. Er beschloß, die Ergebnisse zu kontrollieren, und demonstriert am 12. Mai 1934 vor der Physiologischen Gesellschaft in Cambridge mit seinem Mitarbeiter die Registrierung von Aktionspotentialen, wobei er selbst als Versuchsperson dient. Danach publizierte er 1934 in der Zeitschrift "Brain" über den "Berger-Rythmus". Damit war der internationale Durchbruch erfolgt.

Trotzdem wurde Hans Berger die ihm gebührende Ehre erst relativ spät zuteil. Auf dem 11. Internationalen Psychologiekongreß 1937 in Paris und zu den Feierlichkeiten des 200. Geburtstages von Galvani im Oktober 1937 in Bologna konnte er erstmals seine Forschungsergebnisse vor internationalen Fachgremien vortragen.

Der Elektrophysiologe Adrian, der 1932 den Nobelpreis für seine Forschungen auf dem Gebiet der Neurone erhielt, betonte, daß der ihm zugesprochene Nobelpreis eigentlich Berger gebühre. Die von Adrian vorgeschlagene Ehrung, die α -Wellen als dominierende Aktivität im menschlichen EEG nach ihrem Entdecker als "Berger-Rythmus" oder "Berger-Wellen" zu bezeichnen, lehnte Berger aus Bescheidenheit ab und hielt an der Bezeichnung nach dem griechischen Alphabet fest.

Nach dem Erreichen der Altergrenze mußte Berger seine erfolgreiche klinische und Forschungstätigkeit unterbrechen, ohne daß ihm die faschistischen Behörden und sein nazistischer Nachfolger Kihn die Möglichkeit der weiteren Tätigkeit an dieser Klinik gaben, an der er 41 Jahre verdienstvoll gewirkt hatte.

Obwohl Berger Rektor (1927/28) und Prorektor (1935/38) war, beendete er seine Laufbahn an der Klinik ohne Verabschiedung und ohne Abschiedskolleg.

Hans Berger starb am 1. Juni 1941 im Zustand einer Depression. Sein tragischer Tod war Ausdruck der Resignation an den antihumanistischen und die wissenschaftliche Arbeit diskriminierenden gesellschaftlichen Verhältnissen des faschistischen Systems.

Das Phänomen Supraleitung wurde bereits 1911 von Kammerling Onnes an Quecksilber entdeckt.

Nach Abkühlung auf die extrem tiefe Temperatur von 4.2 K⁺ verliert dieses Metall sprunghaft und vollständig seinen elektrischen Widerstand. Dadurch wird der absolut verlustfreie Transport des elektrischen Stromes möglich.

Dieses sprunghafte Verhalten des Widerstandes auf unmeßbar kleine Werte innerhalb eines kleinen Temperaturbereiches T ist ein Charakteristikum für die Supraleitung. Es tritt bei vielen Metallen, Legierungen und einigen Sulfiden und Oxiden auf, bei einer für das jeweilige Material typischen Temperatur, der Sprungtemperatur T_c . Zur eindeutigen Charakterisierung eines supraleitenden Zustandes gehört jedoch neben dem Verschwinden des elektrischen Widerstandes ebenso das Vorhandensein des Meißner-Ochsenfeld-Effektes. Dieser besagt, daß ein schwaches Magnetfeld (ein starkes Magnetfeld würde die Supraleitung zerstören) aus dem Inneren des Supraleiters vollständig verdrängt wird. Es ist dabei unabhängig, ob das Magnetfeld vor oder nach der Abkühlung unter die Sprungtemperatur angelegt wurde.

Für die Anwendung in der Technik werden Supraleiter mit möglichst hoher Sprungtemperatur gesucht, damit die Vorteile, die die Supraleitung bietet, nicht durch die hohen Kosten des erforderlichen Kältemittels (flüssiges Helium oder flüssiger Wasserstoff) verschluckt werden. 75 Jahre (Abb. 1) brauchten die Physiker, um in einem Oxid der Metalle Barium, Yttrium und Kupfer die Supraleitung bei einer Sprungtemperatur von 90 K nachzuweisen. Damit ist mit Überschreitung der Siedetemperatur des flüssigen Stickstoffes (77 K) eine Schallmauer durchbrochen worden, deren Konsequenzen für technische Anwendungen noch längst nicht überschaubar sind. Kühlung durch flüssigen Stickstoff ist um Größen-

ordnungen einfacher und billiger als Kühlung durch flüssiges Helium.

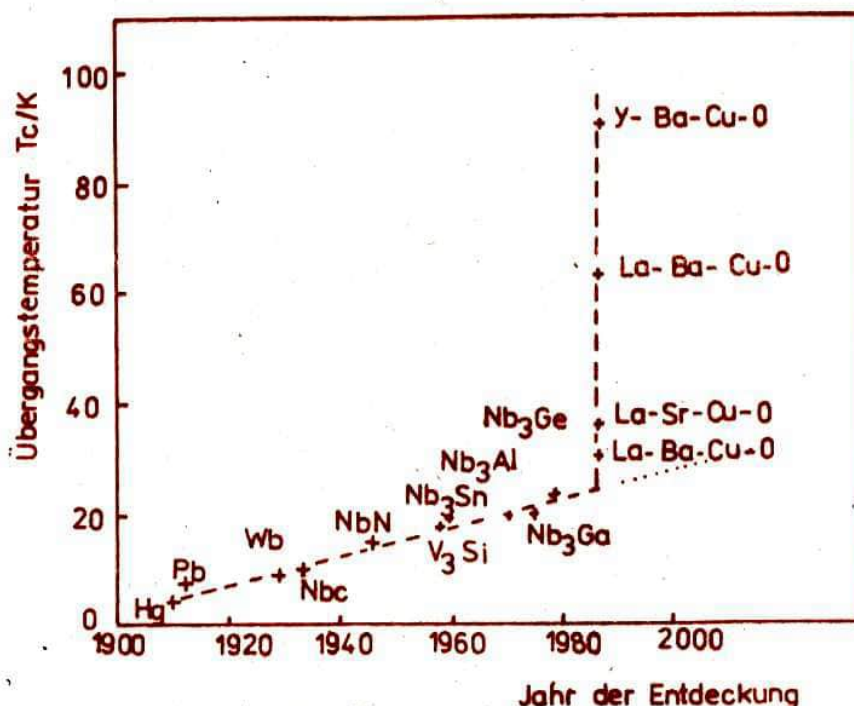


Abbildung 1:

Entwicklung der Übergangstemperatur seit der Entdeckung der Supraleitung 1911 bis heute. Aus dem fast linearen Verlauf bis 1983 wären erst nach dem Jahr 2000 T_c -Werte von 30 K erreichbar gewesen. Das Jahr 1987 stellt deshalb einen wissenschaftlichen Durchbruch für die Supraleitung dar, dessen Auswirkungen noch nicht abschätzbar sind.

Denkbare technische Anwendungen dieser neuen Hochtemperatursupraleiter wären die Verwendung in starken supraleitenden Elektromagneten, z.B. für Magnetresonanztomographen in der Medizin und für hochauflösende Spektroskopie, für Beschleuniger in der Hochenergiephysik und für Kernfusionsgeneratoren. Weitere Anwendungen könnten elektronische Bauelemente (z.B. Strahlungsdetektoren, Magnetometer und Spannungsnormale) sein oder auch elektronische Zuleitungen, dicke Kabel zur Energieübertragung oder Elektromaschinen und Generatoren.

Für den großtechnischen Einsatz stickstoffgekühlter Supraleiter ist eine Sprungtemperatur oberhalb 77 K jedoch nur eine notwendige, keine hinreichende Bedingung. Ein technische einsetzbarer

Supraleiter muß noch einige Zusatzforderungen erfüllen. Hierbei sind zwei weitere physikalische Größen, nämlich das obere kritische Feld H_{c2} und die kritische Stromdichte j_c von Bedeutung.

Bringt man einen Supraleiter in ein magnetisches Feld, so bleibt er nur solange supraleitend, wie die Feldstärke kleiner ist als der Wert des kritischen Feldes H_{c2} . Andernfalls wird die Supraleitung zerstört. Bei der Anwendung der Hochtemperatursupraleiter in Magneten und auch bei der Konzeption von Generatoren und Motoren mit diesen Materialien müssen die H_{c2} -Werte natürlich deutlich über den beabsichtigten Magnetfeldstärken liegen. Im Motoren- und Generatorenbau sind diese typischen Feldstärken 4 Tesla; für supraleitende Magneten, wie sie im Internationalen Labor für tiefe Temperaturen und hohe Magnetfelder in Wrocław (VR Polen) verwendet worden sind, erreicht man typische Feldstärken von 15 T.

Auch für den elektrischen Strom, den ein Supraleiter trägt, gibt es eine obere Grenze. Übersteigt die Stromdichte den kritischen Wert j_c , so geht der Supraleiter in den Normalleiter über. Das ist besonders beim Einsatz supraleitender Kabel für den Energietransport von Bedeutung. Erst wenn die kritische Stromdichte der Hochtemperatursupraleiter über den Wert für stickstoffgekühlte Kupferkabel liegt ($j_c \geq 5000 \text{ A/cm}^2$), wird ihr Einsatz lohnend. H_{c2} und j_c sind Materialparameter, deren Werte wesentlich von den Herstellungsbedingungen abhängen. Zur Optimierung dieser Hochtemperatursupraleiter oder zum Auffinden neuer Substanzklassen mit noch günstigeren Eigenschaften müssen natürlich auch die physikalischen Mechanismen, die für die hohen Sprungtemperaturen in den supraleitenden Keramiken verantwortlich sind, geklärt werden.

Supraleitung und ihre Anwendung in elektronischen Bauelementen (Josephson-Elementen) ist seit mehr als 15 Jahren eine Forschungsaufgabe im Wissenschaftsbereich Detektorenphysik der Sektion Physik der Friedrich-Schiller-Universität Jena. Hier bieten sich daher gute Voraussetzungen für die rasche Fortführung der Arbeiten auf dem Gebiet der supraleitenden Keramiken.

* Die Kelvin-Temperatur-Skala beginnt am absoluten Nullpunkt (-273.15° C).

2. Struktur und Entropie

2.1. Der Strukturbegriff

In diesem vorbereitendem Abschnitt soll einmal näher untersucht werden, was eigentlich unter dem in der Wissenschaft so häufig gebrauchten Begriff der "Struktur" zu verstehen ist. Es gibt heute keinen Bereich der Wissenschaft, in dem die Kategorie "Struktur" nicht in irgendeiner Form zur Anwendung kommt. In der Mathematik ist sie einer der Grundbegriffe. In realen Systemen umschreibt man mit dem Begriff der "Struktur" folgende Tatsache:

"Jedes System besteht aus Elementen, die in bestimmter Weise angeordnet und durch bestimmte Beziehungen miteinander verknüpft sind. Unter der Struktur eines Systems verstehen wir die Art der Anordnung und der Verknüpfung seiner Elemente. Welche Art diese Elemente sind, ist hierbei ohne Belang. Wenn wir von der Struktur eines Systems sprechen, sehen wir davon ab, aus welchen Elementen das System besteht und fassen nur die Gesamtheit der zwischen ihnen bestehenden Beziehungen ins Auge. Als Gesamtheit von Beziehungen ist die Struktur eines Systems ein bestimmter Zusammenhang zwischen den Elementen des Systems."

Wir wollen diese abstrakte Definition an einigen wenigen Beispielen näher betrachten. Reale physikalische Systeme zeigen räumliche und zeitliche Strukturen. Der räumliche Strukturtyp ist heute der spezielle Gegenstand der Kristallographie. Die Elemente sind hierbei die punktförmig gedachten Atome oder Moleküle und es werden die Operationen der räumlichen Translation untersucht. Die Analyse dieses Strukturtyps führt auf den wichtigen Begriff der

Informationskasten 1

Unter einer *Symmetrie* versteht man im allgemeinsten Sinne das Vorhandensein von Regelmäßigkeiten bestimmter räumlicher, zeitlicher oder auch mathematischer Strukturen, z.B. geometrische Figuren, Kristalle, physikalische Gesetze derart, daß diese nach Ausführung bestimmter Operationen, der Symmetrioperationen, wieder in sich selbst übergehen.
Beispiele: Spiegelsymmetrie, Rotationssymmetrie

geometrischen Symmetrie (siehe hierzu den ersten Informationskasten), der eng mit dem Begriff der Ordnung verknüpft ist.

Der zeitliche Strukturtyp hängt mit der Dynamik des Systems, d.h. seinen Bewegungsgesetzen zusammen. Die Einsinnigkeit der Zeitrichtung (die uns später zum Begriff der Irreversibilität führen wird) und das Kausalprinzip (Prinzip des Zusammenhangs von Ursache und Wirkung) sind hierbei wichtige Aspekte.

Die räumliche und zeitliche Strukturiertheit ist ein allgegenwärtiger und fundamentaler Zug der Materie. Damit ist jedoch der Strukturbegriff noch nicht ausgeschöpft.

Insbesondere treten bei der Untersuchung komplizierterer Systeme noch *kybernetische* Strukturen hinzu. Regelungsprozesse haben eine Struktur, deren Elemente die Informationseinheiten und Regelooperationen sind.

Soweit zum umfassenden Begriff der Struktur. Unser großes Thema befaßt sich mit *Struktur-bildung*, was wollen wir darunter verstehen?

Unter Strukturbildung werden wir im weitesten Sinne das Entstehen neuer Eigenschaften bzw. Relationen auf der Menge der Elemente eines Systems verstehen. Wichtige Beispiele für Strukturbildung sind die Verminderung der Symmetrie eines Systems (z.B. wenn ein System seine Homogenität oder seine Spiegelsymmetrie verliert) bzw. die Verminderung der Entropie eines Systems.

2.2. Der Zusammenhang zwischen Wahrscheinlichkeit, Information und Entropie

In diesem Abschnitt wollen wir uns mit dem fundamentalen Begriff der *Entropie* beschäftigen.

Entropie kommt aus dem Griechischen und bedeutet soviel wie Verwandelbarkeit oder Verwandlungsgröße. Was verbirgt sich dahinter?

Der Begriff der Entropie wurde zuerst von CLAUSIUS in die theoretische Physik eingeführt. Mit seiner Hilfe bietet sich die Möglichkeit, etwas über die Gerichtetheit physikalischer Prozesse auszusagen.

Nicht alle vom Energiesatz erlaubten physikalischen Prozesse laufen in der Natur auch ab. Es wurde z.B. noch nie beobachtet, daß ein Dachziegel vom Erdboden auf das Dach zurückspringt, in dem er seinen Wärmeinhalt unter Temperaturerniedrigung der Energie gewinnt, die zur Überwindung der Erdanziehungskraft notwendig ist. Rein energetisch betrachtet wäre dieser Prozeß möglich.

An diesem einfachen Beispiel sieht man, daß die Prozesse in der Natur eine feste *Richtung* ihres Ablaufs haben. Und zur Charakterisierung eben dieser Richtung des Ablaufs der Naturprozesse dient der Begriff der Entropie.

Man kann sich dem Entropiebegriff von dreierlei Seiten her nähern:

- thermodynamisch,
- statistisch sowie
- informationstheoretisch.

Beginnen wir mit der Thermodynamik. Diese Definition geht, wie bereits gesagt, auf CLAUSIUS zurück.

In moderner Fassung definiert man die (thermodynamische) Entropie als eine Zustandsfunktion, die von der Energie U des Systems, dem Volumen V und den Molzahlen N der Stoffkomponenten abhängt

$$S = S(U, V, N)$$

(2.1)

und folgende wesentliche Eigenschaften besitzt:

1. Bei der Zerlegung des Systems in zwei Teilsysteme mit den Entropien S_1 und S_2 gilt die Additivitätsregel:

$$S = S_1 + S_2 \quad (2.2)$$

2. Die Berechnung der Entropieänderung geschieht nach der Formel

$$T dS = dU - dA = dQ \quad (2.3)$$

U...innere Energie

A...am System geleistete äußere Arbeit

Q...Wärmemenge

T...Temperatur.

Diese Formel ist nach dem großen Thermodynamiker GIBBS als GIBBSsche Fundamentalgleichung bekannt.

Das "d" in (2.3) und auch in vielen folgenden Formel drückt aus, daß es sich jeweils um das Differential (eine im Grenzwert unendlich kleine Differenz) der entsprechenden physikalischen Größe handelt.

3. Bei einer beliebigen Zustandsänderung eines Systems kann die Entropieänderung in zwei Teile zerlegt werden,

$$dS = d_e S + d_i S \quad (2.4)$$

wobei $d_e S$ die Entropieänderung auf Grund des Stoff- und Wärmeaustausches mit der Systemumgebung und $d_i S$ die Entropieänderung infolge der im Innern des Systems ablaufenden Prozesse ist.

4. Es gilt stets:

$$d_i S \geq 0 \quad (2.5)$$

Der Fall $d_i S = 0$ gilt nur für ideale Prozesse und ist in der Natur höchstens näherungsweise verwirklicht. Prozesse mit $d_i S = 0$ bezeichnet man als reversibel (umkehrbar). Für alle

realen Prozesse (irreversible = unumkehrbar) gilt $d_i > 0$.

In einem abgeschlossenen System ohne Stoff- und Energieaustausch mit der Umgebung gilt dann:

$$d_e S = 0$$

$$dS = d_i S \geq 0 \quad (2.6)$$

Das bedeutet: Die Entropie eines abgeschlossenen Systems kann *niemals* abnehmen.

Im Zustand des thermodynamischen Gleichgewichts (Das ist der Zustand, dem ein sich selbst überlassenes System zustrebt; Beispiel: Ein heißer Metallwürfel in einem Gefäß mit kaltem Wasser wird sich abkühlen und dabei das Wasser solange erwärmen, bis beide die gleiche Temperatur besitzen.) besitzt das System die maximale Entropie:

$$S = \text{Max} , dS = 0 \quad (2.7)$$

Diesen vierten Punkt bezeichnet man oft auch als II. Hauptsatz der Thermodynamik.

Alle diese Punkte kann man nicht herleiten. Es sind Erfahrungstatsachen. Noch nie wurde in der Natur Vorgänge beobachtet, die dem widersprechen.

Soweit zur thermodynamischen Entropieauffassung. Mit ihrer Hilfe wird das Wesen thermodynamischer Vorgänge äußerlich beschrieben und von der Erscheinung her erfaßt. Die Entropie ist hier ein Maß für den Übergang von Wärmemengen höherer Temperatur in Wärmemengen geringerer Temperatur bei gleichzeitiger äußerer Arbeitsleistung.

Eine höhere Stufe der Abstraktion verkörpert der statistische Entropiebegriff. Er ist eng mit dem Namen von Ludwig BOLTZMANN und Max PLANCK verknüpft. Die Notwendigkeit der Einführung statistischer Betrachtungsweisen ergibt sich bei thermodynamischen Systemen aus ihrer ungeheuer großen Teilchenzahl, die in der Größenordnung von 10^{23} liegt. (Bsp.: Ein Mol eines Gases beinhaltet $6,023 \cdot 10^{23}$ Teilchen, AVOGADROSche Konstante) Es ist unmög-

lich, von jedem einzelnen Gasteilchen die genaue Lage und Geschwindigkeit im Raum zu einer bestimmten Zeit zu kennen, geschweige denn, aus dieser ungeheuer großen Datenmenge allein unter Ausnutzung der Bewegungsgleichungen jedes Moleküls die weitere zeitliche Entwicklung der Gasmenge zu berechnen. Man muß sich daher mit der Einführung von Mittelwerten begnügen.

Alle thermodynamischen Größen werden streng genommen im Ergebnis solcher Mittelungsprozeduren erhalten.

Betrachten wir zum Beispiel das *Feld der möglichen Zustände* eines Systems.

Die Zustände bezeichnen wir mit X_i , $i = 1, \dots, W$. Es seien W Zustände möglich. Mit $p_i = P(X_i)$, $0 \leq p_i \leq 1$, bezeichnen wir die *Wahrscheinlichkeit* des Eintretens der Ereignisse (Zustandes) X_i . Falls alle Zustände verschieden sind, gilt:

$$\sum_{i=1}^W p_i = 1.$$

Das heißt, irgendein Zustand tritt auf alle Fälle ein.

Man kann sagen, die *Wahrscheinlichkeit* p_i ist ein Maß für die *Bestimmtheit* des Eintretens von X_i . ($p_i = 1$ bedeutet: der Zustand X_i tritt mit Sicherheit ein, $p_i = 0$ bedeutet, der Zustand X_i tritt mit Sicherheit nicht ein.)

Man definiert nun als Maß der *Unbestimmtheit* des Ereignisses X_i die Größe $-\log_b(p_i)$.

Für $p_i = 1$ ist die Unbestimmtheit von X_i gleich Null, für $p_i = 0$ ist sie unendlich. Man setzt zur Festlegung der Basis b :

$$-\log_b(p_i) = -k * \ln(p_i).$$

$$k = 1/\ln(b)$$

Nach BOLTZMANN und PLANCK definiert man nun die statistische

Entropie des Systems als Mittelwert der Unbestimmtheit

$$S_B = -k \sum_{i=1}^W p_i \cdot \ln(p_i). \quad (2.8)$$

Die Konstante k wird nach LUDWIG BOLTZMANN als BOLTZMANNkonstante bezeichnet.

Ein sehr wichtiger Spezialfall sind Systeme mit W gleichwahrscheinlichen Zuständen. Hier gilt; $p_1 = p_2 = \dots p_W = 1/W$. Für die statistische Entropie folgt dann:

$$S_B = -k \sum_{i=1}^W \frac{1}{W} \cdot \ln(1/W) = k \cdot \ln(W). \quad (2.9)$$

Diese fundamentale Formel der statistischen Physik ist zu Ehren BOLTZMANNs auf dessen Grab eingemeißelt.

In Verbindung mit dem vorhin genannten II. Hauptsatz der Thermodynamik kann man das Wesen dieser statistischen Entropieauffassung so zusammenfassen: Zustandsänderungen physikalischer Körper verlaufen von Zuständen kleinerer Wahrscheinlichkeit zu Zuständen größerer Wahrscheinlichkeit.

Mit dem Begriff der Unbestimmtheit kommen wir zur informationstheoretischen Seite des Entropiebegriffs.

Der entscheidende Name auf diesem Gebiet ist der von C. E. SHANNON, der 1948 erstmals eine mathematische Informationstheorie ausarbeitete. SHANNON sagt kurz: "Information ist beseitigte Unge-

wißheit." Demzufolge ist Information mathematisch ein Maß für die Verringerung der Unbestimmtheit des Eintretens zufälliger Ereignisse. Nach Erhalt einer Information weiß man über ein bestimmtes Ereignis mehr als vorher. Seine Unbestimmtheit wurde verringert.

SHANNON definierte als Maß der Unbestimmtheit in Analogie zur BOLTZMANNschen statistischen Thermodynamik die Größe

$$H = - \sum_{i=1}^W p_i \cdot \log_b(p_i). \quad (2.10)$$

Die Größe H ist die sogenannte Informationsentropie des Systems. Sie ist ein Maß für die bei voller Aufklärung des Zustandes gewonnene Information. Es ist üblich, die Basis $b=2$ zu wählen und die Information in Bit anzugeben.

Betrachten wir ein Beispiel: Ein System besitze zwei mögliche Zustände i und k . Es sei $p_k=0$ und $p_k=1$. Die gewonnene Information ist dann $H = -p_k \cdot \log(p_k) - p_i \cdot \log(p_i)$. Es wurde keine Information gewonnen, da ja von vornherein feststand, daß das System den Zustand k annimmt. Ein weiteres Beispiel: Ein System besitze W gleichwahrscheinliche Zustände $p_i=1/W$. Der Informationsgewinn $H = -W \cdot (1/W) \cdot \log(1/W) = \log(W)$ ist dann maximal.

Nach der Vorstellung der drei Entropiebegriffe kommen wir nun zu ihrem inneren Zusammenhang.

Man erkennt, daß die Informationsentropie und die statistische Entropie proportionale Größen sind.

$$S_D = \text{const} \cdot H. \quad (2.11)$$

Die Interpretation dieser Korrespondenz zwischen BOLTZMANNscher und SHANNONscher Entropie scheint noch nicht endgültig geklärt zu sein.

Wir interpretieren die statistische Entropie eines Systems als ein Maß für die Unordnung und damit auch als ein Maß für die

Strukturiertheit des Systems. Das Maximum der statistischen Entropie ($p_i = 1/W$, $i=1, \dots, W$) entspricht dem geringsten Grad von Strukturiertheit. Auch diese Interpretation muß man sich sehr genau durchdenken.

In einem völlig unstrukturierten (ungeordneten) System ist die beseitigte Ungewißheit bei voller Aufklärung des Zustandes (d.h. die Information) natürlich viel größer als in einem strukturierten (geordneten) System, da im ungeordneten System alle Zustände gleichwahrscheinlich sind, während im unstrukturierten System viele Zustände unwahrscheinlich sind, d.h. gar nicht eingenommen werden. (Das System besitzt ja seine Struktur, die den Zustand bestimmt.)

Die Definition (2.8) hat die bemerkenswerte Eigenschaft der Additivität, d.h. bei der Vereinigung zweier unabhängiger Systeme addieren sich die Entropien der Teilsysteme.

$$S_{12} = S_{11} + S_{22}. \quad (2.12)$$

Man kann sich das folgendermaßen erklären: Für zwei Systeme gelten die Wahrscheinlichkeitsverteilungen p_{11} und p_{22} . Da die Systeme unabhängig voneinander sind, gilt für die Wahrscheinlichkeitsverteilungen des Gesamtsystems $p_{12} = p_{11} * p_{22}$. Die Entropie des Gesamtsystems ist dann:

$$\begin{aligned}
 S_{12} &= -k * \sum_{i=1}^{W_1} \sum_{j=1}^{W_2} p_{12} * \ln(p_{12}) \\
 &= -k * \sum_{i=1}^{W_1} \sum_{j=1}^{W_2} p_{11} * p_{22} * \ln(p_{11} * p_{22})
 \end{aligned}$$

$$= -k * \sum_{i=1}^{W_1} \sum_{j=1}^{W_2} p_{ij} * \ln(p_{ij})$$

$$= -k * \sum_{i=1}^{W_1} p_{i1} * \ln(p_{i1}) - k * \sum_{j=1}^{W_2} p_{j2} * \ln(p_{j2})$$

$$= S_{B1} + S_{B2}.$$

Diese Eigenschaften der Additivität ist die Grundlage der Identifizierung der BOLTZMANNschen und der CLAUSIUSschen Entropie. (2.1-7)

Die Analogie des Verhaltens der thermodynamischen Entropie S , der statistischen Entropie S_B und der Informationsentropie H legt endlich eine Identifizierung aller drei Größen nahe.

$$S = S_B = \text{const} * H. \quad (2.13)$$

Ein Beweis dieser plausiblen Hypothese kann nur durch die Überprüfung mit Hilfe von Experimenten erfolgen. Das gesamte experimentelle Material stützt jedoch diese Annahme.

Anhand dieser Betrachtungen können wir ableiten, daß die Gleichgewichtsbedingung (2.7) $S = \text{Max.}$, $dS = 0$ eine Aussage über die Struktur des Systems beinhaltet. Maximale Entropie bedeutet geringster Grad von Strukturiertheit bzw. höchster Grad von Unordnung, der mit den gegebenen Bedingungen (Masse, Energie, Volumen) verträglich ist.

Hierauf baut sich aber auch der schon in der Einleitung erwähnte Grundwiderspruch auf. Zustände mit hoher Strukturiertheit (z.B. Lebewesen) entsprechen einer niedrigen Entropie des Systems und damit einer thermodynamisch sehr ungünstigen Situation.

Wir kommen damit zum Schluß des Abschnitts und wollen noch einmal zusammenfassen:

Das thermodynamische Gleichgewicht entspricht bei gegebenen Bedingungen dem höchsten Grad von Unordnung (maximale Entropie).

Die Suche nach Zuständen mit vergleichsweise höherer Strukturiertheit muß daher auf den Bereich des Nichtgleichgewichts orientiert werden. Auch hier gilt für jeden Prozeß nach wie vor der II. Hauptsatz: $d_i S > 0$. Jetzt ist jedoch nur das Ungleichheitszeichen gültig. Im Nichtgleichgewicht gilt aber $S < S_{\text{max}}$.

Diese Aussage bedeutet nach unseren Überlegungen, daß die Nichtgleichgewichtszustände eine höhere Strukturiertheit besitzen als die Zustände des Gleichgewichts.

An die Stelle der Entropie tritt im Nichtgleichgewicht die Entropieproduktion (Entropieänderung pro Zeit), die wegen (2.5) stets positiv ist:

$$P = \frac{d_i S}{dt} > 0 \quad (2.14)$$

Wie wir noch sehen werden, lassen sich für die Entropieproduktion Variationsprinzipien finden, die die Art und den Ablauf beliebiger irreversibler Prozesse bestimmen.

**Der Strom der Veränderung erneuert
ständig die Welt.**

Mark Aurel

In den sechziger Jahren entstand bei Arbeiten zur Bestimmung der Küstenlänge Großbritanniens die Frage, ob es Gebilde mit gebrochenzahliger Dimension gibt. Richardson fand, daß das Ergebnis stark vom verwendeten Maßstab abhängt. So ermittelte er bei einer Maßstabslänge von einem Kilometer eine dreimal so große Küstenlänge als bei einer Maßstabslänge von 1000 km. Die Ursache ist klar, je kleiner der Maßstab, desto mehr kleine Einbuchtungen müssen berücksichtigt werden. Man ermittelte schließlich für die Küste Großbritanniens die fraktale Dimension von $D = 1,26$. Eine intensive Diskussion über Fraktale und deren Eigenschaften setzte nach der Veröffentlichung der Arbeit "Wie lang ist die Küste von Großbritannien?" von Benoit B. Mandelbrot im Jahre 1967 ein.

Die Begriffe Fraktal und fraktale Dimension sollen im folgenden erläutert werden.

Ein Punkt besitzt die Dimension 0, eine Gerade die Dimension 1, eine Ebene die Dimension 2 und der Raum hat die Dimension 3. Es treten zunächst nur ganze Zahlen auf. Um die Methode zu verdeutlichen, wie man für gewisse Kurven gebrochenzahlige Dimensionen erhält, betrachten wir jetzt den Umfang eines Kreises. Er soll durch das Einschreiben von regelmäßigen n -Ecken ermittelt werden.

Im Falle eines gleichseitigen Dreiecks erhält man für die Länge einer Dreiecksseite nach einer kurzen Rechnung

$$l_3 = \sqrt{3} r$$

und damit für den Kreisumfang den Näherungswert

$$u_3 = 3 l_3$$

$$= 5,1962 r$$

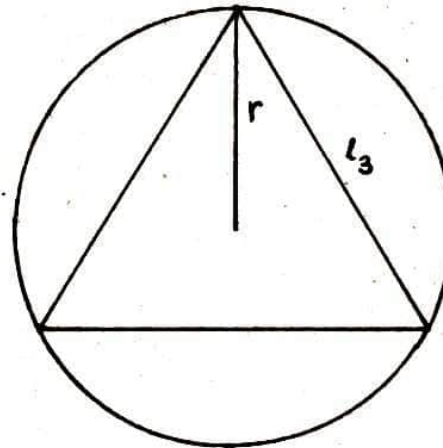


Abb.1

Die Indizes sollen dabei auf das verwendete n-Eck hinweisen. Beschreibt man ein Quadrat (Seitenlänge $l_4 = \sqrt{2} r$) in den Kreis ein, erhält man den Näherungswert

$$\begin{aligned} u_4 &= 4 l_4 \\ &= 5,6569 r \end{aligned}$$

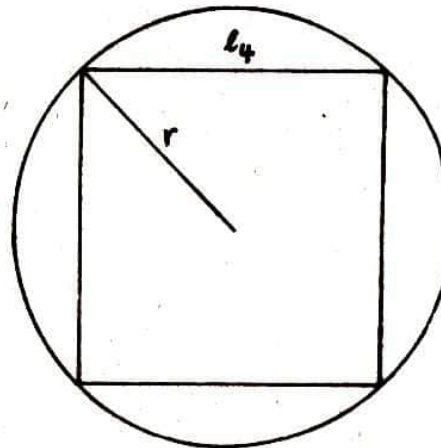


Abb.2

Für den Fall $n = 12$ berechnet man z.B.

$$u_{12} = 6,2117 r$$

Setzt man das Verfahren weiter fort, erhält man eine immer bessere Übereinstimmung mit dem genauen Wert von $u = 2 \cdot \pi r$ ($= 6,2832 r$), d.h. für $1 \ll r$ kann man in guter Näherung schreiben:

$$u = a l \tag{1}$$

wobei l der Maßstabsfaktor und a eine reelle Zahl sind. Aus Gleichung (1) erhält man

$$a = u/l$$

d.h. $a \sim l^{-1}$,

und für den Umfang des Kreises im Grenzfall $n \rightarrow \infty$

$$u \sim l^{-1} \quad l$$

und damit Unabhängigkeit vom gewählten Maßstab. Im obigen Beispiel der Küstenlänge Großbritanniens ergibt sich jedoch

$$L \sim l^{-0.26}$$

also Abhängigkeit vom verwendeten Maßstab.

Im weiteren erweist sich der Ansatz

$$a = C l^{-D} \quad (2)$$

als sinnvoll (l : Maßstabsfaktor, D : fraktale Dimension, C : reelle Zahl, konstant).

Damit erhält man für die Kreislinie wie erwartet die (fraktale) Dimension $D = 1$, für die Länge der Küste berechnet man

$$L_{\text{ges}} = a \cdot l$$

$$= C l^{-D} \cdot l$$

$$= C l^{1-D}$$

$$L_{\text{ges}} \sim l^{-0.26}$$

Durch Vergleich erhält man die fraktale Dimension der Küstenlinie Großbritanniens $D = 1,26$.

Für Gebilde, bei denen gewöhnliche Dimension und fraktale Dimension nicht übereinstimmen, verwendete Mandelbrot die Bezeichnung Fraktale.

Ein einfaches Beispiel für ein Fraktal ist die sog. Kochkurve. Zur Konstruktion geht man von einer Strecke der Länge 1 aus (Zur Vereinfachung verzichten wir bei Längenangaben auf die Einheit). Diese Strecke wird in drei gleiche Teile geteilt (Abb. 3).



Abb. 3

Über der mittleren Strecke errichte man ein gleichseitiges Dreieck, dessen untere Seite ausradiert wird (Abb. 4).

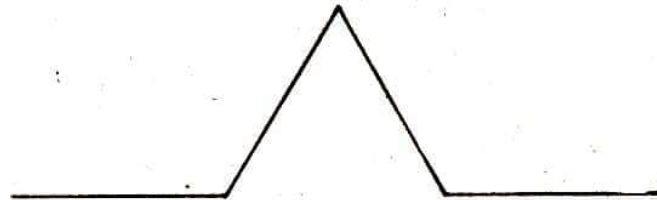


Abb. 4

Dieses Verfahren wird auf die vier Strecken in Abb. 4 angewendet, man erhält:

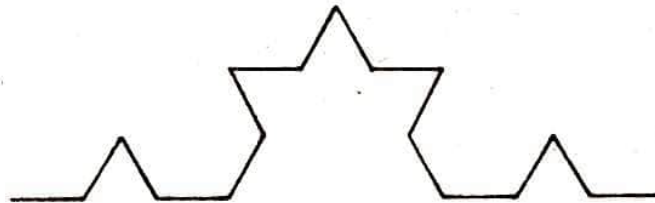


Abb. 5

und so weiter; im Grenzfall unendlich oft, hier sei nur noch der nächste Konstruktionsschritt angegeben (Abb. 6).

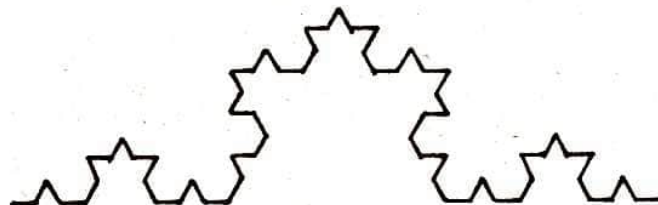


Abb. 6

Führt man hinreichend viele Konstruktionsschritte aus, erkennt man

eine wichtige Eigenschaft der Koch-Kurve: sie ist "selbstähnlich", d.h. eine Vergrößerung eines Ausschnitts der Koch-Kurve ist von der Koch-Kurve selbst nicht unterscheidbar. Sie hat weiterhin nach unendlich vielen Konstruktionsschritten die Eigenschaft, überall stetig und nirgends differenzierbar zu sein.

Zur Ermittlung ihrer fraktalen Dimension betrachten wir das Verhältnis der Längen der Koch-Kurve zwischen zwei aufeinanderfolgenden Konstruktionsschritten. Die Länge der Ausgangsstrecke ist $L_0 = 1$. (Der Index bezeichnet die Anzahl der erfolgten Konstruktionsschritte.) Für die Länge L nach einem Konstruktionsschritt erhält man $L_1 = 4/3$, die dabei verwendeten Maßstabsfaktoren sind $l_0 = 1$ und $l_1 = 1/3$. Das Längenverhältnis ergibt sich zu

$$\frac{L_1}{L_0} = \frac{4}{3}$$

Wie man aus der Konstruktionsvorschrift für die Koch-Kurve leicht ableitet, bleibt das Längenverhältnis $4/3$ für zwei aufeinanderfolgende Konstruktionsschritte immer erhalten; der Maßstabsfaktor im n -ten Konstruktionsschritt ist

$$l_n = 1/3^n$$

Nun ist aber

$$L_n = a l_n$$

und mit obiger Definition (2)

$$L_n = C (l_n)^{1-D} l_n$$

Damit erhält man

$$\frac{L_{n+1}}{L_n} = \frac{C (l_{n+1})^{1-D}}{C (l_n)^{1-D}}$$

Setzt man die oben erhaltenen Zahlenwerte für Längenverhältnis und Maßstabsfaktor ein, erhält man eine Bestimmungsgleichung für

die fraktale Dimension D der Koch-Kurve:

$$\frac{4}{3} = \frac{(1/3^{n+1})^{1-D}}{(1/3^n)^{1-D}}$$

$$D = \frac{\ln 4}{\ln 3} = 1,2619 \dots$$

Eine Modifikation der Koch-Kurve ist der aus selbstähnlichen Teilen aufgebaute Koch-Stern. Hier geht man von einem gleichseitigen Dreieck aus und verwendet die gleiche Konstruktionsvorschrift wie für die Koch-Kurve (Abb. 7 u. 8.)

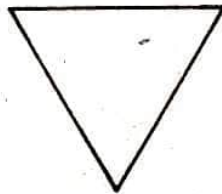


Abb. 7

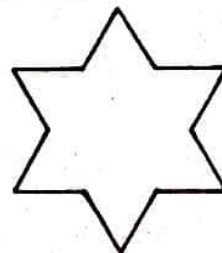


Abb. 8

Die fraktale Dimension des Koch-Sterns entspricht der der Koch-Kurve.

Ein weiteres Fraktal sei nur durch die Angabe der Konstruktionsvorschrift (Abb. 9 bis Abb.11) angegeben.



Abb. 9

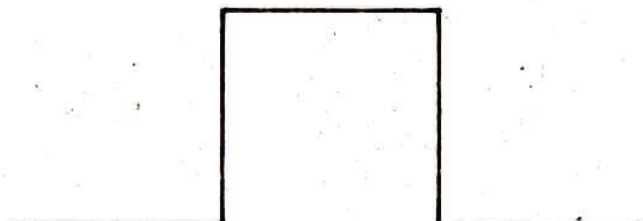


Abb. 10

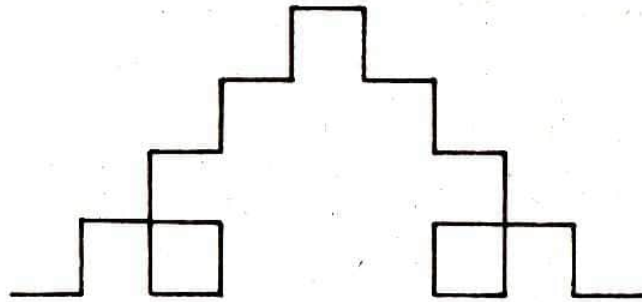


Abb. 11

Hier beträgt die fraktale Dimension

$$D = \frac{\ln 5}{\ln 3}$$

$$= 1,4650 \quad .$$

Das große Interesse an Fraktalen folgt aus der Tatsache, daß in der Natur häufig fraktale Formen auftreten. So ist z.B. der Rand einer Wolke ein Fraktal; für Sandsteinproben mit charakteristischen Abmessungen von 0,1 µm bis 100 µm wurde experimentell eine fraktale Dimension zwischen $D = 2,57 \dots 2,87$ ermittelt.

Auch die Lichtenbergschen Figuren, die entstehen, wenn man eine genügend hoch elektrisch geladene Spitze auf eine isolierende, mit Bärlappsamen bestreute Platte stellt, sind Fraktale. Sie werden durch einen Prozeß verursacht, den man als diffusionsbegrenzte Aggregation bezeichnet.

Hinter diesem Begriff verbirgt sich nicht anderes als ein Anlagerungs- bzw. Wachstumsvorgang, bei dem sich Teilchen, die aus zufälliger Richtung kommen, an eine Oberfläche anlagern. Wichtig dabei ist, daß die haftenden Teilchen sich nicht umordnen. Aufgrund statistischer Schwankungen der Anlagerung werden auf der Oberfläche Bereiche existieren, an denen mehr bzw. weniger Teilchen zu finden sind. Damit kommt es zur Ausbildung von "Bergen" und "Tälern", die den weiteren Fortgang wesentlich beeinflussen. Für die neuankommenden Teilchen ist es nämlich wesentlich leichter, sich an den "Berghängen" festzuhalten, als in die "Täler" zu

gelangen. Damit stellt sich ein ungleichmäßiges Wachstum ein und im Endeffekt wird die Oberflächenstruktur stark von der eines Kristalls oder amorphen Körpers abweichen. Das Resultat eines mit Hilfe des Computers simulierten derartigen Wachstumsprozesses zeigt Abb.12. In diesem Fall wurde ein Fraktal mit der Dimension 2,4 erhalten. Man vergleiche diese Bild mit dem eines interplanetaren Staubeilchens (Brownlee-Teilchen) in Abb.13.

In Abb.14 sind Beispiele für Strukturbildung bei diffusionsbegrenzten Aggregationsvorgängen zu sehen. Im Bild links oben handelt es sich um eine Zinkablagerung in einer elektrolytischen Zelle, deren Gestalt von der angelegten Spannung abhängt. Erhöht man diese, so ergibt sich das rechts unten zu sehende Muster. Es

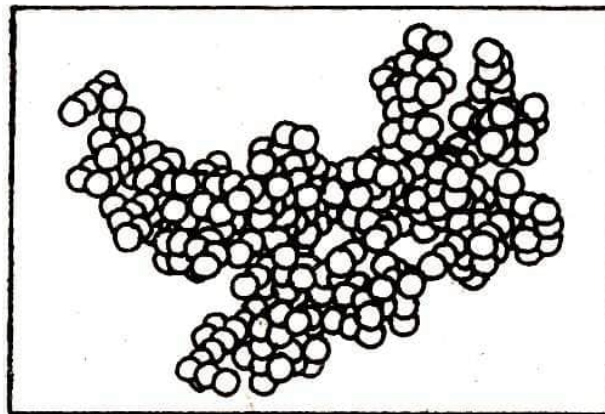


Abb.12

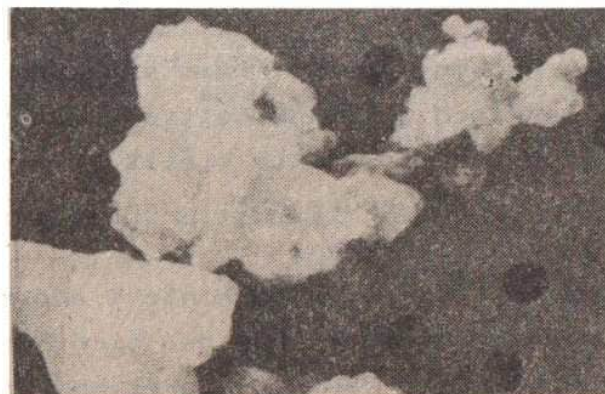


Abb.13

unterscheidet sich deutlich von einer fraktalen Form und besitzt eine dendritische oder schneeflockenähnliche Gestalt. Das Bild rechts oben stellt eine Luftblase dar, die sich in einer Flüssigkeit mit hoher Viskosität (im Beispiel Glyzerin) ausbreitet. Eine ähnlich Erscheinung ergibt sich auch, wenn man Wasser in die Mitte eines Blfleckes bringt. Die bereits erwähnten Lichtenberg-

sehen Figuren sind durch das Bild links unten vertreten. Der Vorgang der diffusionsbegrenzten Aggregation ist nur ein Prozeß, mit der die Natur Objekte hervorbringt, deren Dimension gebrochen ist.

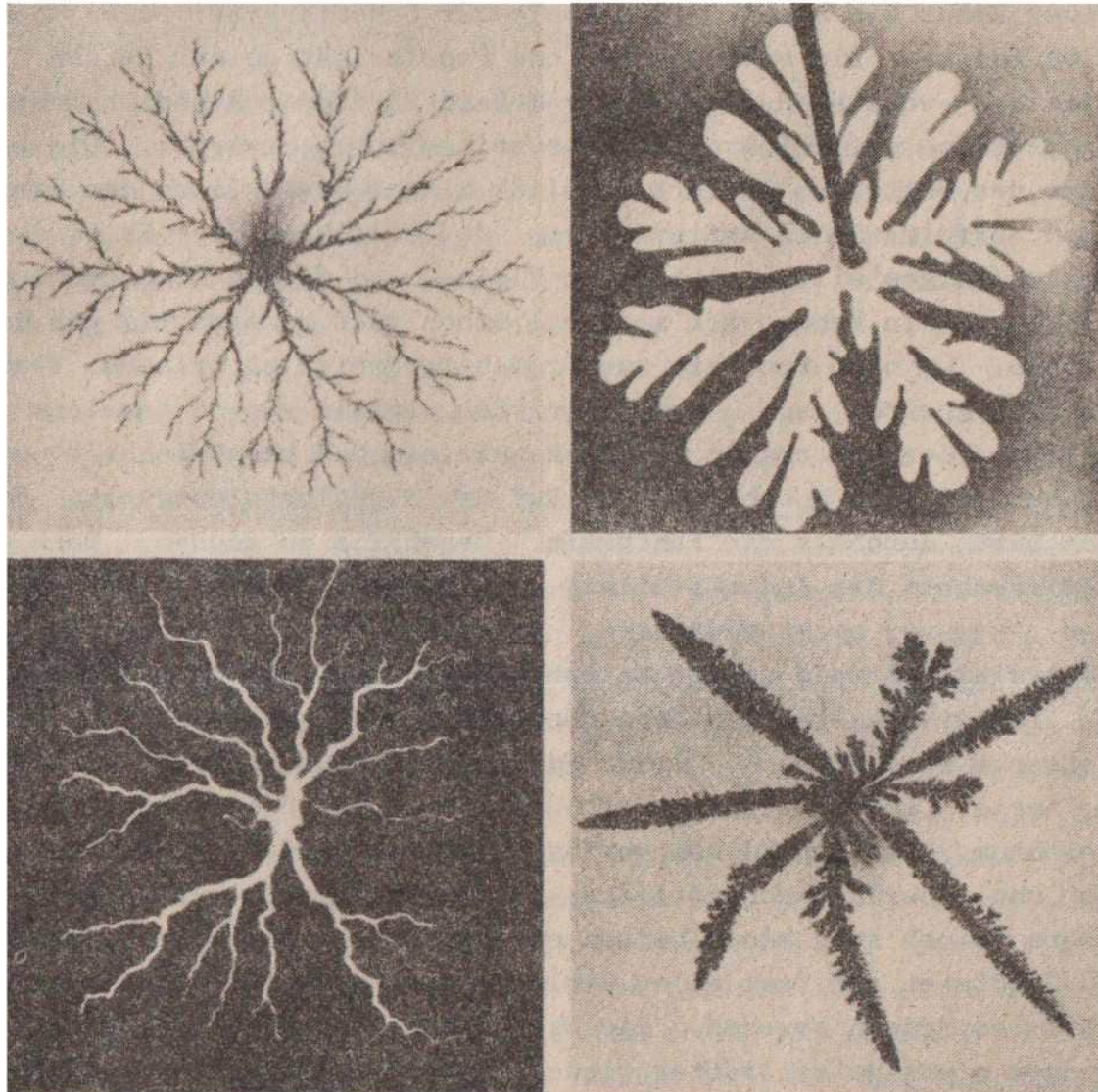


Abb. 14

BÜCHERMARKT

Wolfgang und Hella Schreier: „Thomas Alva Edison“, Biographien hervorragender Naturwissenschaftler, Techniker und Mediziner; Band 23, BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft Leipzig 1987; 4. Auflage; Bestell-Nr. 665 776 1; Preis: 6,- M

Der Phonograph, die Glühlampe, das erste elektrische Energienetz - wer kennt sie nicht, die Symbole der Schöpferkraft eines Thomas Alva Edison. Die außergewöhnliche Popularität seiner Person impliziert wohl auch, daß man vom Band 23 dieser Reihe überdurchschnittlich aufschlußreiches aus seinem Leben erwartet. Die Lektüre des Heftchens gewährt Einblick hinter die Kulisse des strahlend erfolgreichen Erfindertyps, des Alleskönners. Es wird ein Mensch dargestellt inmitten von kleinen und großen Problemen des Alltags; ein Mann, der manchmal schon fast widerwärtig zäh sein konnte, um neue Projekte zur Produktionsreife zu bringen. Traten Schwierigkeiten auf, schloß er sich oftmals gleich tagelang mit seinen Mitarbeitern in der Werkstatt ein und besaß deshalb wohl auch nicht ganz unschuldig den Ruf der Rücksichtslosigkeit. Edison hatte durchaus die Fähigkeit, Geschäfte zu machen. Doch der Gerissenheit der Industriellen, die seine Erfindungen vermarktetten, war er nicht gewachsen. Allerdings interessierte ihn der finanzielle Erfolg seines Unternehmens nur bis zu der Höhe, die er für die Umsetzung seines nächsten Vorhabens benötigte. Diese Tatsache erklärt auch, warum Edison nie zu übermäßigem Besitztum gelangte. Immer wieder verblüfft der unwahrscheinliche Ideenreichtum, über den Edison verfügte. Seine schnelle Auffassungsgabe und überdurchschnittliche Vorstellungskraft verhalfen ihm trotz seiner sehr mangelhaften naturwissenschaftlichen Kenntnisse zu Großtaten auf fast allen Gebieten der Technik. Wünschenswert wäre es jedoch gewesen, die Wirkungsweise einiger seiner Erfindungen etwas detaillierter wiederzugeben, was neben einer Verbesserung des Gesamteindrucks auch eine eigene Wertung der Leistungen Edisons erleichtern würde. Andererseits sollte vielleicht einmal überdacht werden, ob die breite Ausführlichkeit der gesellschaftlichen Zusammenhänge unbedingt notwendig war - vielleicht unter dem Gesichtspunkt, daß dem Leser auch etwas Freiraum für eigenes Denken gelassen werden sollte. Alles in allem

jedoch ist das Büchlein zufriedenstellend informativ und könnte durchaus Anlaß sein, sich mit der Biographienreihe der Leipziger Teubner Verlagsgesellschaft näher zu beschäftigen.

Jens Thiele

Josef Kuczera: „Heinrich Hertz“, Biographien hervorragender Naturwissenschaftler, Techniker und Mediziner; Band 20, BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft Leipzig 1987; 3. Auflage; Bestell-Nr. 666 379 0; Preis: 4,50 M

In aller Munde ist er wie eh und je: Heinrich Hertz. Wenn auch zumeist als Frequenzeinheit - eine größere Ehre kann es für einen Wissenschaftler wohl kaum geben. Warum aber gerade Hertz? Man kann ihn ohne Übertreibung als den Vorreiter auf dem Gebiet der elektromagnetischen Wellentheorie bezeichnen. Wie außergewöhnlich dieser Physiker war, zeigt die vorliegende Biographie. Nach einem Jahr Studium in München "schien es Heinrich Hertz, hier die Grenzen des Weiterkommens in den Naturwissenschaften erreicht zu haben." Er wechselt nach Berlin und beginnt nach einem weiteren Jahr seine Dissertation. Deren Verteidigung fand schon vierzehn Tage danach statt. Zu diesem Zeitpunkt war er gerade 22 Jahre alt. Zu seinen Lehrern zählten namhafte Physiker seiner Epoche: Philip von Jolly, Gustav Robert Kirchhoff und Hermann von Helmholtz. Unter der gezielten Anleitung durch Helmholtz beschäftigte er sich intensiv mit Magnetismus und Elektrodynamik. Hertz verdanken wir letztendlich die einheitliche Darstellung der elektromagnetischen Wellen auf der Grundlage der Maxwell'schen Theorie. Lobenswert ist die gelungene Darstellung zahlreicher Fakten aus dem Leben Heinrich Hertz', Sproß einer gutbürgerlichen Familie. Negativ fiel mir die oft unmotivierte Wertung auf, die durch ihre schulmeisterhafte Art einen unangenehmen Eindruck hinterläßt. Der Autor zeigt den immensen Fleiß, der Heinrich Hertz eigen war. Im Anhang sind für den Interessenten Quellen zusammengestellt; der Text ist mit vielen Zitaten, insbesondere aus Briefen und Tagebuchauschnitten, durchsetzt.

Für die nächste Ausgabe würde ich mir eine Überarbeitung hinsichtlich der Einordnung in historische Abläufe, nicht nur aus wissenschaftlicher Sicht, wünschen.

Andreas Glawie

Lösung der 2. und 3. Aufgabe der Internationalen Physikolympiade 1987 (aus Heft 6/87)

Aufgabe 2:

1. Berechnung von B :

Der Vektor der Geschwindigkeit eines beliebigen Elektrons wird in Komponenten parallel und senkrecht zum Magnetfeld B zerlegt:

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}_p + \mathbf{v}_s \quad (1).$$

Die Lorentzkraft $\mathbf{F} = -e (\mathbf{v} \times \mathbf{B})$ beeinflusst nur die Senkrechtkomponente; sie wirkt als Radialkraft:

$$m (v_s)^2 / r = e v_s B \quad (2).$$

Daraus ergeben sich der Radius der durchlaufenen Kreisbahn zu

$$r = (m v_s) / (e B) \quad (3)$$

und die von v_s unabhängige Umlaufzeit zu

$$T = 2\pi r / v_s = (2\pi m) / (e B) \quad (4).$$

Die Parallelkomponente der Geschwindigkeit verändert sich nicht. Sie ist wegen $\alpha_0 \ll 1$ in guter Näherung für alle Elektronen gleich:

$$v_{p0} = v_0 \cos \alpha_0 \approx v_0 \quad (5).$$

Für den Abstand b zwischen den Fokussierungspunkten ergibt sich mit (5)

$$b = v_{p0} T \approx v_0 T \quad (6).$$

Nach dem Energiesatz besteht zwischen der Beschleunigungsspannung U_0 und der Geschwindigkeit v_0 die Beziehung

$$m(v_0)^2 / 2 = e U_0 \quad (7).$$

Unter Verwendung von (7) und (4) erhält man aus (6)

$$b = 2\pi \sqrt{2 m U_0 / e} / B \quad (8)$$

und wegen $b = 2\pi R / 4$ wird

$$B = 4 \sqrt{2 m U_0 / e} / R \quad (9).$$

Mit den angegebenen Werten erhält man $B = 1,48 \cdot 10^{-2} \text{ V s m}^{-2}$.

2. Berechnung von B_1 :

Analog zu (2) muß gelten

$$m (v_0)^2 / R = e v_0 B_1 \quad (10).$$

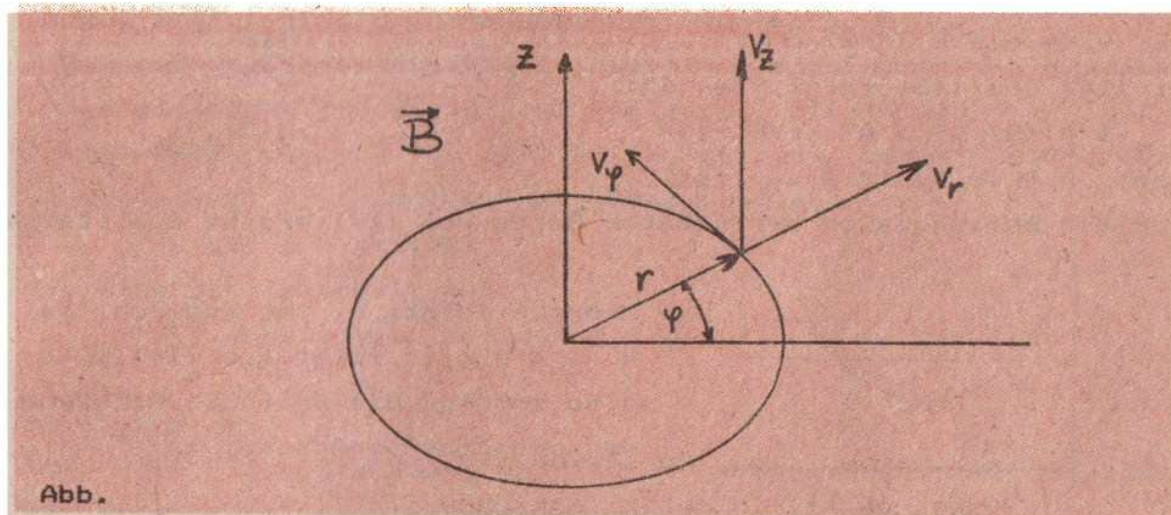
Mit (7) folgt

$$B_1 = \sqrt{2 m U_0 / e} / R \quad (11).$$

Nach dem Einsetzen der Werte ergibt sich $B_1 = 0,37 \cdot 10^{-2} \text{ V s m}^{-2}$.

3. Endlichkeit von r_1 und Richtung der Driftgeschwindigkeit:

Die Magnetfeldlinien sind Kreise mit dem Zentrum auf der Symmetrieachse (z-Achse) des Toroids. Der Symmetrie des Problems entsprechend werden in der Ebene senkrecht zur z-Achse Polarkoordinaten r und φ eingeführt und die auftretenden vektoriellen Größen (Geschwindigkeit, Magnetfeld, Lorentzkraft) in die entsprechenden Komponenten zerlegt.



Da der Öffnungswinkel des Strahls vernachlässigt werden darf, ist ein einzelnes Elektron zu betrachten, das mit der Geschwindigkeit v_0 auf dem Radius R tangential in das Toroid injiziert wird.

Die kinetische Energie bleibt im statischen Magnetfeld erhalten; also gilt

$$E = m (v_r^2 + v_\varphi^2 + v_z^2)/2 = m (v_0)^2/2 \quad (12).$$

Die radialen Umkehrpunkte des Elektrons sind durch die Bedingung $v_r = 0$ definiert. Aus (12) ergibt sich damit

$$v_0^2 = v_\varphi^2 + v_z^2 \quad (13).$$

Ein solcher Umkehrpunkt ist offensichtlich $r = R$ ($v_\varphi = v_0$, $v_r = 0$, $v_z = 0$). Um weitere Umkehrpunkte und damit die maximale radiale Abweichung des Elektrons zu finden, sind in (13) die Geschwindigkeitskomponenten v_φ und v_z durch den Radius auszudrücken.

Aus dem Drehimpulsatz wird v_φ bestimmt. Offensichtlich hat die Lorentzkraft keine Komponente in φ -Richtung (parallel zum Magnetfeld). Sie kann deshalb auch kein Drehmoment um die z-Achse erzeugen. Hieraus folgt die Konstanz der z-Komponente des Drehimpulses, also $L_z = m v_\varphi r = m v_0 R$ und damit

$$v_\varphi = v_0 R/r \quad (14).$$

Aus der Bewegungsgleichung in z-Richtung wird v_z bestimmt; die z-Komponente der Lorentzkraft ist $F_z = -e B v_r$. Also ist die Beschleunigung in z-Richtung

$$a_z = -e B v_r / m \quad (15).$$

Da B als konstant vorausgesetzt wird, besagt (15), daß eine Änderung von v_z mit einer Änderung von r wie $\Delta v_z = -e B \Delta r / m$ zusammenhängt. Wegen $\Delta r = r - R$ und $\Delta v_z = v_z$ folgt hieraus

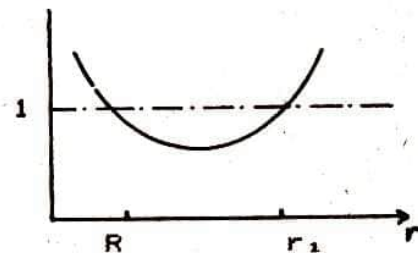
$$v_z = -e B (r - R) / m \quad (16).$$

Mit (14) und (16) folgt für (13)

$$1 = (R/r)^2 + A^2 (r/R - 1)^2 \quad (17),$$

wobei $A = (e B R) / (m v_0)$ ist.

Eine Kurvendiskussion der rechten Seite von (17) ergibt qualitativ



Hieraus folgt: r_1 ist endlich. Da $R \leq r \leq r_1$, folgt aus (16) $v_z < 0$; also erfolgt die Drift in Richtung der negativen z-Achse.

3. Aufgabe

zu a):

Die Elemente des LC-Gitters seien mit $C(n)$, $L(n)$, $C(n+1)$, $L(n+1)$... bezeichnet, wobei n als ganze Zahl den Ort des Kondensators bzw. der Spule im Gitter charakterisiert. Folgende Grundbeziehungen gelten:

Knotensatz: $i_{L(n-1)} + i_{C(n)} - i_{L(n)} = 0 \quad (1),$

Maschensatz: $u_{C(n-1)} + u_{L(n-1)} - u_{C(n)} = 0 \quad (2),$

Kapazitiver Spannungsabfall:

$$u_{C(n-1)} = i_{C(n-1)} \frac{1}{\omega C} \quad (3).$$

Man beachte, daß in (3) $i_{C(n-1)}$ anstelle von $i_{C(n)}$ steht, da der Strom der Spannung um 90° vorausseilt.

Induktiver Spannungsabfall:

$$u_{L(n-1)} = \omega L i_{L(n-1)} \quad (4),$$

wobei $i_{L(n-1)}$ anstelle von $i_{L(n)}$ steht, da der Strom der Spannung um 90° hinterherhinkt.

Ansatz für die Spannung $u_{C(n)}$ (folgt aus Aufgabenstellung):

$$u_{C(n)} = u_0 \sin(\omega t + n\varphi) \quad (5).$$

Aus (3) und (5) erhält man

$$i_{C(n-1)} = C u_0 \cos(\omega t + (n-1)\varphi),$$

$$i_{C(n)} = \omega C u_0 \cos(\omega t + n\varphi). \quad (6).$$

Aus (4) und (2) ergibt sich

$$i_{L(n-1)} = u_{L(n-1)} / (\omega L) = (u_{C(n)} - u_{C(n-1)}) / (\omega L) \text{ und mit (5)}$$

$$i_{L(n-1)} = u_0 [-\cos(\omega t + n\varphi) + \cos(\omega t + (n-1)\varphi)] / (\omega L)$$

$$i_{L(n-1)} = u_0 2 \sin[\omega t + (n-1/2)\varphi] \sin(\varphi/2) / (\omega L) \quad (7),$$

$$i_{L(n)} = u_0 2 \sin[\omega t + (n+1/2)\varphi] \sin(\varphi/2) / (\omega L) \quad (8).$$

Die Gleichungen (6), (7) und (8) müssen dem Knotensatz genügen.

Daraus ergibt sich φ in Abhängigkeit von ω , L und C .

$$0 = u_0 \omega C \cos(\omega t + n\varphi) + 2u_0 \sin(\varphi/2) \{ \sin[\omega t + (n-1/2)\varphi] - \sin[\omega t + (n+1/2)\varphi] \} / (\omega L)$$

$$= u_0 \omega C \cos(\omega t + n\varphi) + 2u_0 \sin(\varphi/2) [2 \cos(\omega t + n\varphi) \sin(-\varphi/2)]$$

Diese Bedingung muß für alle Zeiten gelten, deshalb darf durch $u_0 \cos(\omega t + n\varphi)$ dividiert werden. Daraus folgt

$$\omega^2 L C = 4 \sin^2(\varphi/2).$$

Als Endergebnis erhält man

$$\varphi = 2 \arcsin(\omega \sqrt{LC} / 2) \text{ mit } 0 \leq \omega \leq 2 / \sqrt{LC}.$$

zu b) und c):

Die Zeit, die die Welle benötigt, um eine Zelle weiterzukommen ist $\omega \Delta t = \varphi$, was aus der Bedingung $u_{C(n-1)}(t + \Delta t) = u_{C(n)}(t)$ folgt. In der Zeit Δt wird der Weg l zurückgelegt, womit sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit $v = l / \Delta t = \omega l / \varphi$ bzw.

$$v = \omega l / (2 \arcsin(\omega \sqrt{LC} / 2))$$

ergibt. Sie hängt nur schwach von ω ab, wenn $\arcsin(\omega \sqrt{LC} / 2) \sim \omega$, da dann $v = \text{const}$ ist. Dies ist nur für kleine ω erfüllt, d.h.

$$\omega \sqrt{LC} / 2 \ll 1 \text{ bzw. } \omega \ll 2 / \sqrt{LC}.$$

Für die Geschwindigkeit v_0 folgt dann

$$v_0 = 1 / \sqrt{LC}.$$

zu d):

Da nur Induktivitäten und Kapazitäten das Gitter bilden, bleibt die Energie erhalten. Mit den Bezeichnungen aus a) sind die kapazitive Energie W_C durch

$$W_C = \sum_n C (u_{C(n)})^2 / 2 \quad (1)$$

und die induktive Energie W_L durch

$$W_L = \sum_n L (i_{L(n)})^2 / 2 \quad (2)$$

gegeben. Als Standardform des Energiesatzes ergibt sich

$$W = \sum_n (C (u_{C(n)})^2 + L (i_{L(n)})^2) / 2 \quad (3).$$

Die Beziehung zur Mechanik ist so nicht erkennbar, da zwei verschiedene physikalische Größen auftauchen ($u_{C(n)}$ und $i_{L(n)}$) und

nichts der Beziehung zwischen Ort x und Geschwindigkeit $v=\dot{x}$ entspricht.

Um eine Analogie zur Mechanik herzustellen, muß die Energie durch die Ladung q und den Strom $i=\dot{q}$ und die Konstanten L und C dargestellt werden. Dazu wird $u_C(n)$ durch die durch die Spule fließende Ladung $q_L(n)$ ausgedrückt. Mit dem Knotensatz ((1) aus a)), der zu jedem Zeitpunkt gilt, findet man, daß keine Ladung verloren gehen darf, d.h.

$$q_L(n-1) + q_C(n) - q_L(n) = 0 \quad (4).$$

Mit (4) und der Grundgleichung für den Kondensator

$$u_C(n) = q_C(n)/C \quad (5)$$

gelingt die Ersetzung von $u_C(n)$ durch die Ladung $q_L(n)$. Wegen

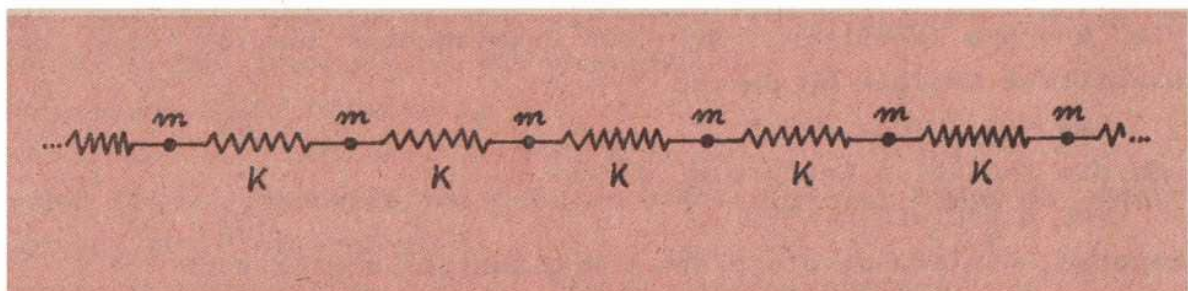
$$i_L(n) = \dot{q}_L(n) \quad (6)$$

folgt schließlich

$$W = \sum \left(L(\dot{q}_L(n))^2/2 + [q_L(n) - q_L(n-1)]^2/(2C) \right) \quad (8).$$

In bezug auf das mechanische Analogon erkennt man, daß der unter der Summe stehende linke Term den kinetischen Anteil der Energie verkörpert, während der unter der Summe stehende rechte Ausdruck den potentiellen Energieanteil darstellt. Die Ladung q wäre analog zum Ort x , die Geschwindigkeit $v=\dot{x}$ entspräche dem Strom $i=\dot{q}$ und die Induktivität L der Masse m . Auch ein anderes Modell, in dem q zu einem Winkel analog wäre ist denkbar. In diesem Fall entspräche L dem Massenträgheitsmoment.

Aus der Struktur des Anteils der potentiellen Energie folgt, daß eine Wechselwirkung stets nur mit dem nächsten Nachbarn auftritt, wobei im mechanischen Analogon die Kraft linear mit dem Abstand wächst. Dies entspräche der linearen Kopplung von Massenpunkten mit identischen Federn der Federkonstante $K = 1/C$.



1. Mondkult und Mondkalender

Der Mond hat die Menschen von Anfang an durch seine wechselnde Lichtgestalt und unübersehbare Größe in seinen Bann gezogen. Durch das Erkennen der Natur des Mondes als einen Satelliten, der in rund 27,3 Tagen den Planeten Erde einmal umläuft, ist es für die heute mit dieser Erkenntnis lebenden Menschen kaum noch vorstellbar, welche mystifizierende Wirkung die Erscheinung des Mondes auf die vor einigen tausend Jahren lebenden Menschen ausübte. Andeutungsweise lassen sich jedoch die ersten Vorstellungen über den Mond anhand von archäologischen Funden, die ein Alter von 10000 bis 30000 Jahren besitzen, nachvollziehen.

Aufgrund der sich im Rythmus von rund 29,5 Tagen wiederholenden Mondphasen galt der Mond seit jeher als ein kosmisches Symbol des allgemeinen Werdens und Vergehens.

Etliche aufgefundene Felszeichnungen von Menschen des Eiszeitalters, in denen der Mond im Zusammenhang mit der Fruchtbarkeit der Frau gesehen wurde, belegen darüberhinaus die Auffassung, daß die Menschen vor vielen Jahren an einen Zusammenhang zwischen irdischen und kosmischen Erscheinungen geglaubt haben. Ganz besonders deutlich wird die enge Verbindung von Mond und Frau bei einem Fund in Ungarn. Dort entdeckte man in Ablagerungen aus der Altsteinzeit ein Kalksteinplättchen von 57 mal 57 Millimeter Größe und 17 Millimeter Dicke, das wohl das weibliche Geschlechtsorgan nachbildet. Die Ränder sind eingekerbt, und an der einen, etwas spitz zulaufenden Seite sind zwei Striche eingraviert. Vermutlich haben wir es hier mit dem ältesten Mondkalender zu tun. Die Striche werden die erste und die letzte Sichtbarkeit des zu- bzw. abnehmenden Mondes kennzeichnen, die Einkerbungen die Tage dazwischen. Zählt man die Striche zusammen, ergeben sich



Abb. 1: Vollmond

insgesamt 28 Tage. Zweieinhalb Tage ist Neumond.

Auch auf anderen Kontinenten entwickelten die Völker ähnliche Vorstellungen über den Mond.

Neben den Einfluß des Mondes auf die Gedanken- und Gefühlswelt der Menschen wurde seine periodische Bewegung um die Erde im Verlaufe der folgenden Jahrtausende neben der jährlichen Bewegung der Erde um die Sonne zum Grundpfeiler bei der Entwicklung von Kalendern. So führten z.B. die Babylonier, wahrscheinlich schon im 4. Jahrtausend v.u.Z., 6 volle Monate zu 30 Tagen und 6 Monate zu 29 Tagen ein. Das daraus resultierende Jahr hatte eine Länge von 354 Tagen. Die verbleibende Differenz von 11 Tagen wurde ausgeglichen, indem man je nach Notwendigkeit Schaltmonate einfügte.

Andere Völker leiteten ähnliche Kalenderregeln auf der Grundlage der Mondbewegung ab.

Daß die Babylonier über sehr gute entwickelte astronomische Kenntnisse verfügten, belegt auch die Tatsache, daß sie bereits im 7. Jahrhundert v.u.Z. eine Mondfinsternis vorhersagen konnten. Allerdings beruhten diese Vorhersagen nicht auf Kenntnis der Gesetze, sondern vielmehr auf Anhäufung und rechnerischer Auswer-

tung statistischen Materials vieler beobachteter Sonnen- und Mondfinsternisse.

2. Der Mond in der Antike

2.1. Die Anfänge wissenschaftlichen Denkens

In der griechischen Antike beginnt in Auseinandersetzung mit der Mythologie eine wissenschaftliche Betrachtung der Welt. Als Begründer der griechischen Philosophie und Wissenschaft gilt Thales von Milet (640-562 v.u.Z.). Sein Schüler Anaximandros von Milet (610-546 v.u.Z.) gab als einer der ersten Denker des Altertums die Entfernung des Mondes von der Erde an. Er vertrat die Auffassung, daß sich der Mond in einer Entfernung befindet, die dem 18fachen des Erddurchmessers entspricht. Zu diesem Resultat ist er auf Grund religiöser Ueberlegungen gekommen, nach denen er sich die Erde als einen im Zentrum befindlichen Körper denkt, der von 3 Ringen umgeben ist. Diese Ringe enthalten die Fixsterne (innerer Ring), den Mond (mittlerer Ring) und die Sonne (äußerer Ring), und ihre Entfernungen verhalten sich wie 9:18:27. Hinter dem Sonnenring befindet sich ein Feuer, so Anaximandros weiter, das durch Schläuche, welche die Sterne, den Mond und die Sonne darstellen, zur Erde durchleuchtet.

Bei diesem Weltbild tritt erstmals der Gedanke auf, daß die Himmelssphären Vollkugeln sind. Dieses das Denken revolutionisierende Detail der Vollkugel erfährt seine Fortsetzung in der Annahme der Kugelgestalt der Himmelskörper.

So vertrat erstmals Pythagoras (580-ca.500 v.u.Z.) die Auffassung, daß Erde, Mond und Sonne kugelförmige Körper seien und er erkannte auch die wahre Ursache für das Entstehen der Finsternisse.

Der Pythagoräer Philolaos von Kroton (um 500 v.u.Z.) brachte einen weiteren Gedanken in die Vorstellungen vom Mond ein. So behauptete er, "der Mond scheine erdartig zu sein, weil er, wie unsere Erde, ringsum bewohnt würde, jedoch von größeren und schöneren Lebewesen und Pflanzen. Denn die Lebewesen auf ihm seien fünfzehnmal so groß (wie bei uns); sie sonderten keinerlei Ausscheidungen aus sich ab, und der Tag (dort) sei ebenfalls fünfzehnmal so lang (wie bei uns)."

Dieser Gedanke von der Bewohnbarkeit des Mondes stellt eine Erweiterung der bisherigen Vorstellungen dar, bei denen die Him-

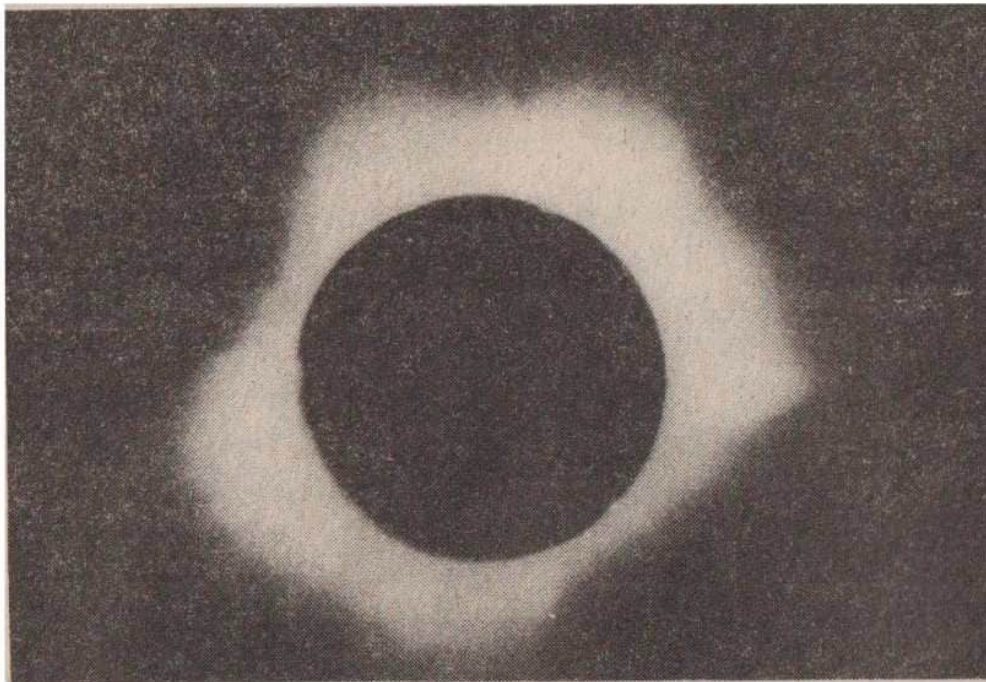


Abb.2: Sonnenfinsternis

melskörper als belebte Wesen bzw. Gottheiten angesehen wurden. Die Pythagoräer um Philolaos stellten also die geistige Quelle der Vorstellungen von außerirdischen Lebewesen dar, die im Mittelalter und bis Mitte des 19. Jahrhunderts in Bezug auf den Mond verstärkt auftraten. Teilweise, allerdings in anderen Dimensionen, wird diese Vorstellung von der möglichen Existenz außerirdischen Lebens noch heute diskutiert.

Einen weiteren wesentlichen Fortschritt bezüglich der Vorstellungen über den Mond brachten die wissenschaftlichen Überlegungen des Aristoteles (384-322 v.u.Z.). Er erkannte die Kegelgestalt des Erdschattens und bewies aus der kreisförmigen Schattenbildung bei Mondfinsternissen die Kugelgestalt der Erde.

Aristoteles gab bereits den Umfang der Erdkugel quantitativ an. Sein Wert von 400000 Stadien (1 Stadion = 185 oder 164 Meter) weicht aber noch um rund 64% (bei Annahme von 164 m für 1 Stadion) von dem heute gültigen Wert für den Äquatorumfang ab. Hinsichtlich der Entfernung des Mondes von der Erde stellte er qualitativ fest, daß sich der Mond viel näher an der Erde befindet als die Sonne.

Auch bei Aristoteles taucht der Gedanke auf, daß der Mond von

Lebewesen bewohnt sei.

Die weiter oben getroffene Feststellung des Beginns der wissenschaftlichen Betrachtungsweise der Welt in der Antike trifft nun auch auf den Mond als Betrachtungsobjekt zu. Denn mit der Kenntnis der Ursachen einer Mondfinsternis wird der Übergang von der mythologischen Betrachtung des Mondes zu einer wissenschaftlichen Betrachtung, bei der der Mond als ein sich nach bestimmten Gesetzmäßigkeiten bewogender Himmelskörper gilt, deutlich.

2.2. Erste Winkelmessungen und die Bestimmung der Mondentfernung

Gleichzeitig mit dem Beginn der wissenschaftlichen Betrachtungsweise wurden von den Griechen auch Messungen mit einfachen Winkelmessinstrumenten durchgeführt, deren Resultate in die Anfänge der ersten Theorien über die Himmelskörper einfließen. So gelang es erstmals Aristarch von Samos (320-250 v.u.Z.) auf Grund von Winkelmessungen das Verhältnis der Entfernungen Erde-Mond und Erde-Sonne zu bestimmen. Er kam zu dem Ergebnis, daß die Sonne von der Erde 19 mal weiter entfernt sei als der Mond (der wahre Wert dieses Verhältnisses beträgt rund 390). Ihm gebührt in dieser Beziehung das Recht, als der erste zu gelten, der dieses Entfernungsverhältnis aus Winkelmessungen bei der Beobachtung der Quadratur (Halbmond), bei der Sonne, Mond und Erde einen rechten Winkel einschließen, bestimmt hat.

Für den Durchmesser des Mondes gab er $19/60$ ($0,3167$) des Erddurchmessers an (wahrer Wert = $0,2727$). Über die Entfernung des Mondes findet man unterschiedliche Werte zwischen 56 und 72,4 Erdradien (wahrer Wert = $60,3$).

Die mit der Anwendung der Winkelmessung errungenen Erfolge setzten sich bei Eratosthenes (276-196 v.u.Z.) fort, denn er bestimmte den Erdumfang mit 250000 Stadien viel genauer als Aristoteles (Abweichung vom wahren Wert nur noch 2,4% bei 1 Stadion=164m).

Obwohl Ptolemäus (90-160 u.Z.) heute viel bekannter ist als Hipparch (180-125 v.u.Z.), so muß letzterer doch als der bedeutendste beobachtende Astronom des Altertums betrachtet werden. Aus dem Bestreben heraus, die astronomischen Perioden neu und genauer zu bestimmen, entdeckte er viele Erscheinungen im Zusammenhang mit den Himmelskörpern und ihrer Bewegung. Solches trifft auch für den Mond zu, denn Hipparch entdeckte die heute als

Mittelpunktsgleichung und Ekektion (s. Anm. I) bekannten Störungen in der Mondbewegung, ohne jedoch einen genauen Wert für diese Größen anzugeben. Darüber hinaus bestimmte er die Entfernung des Mondes zu 59 Erdradien und seinen wahren Durchmesser mit $3/11$ ($= 0,2727$) Erdradien bereits ziemlich genau.

Mit Ptolemäus findet die Entwicklung der Astronomie in der Antike ihren vorläufigen Abschluß. In seinem für die Astronomie bedeutendsten Werk "Almagest" faßt er auch die Kenntnisse über den Mond zusammen.

Als eine Erweiterung des Wissens gegenüber Hipparch findet man bei Ptolemäus die Angabe eines Wertes für die Ekektion von $75'$ (wahrer Wert rund $76,5'$). Die Ursachen für diese Störung konnte Ptolemäus im Rahmen der damals anerkannten Mondtheorie verständlicherweise noch nicht angeben.

Bis zum Ende der Blütezeit der Wissenschaften in der Antike war es Gelehrten also gelungen, die Entfernung und den wahren Durchmesser des Mondes mit erstaunlicher Genauigkeit anzugeben.

Bezüglich der Sonne waren diese Werte allerdings noch sehr weit von der Wahrheit entfernt. So gibt Hipparch für die Entfernung der Sonne 2490 Erdradien und den Durchmesser der Sonne mit dem 5,5fachen des Erddurchmessers an. Bei Ptolemäus findet man für diese Größen die Werte von 1210 Erdradien für die Entfernung und 5,45 Erddurchmesser für den Sonnendurchmesser (wahre Werte sind rund 23544 Erdradien für die Sonnenentfernung und 109,9 Erddurchmesser für den Sonnendurchmesser).

Daß die Sonne in solch eine relativ geringe Entfernung gestellt wurde, liegt an der fehlerhaften Messung der Sonnenparallaxe. Mond- und Sonnenparallaxen wurden bereits seit Aristarch von Samos gemessen, doch konnte der tatsächliche Wert der Sonnenparallaxe wegen seiner geringen Größe von nur $8,8''$ auf Grund unzureichender Messtechnik natürlich noch nicht ermittelt werden.

Im Altertum wurde zur Winkelmessung oft das parallaktische Lineal (Triquetrum) eingesetzt; ein etwa 2m hohes Holzinstrument, bei dem das Himmelsobjekt über einen Stab anvisiert wurde, der drehbar an einer vertikalen Stange befestigt war. Die Höhe des Gestirns konnte dann an einem dritten Stab, der die beiden anderen zu einem Dreieck verband, abgelesen werden. Hipparch und Ptolemäus beobachteten schon vorwiegend mit der Armillarsphäre. Sie bestand aus mehreren, mit Gradeinteilungen versehenen Krei-

sen, die z.T. drehbar ineinandergeschachtelt waren und nach den Grundkreisen der Himmelssphäre eingerichtet wurden. Mit einer beweglichen Visiereinrichtung wurde dann das Gestirn angepeilt und seine Koordinaten konnten an den Teilkreisen abgelesen werden.

2.3. Ptolemäus und die absoluten Entfernungen

An dieser Stelle sei einmal Ptolemäus zitiert, der über die Bestimmung einer absoluten Entfernung von Sonne und Mond im Zusammenhang mit deren Parallaxen (s. Anm. III) folgendes sagte: "..., während bei solchen Körpern, die eine Parallaxe zeigen, wie bei dem Monde, es füglich erreichbar sein dürfte, mit Hilfe einer zunächst gegebenen Parallaxe - eine solche Parallaxenbeobachtung kann nämlich für sich allein erzielt werden - lediglich das Verhältnis der Entfernungen zu finden, wogegen die Ermittlung des zahlenmäßigen Betrages der Entfernung vollständig ausgeschlossen ist."

Diese Auffassung mutet unverständlich an, denn mit der wechselseitigen Berechnung von Durchmesser und Umfang eines Kreises aus jeweils einer der zwei Größen beschäftigte man sich schon lange vor Ptolemäus. So leitete Heron von Alexandria (1. Jahrhundert u.Z.) Durchmesser, Umfang und Fläche eines Kreises gegenseitig ab und bereits Archimedes (287 - 212 v.u.Z.) gab für das Verhältnis des Umfanges zum Durchmesser (Zahl Pi) die folgende Abschätzung an:

$$3(10/71) < \pi < 3(10/70) \text{ oder } 3.1408... < \pi < 3.1428...$$

Mit diesem mathematischen Rüstzeug und den damals gültigen Werten für Erdumfang (250000 Stadien) und mittlerer Entfernung des Mondes (59 Erdradien) hätte Ptolemäus also durchaus auch die absolute Entfernung oder den "zahlenmäßigen Betrag der Entfernung" ermitteln können. Führt man diese Rechnung aus, wobei für 1 Stadion 164 Meter angenommen werden, so erhält man für die Entfernung des Mondes einen Wert von 384970 Kilometer. Dieses Ergebnis weicht nur um 470 Kilometer von dem wahren Wert für die mittlere Entfernung des Mondes ab und stellt eine großartige Leistung der Astronomen des Altertums dar. Es bleibt also unverständlich, weshalb Ptolemäus zu der oben zitierten Meinung

gekommen ist.

Anmerkungen:

I. Mittelpunktgleichung:

Bezeichnung für die periodische Abweichung (Max. $\pm 380'$) von einer gedachten gleichförmigen Bewegung des Mondes. Diese Abweichung entsteht durch die schnellere bzw. langsamere Mondbewegung in Erdnähe (Perigäum) bzw. (Apogäum) der elliptischen Mondbahn, entsprechend den Keplerschen Gesetzen.

II. Evektion:

Mondstörung, die ihre Ursache in der wechselnden Stellung von Sonne und Mond in Bezug auf die Verbindungslinie zwischen Apogäum und Perigäum (Apsidenlinie) hat (Max. $\pm 76' 26''$).

III. Parallaxe:

Der Winkel zwischen zwei von verschiedenen Standorten zu ein und demselben Punkt gerichteten Geraden. Bei der hier erwähnten Parallaxen handelt es sich um die Äquatorialhorizontalparallaxe (Mond) bzw. Horizontalparallaxe (Sonne). Sie sind die Maximalwerte der täglichen Parallaxe, die durch die Rotation der Erde hervorgerufen werden.

Der Mond

Als Gott den lieben Mond erschuf,
gab er ihm folgenden Beruf:
Beim Zu- sowohl wie beim Abnehmen
sich deutschen Lesern zu bequemen,

ein *œ* formierend und ein *z* -

daß keiner groß zu denken hätt.

• Befolgend dies, ward der Trabant
ein völlig deutscher Gegenstand.

Christian Morgenstern

Wissenswertes:

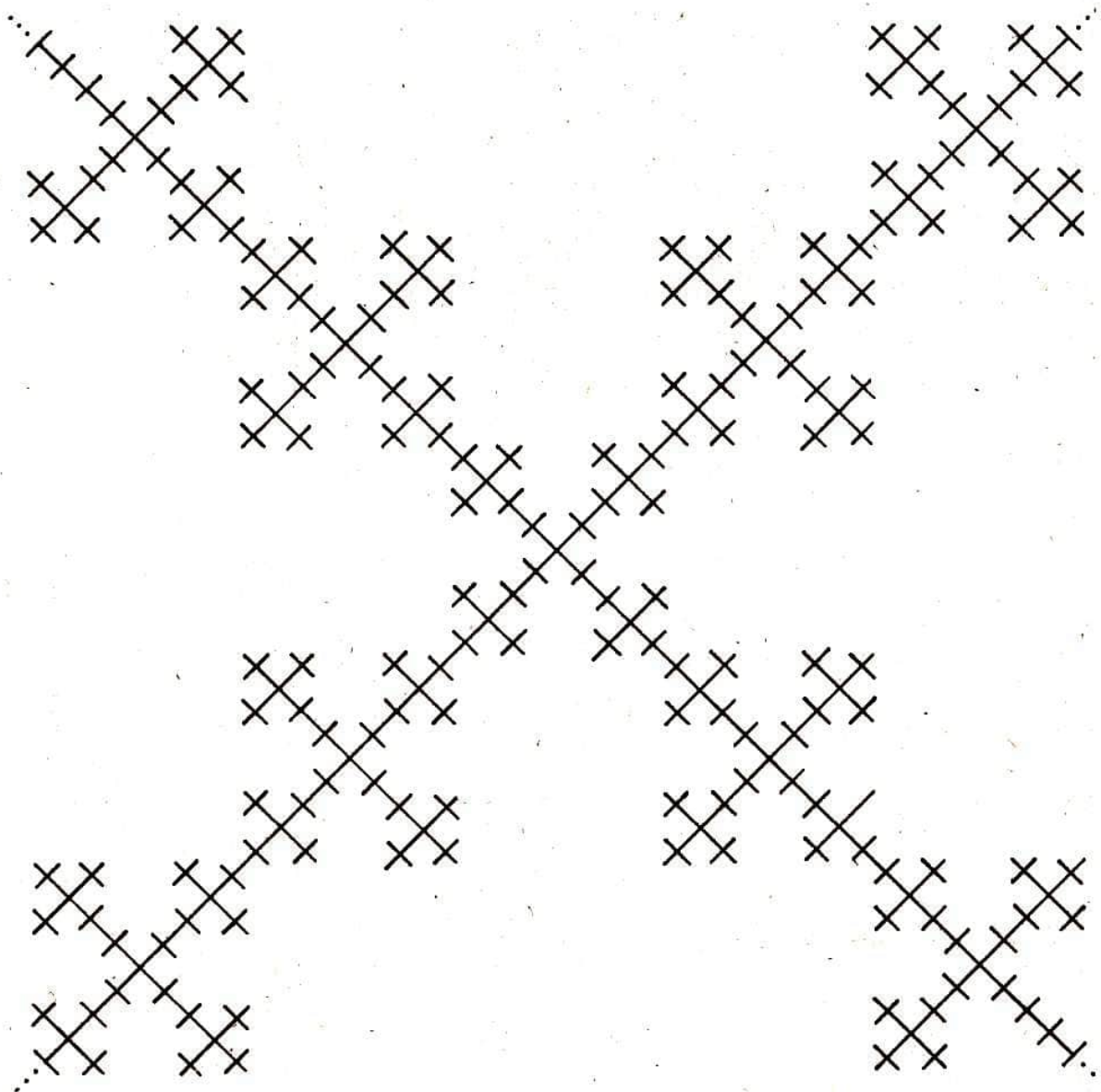
Angewandte Thermodynamik? (WiFo 12/87)

Schüttelt man eine Büchse, in der sich unterschiedlich große Objekte nahezu gleicher Dichte befinden (z.B. Murmeln verschiedener Größe), so wird man (vor allem nach Lesen des Beitrages über "Physik der Strukturbildung...") erwarten, daß sich gemäß des II.Hauptsatzes der Thermodynamik der wahrscheinlichste Zustand einstellt, d.h. eine gleichmäßige Mischung der unterschiedlich großen Objekte. Praktisch ist dies jedoch nicht der Fall. Man stellt fest, daß nach genügend langer Schüttelzeit sich oben mehr größere Objekte ansammeln, am Boden der Büchse jedoch die kleineren Murmeln überwiegen. Worin liegt die Ursache?

Man kam der Erklärung mit Hilfe einer Computersimulation auf die Spur. Anstelle der Büchse diente ein Rechteck und die Murmeln wurden durch Kreise vergleichbarer Größe dargestellt. Damit ist von vornherein ein naheliegender Fall ausgeschlossen. Unterscheiden sich nämlich die Maße der geschüttelten Objekte sehr (z.B. Sand und Steine), dann ist natürlich zu erwarten, daß der Sand zwischen den Steinen nach unten rieselt. Allerdings wird hierbei schon deutlich, daß die Schwerkraft einen Einfluß auf die Trennung der Komponenten ausübt. Dies ist auch im Fall der Objekte vergleichbarer Größe so. Bewegt sich nämlich ein größeres Teilchen so stark, daß unter ihm ein Hohlraum entsteht, so wird dieser durch kleinere Teilchen, die hineinfallen oder rutschen, ausgefüllt. Andererseits müßte sich im umgekehrten Fall eine Anzahl kleinerer Teilchen gleichzeitig so bewegen, daß ein hinreichend großes Loch für ein größeres Teilchen entstünde. Die gleichzeitige Bewegung vieler kleinerer Teilchen ist jedoch unwahrscheinlicher und tritt somit seltener auf.

Der beschriebene Prozeß besitzt Bedeutung bei der Herstellung von Arzneimitteln, Farben, Keramiken, Gläsern und in der Metallurgie. Das Computermodell legt nahe, das feinkörnige Pulver auf das gröbere zu schütten und danach eine bestimmte Zeit zu schütteln, um eine möglichst gute Durchmischung zu erhalten.

Zum Beitrag auf S. 23:



Wie ist das von Tamás Vicsek erfundene Fraktal der Dimension 1,46 fortzusetzen?

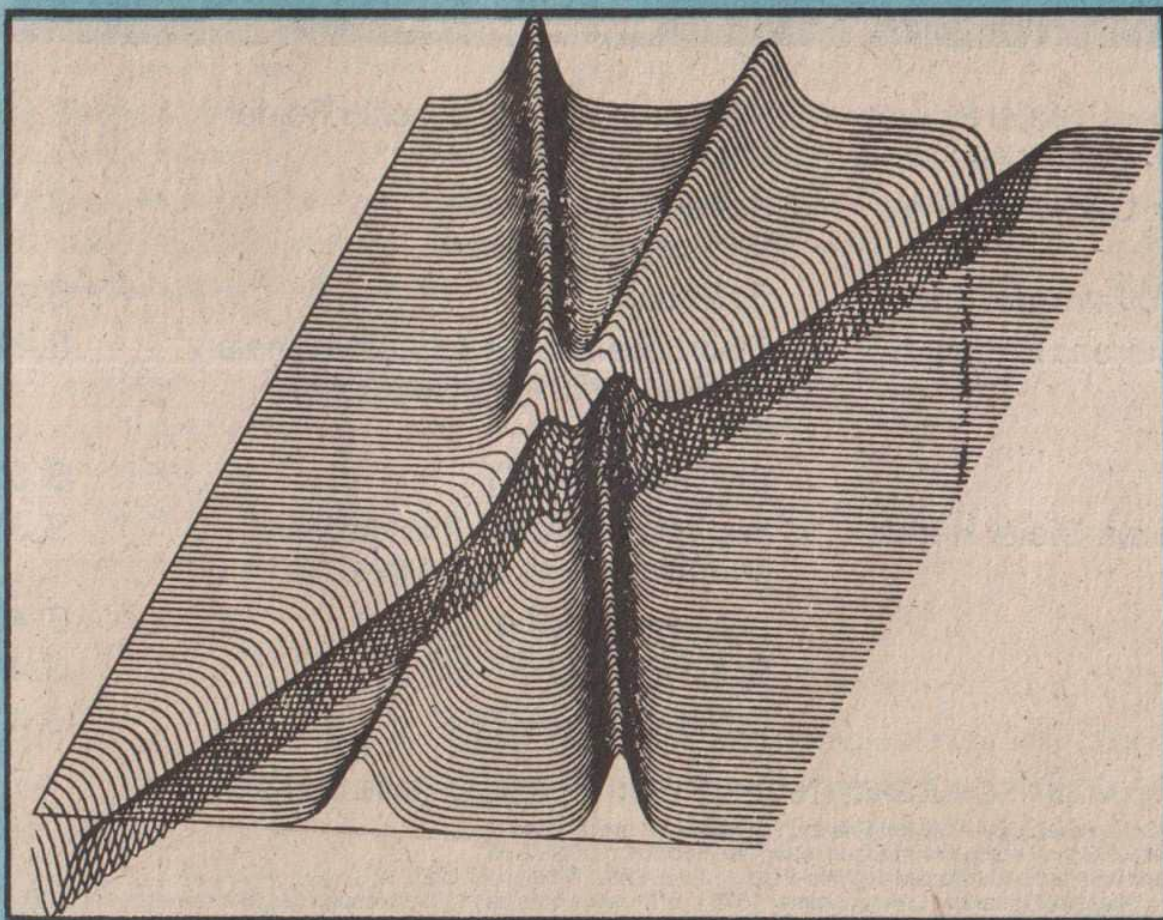
impuls

Schülerzeitschrift für
Physik, Chemie und Biologie

3/88

68

(22. Jg.) Preis 60 Pf.
INDEX 322004 ISSN 0232-9220



Solitonen



Klaus-Dieter Herbst	Messung biomagnetischer Felder	S. 3
Dr. Günter Kirsch	in Jena	
Dr. Dieter Martinez	Kaffee und Coffein –	S. 12
	Wirkung und Chemie	
Wolfram Meinhardt	Solitonen	S. 20
Andreas Erdmann	Eindrücke von der II. Internationalen	S. 30
	Konferenz für Physikstudenten	
	in Debrecen	
	BÜCHERMARKT	S. 32
Klaus-Dieter Herbst	Historischer Abriß über die Ver-	S. 33
	öffentlichungen vom Mond (2. Teil)	
	In eigener Sache	S. 45
	BÜCHERMARKT	S. 46
	WISSENSWERTES	S. 47

impuls 68 – SCHÜLERZEITSCHRIFT FÜR PHYSIK, CHEMIE UND BIOLOGIE

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

Die Zeitschrift erscheint im Eigenverlag der Redaktion „impuls 68“

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

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

Erscheinungsweise: zweimonatlich

Heftpreis: –,60 M

Bezugsmöglichkeiten: durch den Postzeitungsvertrieb

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

Chefredakteur: Dr. Bringfried Stecklum, stellv. Chefredakteur: Karsten König

Redaktionsmitglieder: Petra Richter, Peter Kroll, Alexander Niehardt, Ralph Huonker, Rainer Strobel

Andreas Erdmann, Wolfram Meinhardt, Jens Thole, Andreas Chwala

Die Redaktion wurde 1969 und 1980 mit dem Ehrentitel „Hervorragendes Jugendkollektiv der DDR“ ausgezeichnet.

Über die Annahme der Manuskripte entscheidet die Redaktion; sie behält sich das Recht vor, für nötig erachtete Kürzungen und Änderungen im Text vorzunehmen bzw. vorzuschlagen.

Gestaltung: Erdmann, Kroll, Niehardt

Redaktionsschluß: 18. 3. 1988

Titelbild: Zwei Solitonen und ein Antisoliton treffen aufeinander

In den letzten Jahren und Jahrzehnten wurden die Herz- und Kreislauferkrankungen zu den am häufigsten auftretenden Erkrankungen bei den Menschen. Dieser Trend hält weiter an, so daß sich in der ganzen Welt Ärzte, Techniker und Physiker um neue Methoden der Behandlung und Früherkennung solcher Krankheiten bemühen. Eine Möglichkeit der Früherkennung bietet dabei das ständig vorhandene Magnetfeld von Organen des menschlichen Organismus. Diese infolge von Bioströmen vorhandenen Magnetfelder sind jedoch nur von außerordentlich geringer Größe (Tab.1.)

Organ	magnetische Induktion B / Tesla
Lunge	1×10^{-9}
Herz	5×10^{-11}
Gehirn	5×10^{-11}

Tab.1. Stärke von Biomagnetfeldern

Aus dem Vergleich der Biomagnetfelder mit dem Magnetfeld der Erde ($B = 5 \times 10^{-5}$ Tesla) und mit technischen Störfeldern ($B = 10^{-6}$ bis 10^{-8} Tesla), die z.B. durch Hochspannungsleitungen verursacht werden, erkennt man, daß es im wesentlichen zwei Aufgaben gibt, die es zu lösen gilt, wenn man in der Medizin ein Biomagnetfeld nutzen möchte.

1. Entwicklung von hochempfindlichen Sensoren, mit denen die extrem schwachen Biomagnetfelder prinzipiell registriert werden können.
2. Abschirmung dieser Sensoren vor den relativ starken Magnetfeldern der Umgebung.

Die in Aufgabe 1 genannte Forderung nach hochempfindlichen Senso-

ren erfüllen gegenwärtig sogenannte SQUIDS in ausreichendem Maße. Die Bezeichnung kommt aus dem Englischen von Superconducting Quantum Interference Device und kann mit "supraleitender Quanteninterferenzdetektor" übersetzt werden.

Für die Realisierung der zweiten Aufgabe gibt es prinzipiell zwei Möglichkeiten. Die erste besteht darin, daß eine große Abschirmkammer gebaut wird, in der die Störfelder weitgehend reduziert sind (magnetisches Vakuum). In einer solchen Kammer wird der Patient und damit auch sein zu messendes Biomagnetfeld (z.B. das des Herzens) von allen äußeren Magnetfeldern abgeschirmt. Inzwischen wurden in mehreren Ländern (Finnland, USA, Berlin-West) solche Abschirmkammern gebaut. Der Aufwand und damit auch die Kosten für den Bau einer derartigen Kammer ist sehr hoch (mehr als eine Million Valutamark).

Als sehr viel kostengünstiger und bezüglich des Einsatzes in Kliniken auch praktikabler erweist sich die zweite Möglichkeit. Dabei werden die Einflüsse aller äußeren Magnetfelder durch eine spezielle Vorrichtung, die an den eigentlichen Sensor (SQUID) angeschlossen wird, kompensiert. Gemessen wird dann wiederum nur das sehr schwache Biomagnetfeld. Die führenden Labors, die den Weg des Baus solcher speziellen Vorrichtungen (Gradiometer) beschritten haben, sind jene in den USA, Italien und der DDR.

Aufbau der in Jena entwickelten Meßapparatur

Im folgenden soll nun die in Jena entwickelte Apparatur zur Messung sehr schwacher Biomagnetfelder vorgestellt werden. Ungefähr seit 1980 werden auf diesem Gebiet im Wissenschaftsbereich Detektorenphysik der Sektion Physik der Friedrich-Schiller-Universität in Zusammenarbeit mit dem Physikalisch-Technischen Institut der AdW intensive Forschungen betrieben. Unter einer Leitung von Prof. K.-H. Berthel (FSU) und Prof. G. Albrecht (AdW) bestimmt eine Gruppe von 8 Physikern die Weltspitze in der Entwicklung von Meßapparaturen ohne Abschirmkammer, also mit Gradiometer, entscheidend mit.

Aufgrund der anfangs erreichten Meßempfindlichkeit wurde in Jena mit der Messung des Herzfeldes begonnen. Bis auf die Nachweiselektronik ist die gesamte, an der FSU Jena entwickelte Meßapparatur zur Aufnahme von Magneto-Kardio (Herz)-Grammen (MKG) in

Abbildung 1 dargestellt.

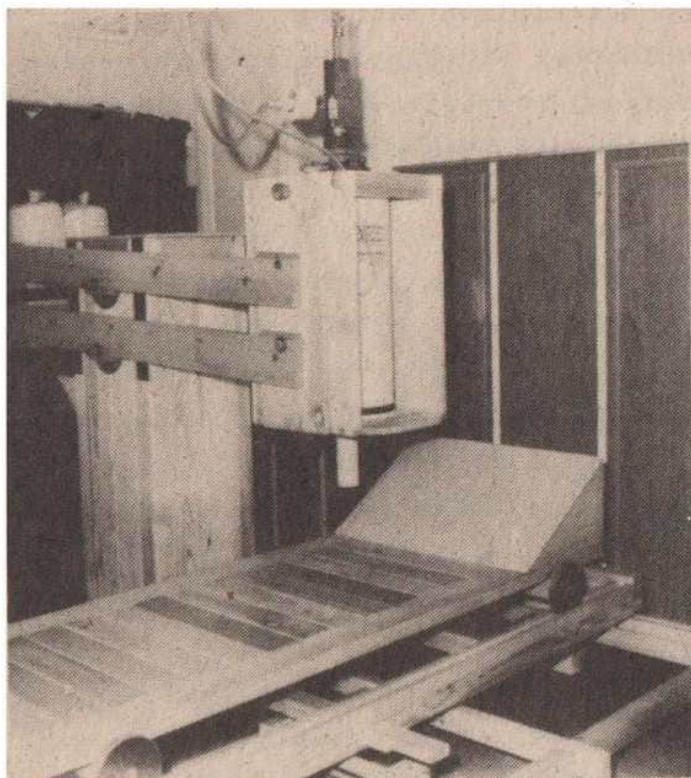


Abb. 1

MKG-Meßapparatur

Es können fünf selbstständige Teile der MKG-Meßapparatur unterschieden werden:

1. Halterung des Kryostaten (Thermostat für tiefe Temperaturen)
2. Kryostat zur Aufnahme des Meßstabes
3. Meßstab mit SQUID und Gradiometer
4. verschiebbare Liege für den Patienten
5. Nachweiselektronik

Zu beachten ist, daß die Halterung und die Liege fast ausnahmslos aus Holz oder Plaste (bzw. Quarzsand innerhalb der Standsäule) bestehen. Das ist erforderlich, da durch leitendes Material (Metall) die magnetischen Störeinflüsse vergrößert würden. Der Kryostat besitzt ein Füllvolumen von 6 Liter und besteht bei biomagnetischen Messungen ausschließlich aus hochreinem Kunststoff mit einer Superisolation.

In Abb. 2 ist die Anordnung von Gradiometer und SQUID im Kryostaten am unteren Ende des Meßstabes schematisch dargestellt.

Da die physikalischen Effekte, auf denen die Wirkungsweise des Sensors (SQUID) beruht, nur im Bereich der Supraleitung auftreten, müssen Gradiometer und SQUID auf die entsprechend tiefe

Temperatur abgekühlt werden. Die zur Herstellung von Gradiometer und SQUID verwendeten Materialien bestehen meistens aus Niob und Blei, so daß als Kühlmittel flüssiges Helium verwendet werden muß. Dessen Verflüssigungstemperatur von 4.2 K liegt unter den Temperaturen, bei denen Niob (9.2 K) und Blei (7.2 K) supraleitend werden.

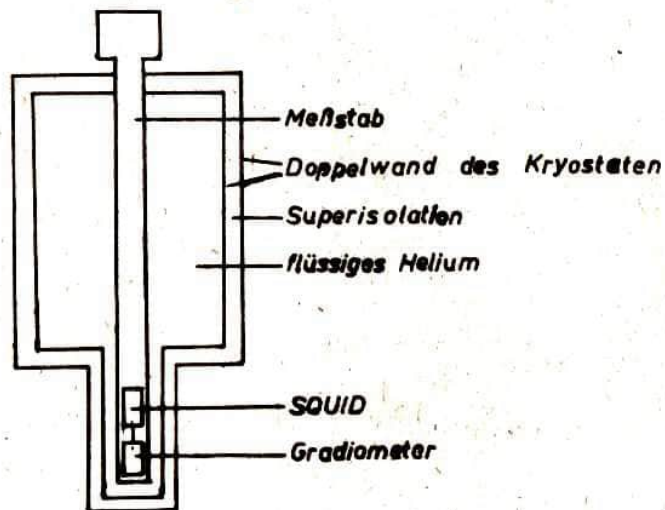


Abb. 2

Querschnitt des Kryostaten

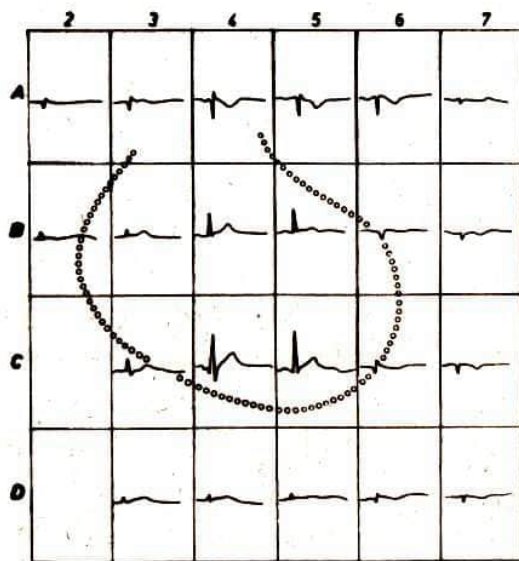


Abb. 3

MKG - Karte

Versuchsperson: H.N.

Die in zwei Richtungen verschiebbare Liege gestattet es, ohne großen Aufwand an verschiedenen Stellen der Brustoberfläche MKG's aufzunehmen.

In Abbildung 3 ist als Beispiel eine MKG-Karte zu sehen, bei der an verschiedenen Stellen in der Umgebung des Herzens aufgenommene

Signale eingezeichnet sind.

Zur Physik des SQUID

Zur Messung von Magnetfeldern wird das Induktionsgesetz angewendet. Die mathematische Formulierung dieses Naturgesetzes, die 2. Maxwellsche Gleichung, beschreibt quantitativ, wie in einer Drahtschleife, die in ein Magnetfeld gebracht wird, eine Spannung erzeugt oder "induziert" wird. Mißt man die induzierte Spannung, kann man die Feldstärke berechnen.

Die Empfindlichkeit konventioneller Meßanordnungen dieser Art reicht jedoch zur Erfassung der meisten biomagnetischen Signale bei weitem nicht aus. Hier hilft das sogenannte SQUID. Wie der Name andeutet, arbeitet dieses Instrument im supraleitenden Zustand und nutzt einen bestimmten Quanteneffekt, den Josephson-Effekt, aus.

Der englische Physiker Josephson sagte 1962 aufgrund theoretischer Überlegungen voraus, daß zwischen zwei Supraleitern, die durch eine dünne Isolatorschicht (Dicke ca. 1 nm) getrennt sind, ein Strom fließen kann, der durch die Tunnelung von Elektronenpaaren (auch als Cooper-Paare bezeichnet) zustande kommt. Bis zu einer bestimmten Stromstärke (kritischer Strom $I_c = f(\Phi_A)$) fällt dabei keine Spannung über die Isolatorschicht ab. Erst wenn der Wert für den kritischen Strom überschritten ist, tritt sprunghaft eine von Null verschiedene Spannung auf. Verbindet man zwei solcher Josephson-Elemente zu einem geschlossenen Kreis, wird diese Anordnung wie oben bereits genannt, als SQUID bezeichnet. An dem SQUID-Ring ist die Antenne über einen Transformator angeschlossen. Eine Änderung des von der Antenne erfaßten magnetischen Flusses Φ_A senkrecht zur SQUID-Fläche A ruft sowohl einen zusätzlichen Abschirmstrom I im SQUID-Ring als auch ein Eindringen von magnetischen Flußquanten $\Phi_0 = 2 \cdot 10^{-15}$ Vs in dem Ring hervor. Daraus resultiert eine periodische Abhängigkeit des kritischen Stromes $I_c = f(\Phi_A)$.

Die Magnetfeldempfindlichkeit eines SQUIDs ist durch die Änderung des kritischen Stromes I innerhalb einer Feldperiode bestimmt. Das SQUID stellt den zur Zeit empfindlichsten Magnetfelddetektor dar.

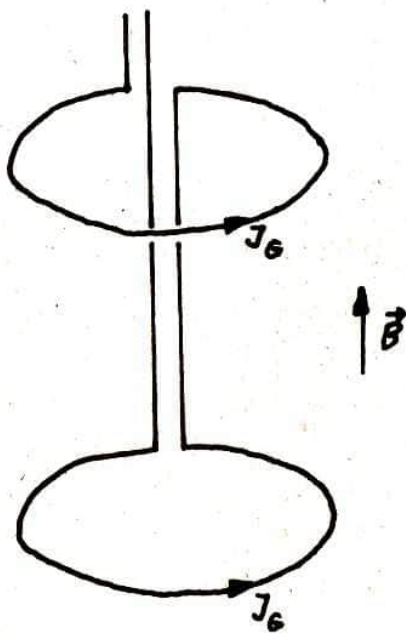
Bei der in Jena entwickelten Meßapparatur werden SQUIDs mit zwei

Josephson-Kontakten verwendet, wobei jeder Kontakt aus den Elementen Niob (Supraleiter) - Nioboxid (Isolator) - Blei (Supraleiter) besteht und eine Fläche von $2.6 \times 2.6 \mu\text{m}^2$ einnimmt. Der gesamte SQUID, zu dem neben den Josephson-Kontakten noch Spulen und Widerstände gehören, befindet sich auf einem Siliziumsubstrat der Größe $3 \times 5 \text{ mm}^2$. Die einzelnen Elemente bzw. Bestandteile des SQUID sind übereinander in Schichten angeordnet, deren einzelne Dicken jeweils unter $1 \mu\text{m}$ liegen. Die Grundlage für die Herstellung solcher SQUIDs ist die Dünnschichttechnologie.

Nach neuesten Messungen können mit dem in Jena entwickelten SQUID UJ 111 W Magnetfeldänderungen bis zu $5 \cdot 10^{-15} \text{ T}/(\text{Hz})^{1/2}$ nachgewiesen werden. Daß dieser Wert einen internationalen Spitzenwert darstellt, zeigt die Tatsache, daß solche SQUIDs nach Finnland und in die BRD verkauft werden konnten.

Wirkungsweise des Gradiometers

Um den oben genannten Spitzenwert messen zu können, mußte neben der Konstruktion eines Sensors noch auf die Unterdrückung des Einflusses der ständig vorhan-



denen Störfelder auf diesen Sensor geachtet werden. Es wurde dafür am Gradiometer eine spezielle Antennenanordnung verwendet. Der einfachste Aufbau eines Gradiometers besteht aus zwei Spulen, die bezüglich des äußeren Magnetfeldes genau symmetrisch übereinander angeordnet sind und einen entgegengesetzten Windungssinn aufweisen (Abb. 4).

Da das Gradiometer als Empfangsantenne sehr nahe (ca. 3-5 cm) an die zu untersuchende Magnetfeldquelle (z.B. Herz) herangeführt wird, kann von der Voraussetzung ausgegangen werden, daß das vorhandene Stör-

Abb.4 Einfaches Gradiometer

feld im Bereich des Gradiometers wesentlich homogener ist als das zu untersuchende Magnetfeld. Dieses als homogen angenommene Störfeld induziert in jeder der beiden Spulen des Gradiometers einen Strom I_G gleichen Betrages. Da aber die zwei Spulen entgegengesetzten Windungssinn aufweisen, heben sich diese zwei induzierten Ströme gerade auf, so daß das Störfeld keine Wirkung hinterläßt. Eine wesentliche Bedingung, daß sich die beiden Ströme aufheben, ist die Forderung, daß beide Spulen bezüglich des Magnetfeldes völlig symmetrisch angeordnet sein müssen. Das Einstellen dieser Symmetrie bezeichnet man als "Abgleich".

Die vom zu messenden Biomagnetfeld induzierten Ströme heben sich nicht auf, da dieses Feld wegen der großen Nähe zu seiner Quelle im Bereich des Gradiometers inhomogen ist (Absinken der Feldamplitude des Herzens mit wachsendem Abstand mit $B \sim \frac{1}{r^3}$) und die in den zwei unterschiedlich weit entfernten Spulen induzierten Ströme demzufolge einen unterschiedlichen Betrag aufweisen. Der sich dann ergebende resultierende Strom fließt zunächst verlustlos (da sich die Anordnung im supraleitenden Zustand befindet) zu einer weiteren Spule und bewirkt im darunter liegenden SQUID-Ring das Entstehen eines "gebündelten" Magnetfeldes. Dieses Magnetfeld bzw. der ihm entsprechende Strom wirkt dann auf die Josephson-Kontakte des SQUIDS ein. Die sich jetzt anschließenden physikalischen Vorgänge wurden bereits weiter oben kurz charakterisiert.

Um die Anordnung noch empfindlicher bezüglich des Nachweises extrem schwacher Magnetfelder zu gestalten, was mit einer noch besseren Einschränkung des Einflusses der Störfelder verbunden sein muß, können prinzipiell zwei solcher einfachen Gradiometer hintereinander geschaltet werden. In Jena wurde solch ein empfindlicheres Gradiometer gebaut. Die einzelnen Spulen haben jeweils einen Abstand von 50 mm und einen Durchmesser von 26 mm.

Auswertung der gemessenen Signale

Am Ende der Signalübertragungskette Gradiometer (Empfangsantenne für das zeitlich veränderliche Magnetfeld) - SQUID (Ausgangsspannungssignal von wenigen Mikrovolt) - Nachweiselektronik (Verstärkung des Ausgangsspannungssignal auf ca. 5 V) erhält man den in Abbildung 5 dargestellten Spannungsverlauf, der der zeitlichen Änderung des Herzmagnetfeldes entspricht.

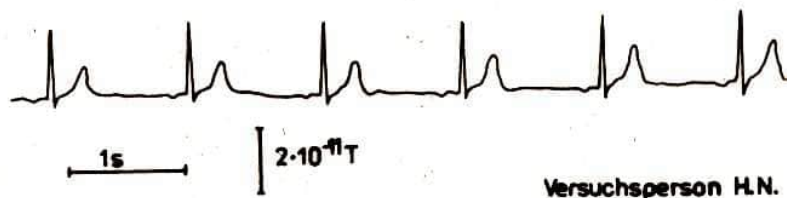


Abb.5 Zeitliche Änderung des Herzmagnetfeldes

Durch bestimmte Auswerteverfahren lassen sich daraus für die Medizin interessante Einzelheiten erkennen. Eines dieser Verfahren ist das der hochaufgelösten MKG's. Grundprinzip dabei ist, daß über ca. 100 Perioden der Herztätigkeit der Spannungs- bzw. Magnetfeldverlauf gemittelt wird. Erreicht wird dadurch eine Steigerung der zeitlichen Auflösung des Verlaufs in den Bereich von 1 ms und eine "magnetische Empfindlichkeit" von $\leq 10^{-13}$ Tesla.

Auf weitere Verfahren und Methoden der Auswertung, die ohne Benutzung leistungsfähiger Rechnersysteme nicht mehr denkbar sind, sei an dieser Stelle nicht eingegangen.

Trotz der bisher erzielten Empfindlichkeit bei Messungen extrem schwacher magnetischer Felder steht die Messung des Magnetfeldes des Gehirns erst am Anfang der Entwicklung. Bei der Messung des Herzmagnetfeldes ist man dagegen in der DDR inzwischen zur Routinemessung übergegangen. Neben einer MKG-Meßapparatur in Jena gibt es noch solch eine im Zentralen Institut für Herz- und Kreislauf-erkrankungen in Berlin-Buch, die ebenfalls in Jena hergestellt wurde.

In Jena wird jede Woche ein Patient aus der Klinik für Innere Medizin in das Labor an der Sektion Physik gebracht, um an ihm entsprechende Messungen durchzuführen. Auf die Problematik der Störfelder sei an dieser Stelle noch einmal ausdrücklich hingewiesen, denn während jeder Messung müssen in den umliegenden physikalischen Labors alle größeren elektrisch betriebenen Geräte (z.B. auch Laser) abgeschaltet werden. Die Dauer einer solchen Messung erstreckt sich über mehrere Stunden.

Hinsichtlich der Möglichkeit, aus dem Verlauf des biomagnetischen Feldes eines Patienten eventuelle Krankheiten zu diagnostizieren (Ziel ist die Früherkennung), stehen die Ärzte erst am Beginn der Anwendung dieser Methode, d.h. diese Möglichkeit ist heute noch sehr begrenzt. Zur Zeit werden in Jena zwei Diplomarbeiten und eine Dissertation von Medizinern erarbeitet, bei denen die Ergebnisse bezüglich der Diagnose von Herzkrankheiten mittels MKG verglichen werden sollen mit den herkömmlichen Methoden (z.B. Einführung von Kathedern in den Herz- bzw. Brustraum).

Gegenwärtig beschäftigen sich die Physiker mit intensiven Forschungen zum Aufbau einer sogenannten Mehrkanalanordnung für biomagnetische Messungen. Dabei sollen fünf SQUIDS mit zugehörigem Gradiometer **innerhalb** einer Meßanordnung zusammengefügt werden. Die Spulendurchmesser bei den Gradiometern werden auf 20 mm gesenkt. Bei jedem der fünf Gradiometer soll der Abgleich unabhängig voneinander durchführbar sein, was bis heute noch in keinem Labor der Welt gelungen ist.

Mit diesen Verbesserungen, bei denen noch zahlreiche Probleme gelöst werden müssen (z.B. Einfluß der Kanäle untereinander), werden im wesentlichen zwei Ziele verfolgt. Zum einen soll damit die Meßzeit entscheidend verkürzt werden. Zum anderen wird es mit einer Mehrkanalanordnung möglich sein, die biomagnetischen Quellen genauer zu lokalisieren (Ortsauflösung von wenigen Millimetern) sowie gleichzeitige Messungen an mehreren Positionen durchzuführen, um bessere Vergleichsmöglichkeiten zu erhalten. Dieses Ziel erlangt vor allem bei Messungen des Gehirnmagnetfeldes größere Bedeutung, da bei einem eventuellen chirurgischen Eingriff der Arzt die Stelle genau kennen muß, an der er die Schädeldecke öffnet.

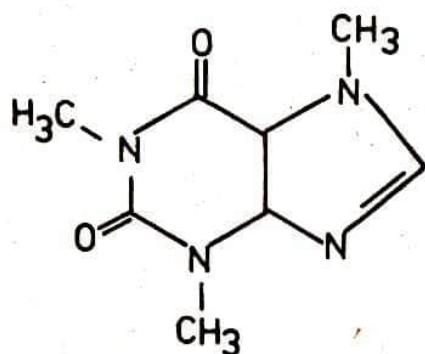
Es ist zu hoffen, daß die weiteren Bemühungen der Jenaer Physiker und Mediziner recht schnell von neuen Erfolgen gekrönt sein werden.

Zur Wirkung des Coffeins

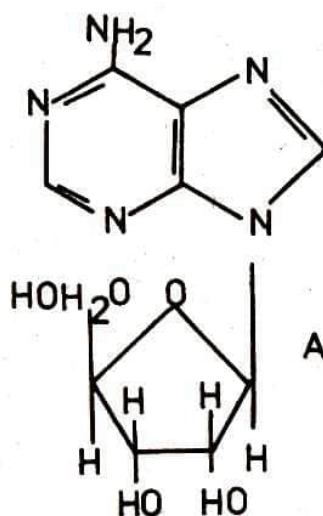
Geringe Coffeinemengen wirken anregend und belebend auf Hirnrinde, Atemzentrum und Gefäßsystem. Sie verstärken die Kontraktionskraft des Herzmuskels und sind harntreibend. Nach Aufnahme von 250 mg Coffein erhöht sich der Grundumsatz um 6%. Durch die bessere Durchblutung des Gehirns wird der Organismus angeregt, Müdigkeit verdrängt und eine vorübergehende Stimulierung der Arbeitsleistung erreicht. So wurden beispielsweise Additionsaufgaben nach Einnahme von 300 mg Coffein (etwa 4 Tassen Kaffee) um 15% schneller gelöst. Spätestens nach der Zufuhr von einem halben Gramm (etwa 7 Tassen Filterkaffee oder 4 Tassen Espresso) schlägt die Aufmunterung in Hektik um. Etwa 20% des Coffeins werden über den Harn unverändert, der Hauptteil von 80% als Harnstoff abgebaut ausgeschieden. Die akute Toxizität von Coffein ist gering. Erst ab etwa 500 - 1000 mg können Hände zittern, ausgeprägte zentrale Erregung, Schlaflosigkeit, Herzklopfen und eventuell anginöse Herzbeschwerden auftreten. Selbst nach Aufnahme von 5 g Reincoffein kann Genesung erfolgen. Erst 10 g gelten als tödlich. Dazu müßte man schon ca. 150 Tassen Kaffee (1 Tasse Filterkaffee enthält 70 - 80 mg Coffein) auf einmal zu sich nehmen und das haben selbst Honoré de Balzac und Francois-Marie Voltaire nicht geschafft, die es täglich auf 50 - 60 Tassen gebracht haben sollen.

Bei etwa 10% der Menschen kann sich nach dem Genuß von etwa 3 Tassen Kaffee pro Tag Angstgefühl, Kurzatmigkeit und Nervosität einstellen. Kaffeemißbrauch mit mehr als 10 Tassen täglich kann langfristig zu Magen-, Galle-, Lebererkrankungen, zu Herz-Kreislaufschäden und nervösen Störungen führen. Etwa 10% dieser starken Kaffeetrinker leidet an leichtem Delirium, Augenflimmern,

unregelmäßigem und schnellem Herzschlag, beschleunigter Atmung und Muskelverspannungen.



Coffein



Adenosin

Abb.1 Strukturelle Beziehungen zwischen Coffein und Adenosin

Die Hauptwirkung des Kaffees schrieb man bis Anfang der 80-er Jahre der (über die Hemmung des endogenen Enzyms Phosphordiesterase erfolgenden) Erhöhung der intrazellulären Konzentration an cyclischem Adenosin-3',5'-monophosphat zu, das zahlreiche Stoffwechselfvorgänge reguliert. Inzwischen glaubt man jedoch, daß dieser Prozeß nur eine untergeordnete Rolle spielt, daß mehrere Prozesse für die vielfältigen Coffeinwirkungen in Frage kommen. So wurde eine Mobilisierung von intrazellulärem Calcium (insbesondere in Skelett- und Herzmuskel) nachgewiesen, wodurch Herzfrequenz und Kontraktibilität der Muskelzellen verstärkt werden. Auch die Freisetzung endogener Catecholamine soll für die Wirkungen auf Herz, Kreislauf und Gesamtstoffwechsel von Bedeutung sein. Anfang der 80-er Jahre wurden auch Experimente bekannt, die die anregende Wirkung des Coffeins seiner strukturellen Ähnlichkeit mit dem endogenen Glykosid Adenosin (das sie zellulären Reaktionen auf Hormone und Neurotransmitter beeinflusst) zuschreiben (Abb. 1). Demnach ist Coffein ein Adenosinantagonist und wirkt, nachdem es von den beiden bekannten Adenosinrezeptoren gebunden wurde, als Nervenstimulanz. Ebenfalls zu dieser Zeit veröffentlichten australische Forscher das Auffinden einer möglicherweise psychoaktiven Substanz in Kaffee (nicht aber in Tee

oder Kakao), die sich mit den Opiatrezeptoren der Hirnrinde verbinden kann. Sie wirkt als Morphin- (und Endorphin-) Antagonist. Die Substanz ist mit Ether extrahierbar, thermisch stabil, wird durch peptidabbauende Enzyme nicht zerstört und besitzt ein Molekulargewicht von 1000 und 3500. In reiner Form wurde sie noch nicht erhalten. Inwiefern sie die Kaffeewirkung beeinflusst oder bestimmt ist allerdings unklar. Die Hauptwirkung kommt sicher dem Coffein zu.

Immer wieder tauchen Vermutungen und tierexperimentelle Daten über vermeintliche oder tatsächliche chronische und Spätschadwirkungen auf, wobei natürlich nicht nur das Coffein eine Rolle spielt.

Im Jahre 1938 durchgeführte Untersuchungen über ein erhöhtes Krebsrisiko durch im Röstkaffee vorhandenes Benz[a]pyren konnten dies verneinen. Im Gegenteil wurden Anteile an polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen gefunden, die niedriger als in vielen anderen Lebensmitteln lagen. Auch der Gehalt an toxischem Schwermetall ist äußerst gering. Nitrosamine wurden überhaupt nicht gefunden. Anfang der 80-er Jahre tauchten in der Fachliteratur von britischen Forschern ausgelöste Diskussionen auf, die einen Zusammenhang zwischen Kaffeegenuß und Krebserkrankungen der Bauchspeicheldrüse herstellten. Amerikanische Wissenschaftler konnten dies nicht bestätigen. Auch der Einfluß des bis zu 1% in die Muttermilch übergetretenen Coffeins wurde untersucht. 1982 wurde in Großbritannien ein Zusammenhang von Kaffeegenuß und fetalen Mißbildungen ausgeschlossen, während amerikanische Wissenschaftler durch einmalige hohe Coffeindosen (entsprechend 12 - 24 Tassen Kaffee) an Rattenembryonen Mißbildungen induzierten. An keimenden Pflanzensamen und Zwiebeln wurde eine zellschädigende und chromosomenverändernde Wirkung des Coffeins beobachtet. Bei Meerschweinchen und Albinoratten wurden durch 2mg/kg Coffein Chromosomenabberationen erzeugt; in den Eizellen chinesischer Hamster verursachte Coffein DNA-Brüche. Es liegen auch Angaben vor, nach denen Methylglyoxal für ca. 1/5 der mutagenen Aktivität von Kaffee verantwortlich sei, während Coffein nur - über die Hemmung des Repairmechanismus - den DNA-zerstörenden Effekt anderer Verbindungen steigere. Andererseits gibt es aber auch Hinweise, daß Coffein ebenso wie Theophyllin (im schwarzen Tee) eine tumorhemmende Wirkung entfalten kann. Zu erwähnen ist noch, daß

einige Autoren dem Coffein die Eigenschaft zuschreiben, durch Anregung der Magensaftsekretion die Entstehung von Magengeschwüren zu begünstigen. Ein kausaler Zusammenhang besteht aber nicht. Die Ergebnisse des Zusammenhanges von Kaffeeverbrauch und Gesamtcholesterol sprechen bislang nur gegen einen übermäßigen Konsum. Norwegische Untersuchungen erbrachten, daß 2 1/2 Tassen den Cholesterolspiegel deutlich erhöhen, eigenartigerweise wurde das nur für den (in Norwegen beliebten) gekochten Kaffee gefunden, nicht aber für Filterkaffee. Nach 5 wöchigem Absetzen des Kaffees bei den Testpersonen fiel der Cholesterolspiegel signifikant und stieg mit Aufnahme des gekochten Kaffees wieder an. Untersuchungen an der Stanford University ergaben, daß Kaffee die Bindung von Cholesterol an die beiden Bluteiweiße Apolipoprotein B und Lipoprotein LDL fördert.

Eine nunmehr vorliegende Langzeitstudie der John Hopkins Medical School (sie begann in den vierziger Jahren) resümiert: Wer mehr als 5 Tassen pro Tag trinkt, hat mit dem dreifachen Risiko herzkrank zu werden zu rechnen als Nichtkaffeetrinker. Die Verfasser, Th. Pearson und A. La Croix empfehlen:

"Hört auf zu rauchen, laßt euer Blutcholesterol messen und, falls ihr an einem vernünftigen Lebensstil interessiert seid, trinkt nicht mehr als 2 Tassen Kaffee am Tag. Ich selbst und Miss La Croix machen es auch so."

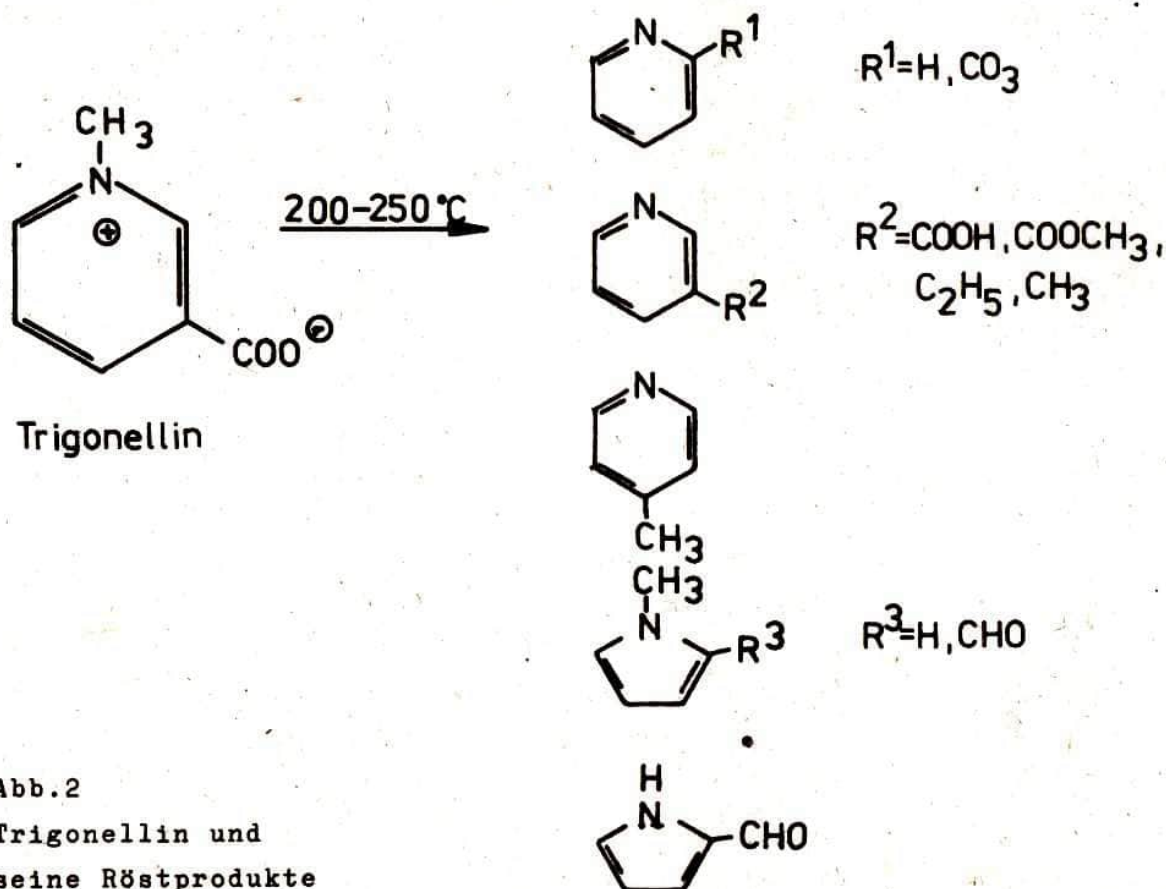
Andere umfangreiche epidemiologische Untersuchungen haben jedoch keinerlei kausalen Zusammenhang zwischen Kaffeegenuß und Krebs, Herzinfarkt, Diabetes, Gicht, Bluthochdruck u.a. ergeben.

Zur Chemie des Kaffees

Bereits 1820 isolierte der bekannte Chemiker F.F. Runge auf Anregung Goethes eine kristalline Kaffeebase. Zwei Jahre später beschrieben die Pariser Pharmazieprofessoren Pelletier, Caventou und Robiquet den Hauptwirkstoff, das Coffein (1,3,7-Trimethylxanthin), welches in den Samen der bekannten Kaffeearten zu 1,5 - 2 % enthalten ist. Jobst und Mulder wiesen im Jahre 1838 die Identität von Coffein und Thein (aus schwarzem Tee) nach. Aufgrund seiner antimycotischen Wirkung hemmt Coffein die Bildung von Schimmelpilzen und Mycotoxinen, so daß verschimmelter Kaffee kaum zu finden ist.

Beim Röstvorgang sublimiert ein geringer Teil ab; durch die übrigen Röstverluste kommt es jedoch insgesamt zu einer Anreicherung.

Coffein ist jedoch nicht der einzige Inhaltsstoff. Mit 65 - 80 g/kg enthält Kaffee von allen Lebensmitteln die höchsten Anteile an Chlorogensäuren (Ester aus Kaffeesäure und Chinasäure). Die wichtigste Verbindung, die 3-Caffeoyl-chinasäure (n-Chlorogensäure) wurde bereits 1846 aus Kaffee isoliert. Beim Rösten werden diese Verbindungen weitgehend zerstört, wobei der Cinasäureanteil des Moleküls stabiler ist und sich zu einem Teil im Röstkaffee findet, während aus dem Kaffeesäureanteil verschiedenste Aromastoffe entstehen.



In einem Kilogramm Rohkaffee sind desweiteren 6-12 g Trigonellin enthalten, das beim Rösten zu rund drei Viertel zerstört wird (Abb.2). Wichtigste Röstprodukte sind dabei das geruchsintensive Pyridin (bei stark geröstetem Kaffee **wahrnehmbar**) und das Vitamin Nicotinsäure (Niacin), von dem der Röstkaffee die zwanzigfache Menge des Rohkaffees enthält.

Die bisher genannten Röstprodukte machen nur einen Bruchteil der bislang im Kaffeearoma identifizierten 700 Verbindungen aus, die größtenteils durch die sogenannte Maillard-Reaktion (sehr komplexe Reaktionen von Diketonen mit Aminosäuren, die zu zahlreichen Produkten führen) der im Rohkaffee zahlreich vorhandenen Aminosäuren und Proteine mit freien Zuckern, Oligo- und Polysacchariden entstehen. Zu den Produkten gehören Acylthiazole, Furane, γ -Pyrone, Oxazole, Pyrazine, Aldehyde, Alkylthiazole, alicyclische Ketone, Cyclopentapyrazine, Pyrrole und Thiophene. Durch die Maillard-Reaktion entstehen sehr wahrscheinlich auch die meisten bitter schmeckenden, aber weitgehend noch unbekannten Substanzen, denn das Coffein soll nur zu etwa einem Drittel für die Bitterkeit verantwortlich sein.

Auch die typischen braunen Kaffeefarbstoffe (Melanoidine) entstehen hauptsächlich durch Maillard-Reaktion. Ihre chemische Struktur ist noch weitgehend unbekannt.

Im Röstprozeß entstehen ferner durch Karamelisierung der Kohlenhydratanteile Farb- und Aromastoffe; aus Lipiden Kohlenwasserstoffe; aus Terpenen Terpenoide; aus schwefelhaltigen Aminosäuren Sulfide bzw. Disulfide und Thiole; aus den Diterpenoiden (Cafestol und Kahweol, vgl. Abb.3) Furanderivate; aus Serin und Threonin vermutlich Pyrazine.

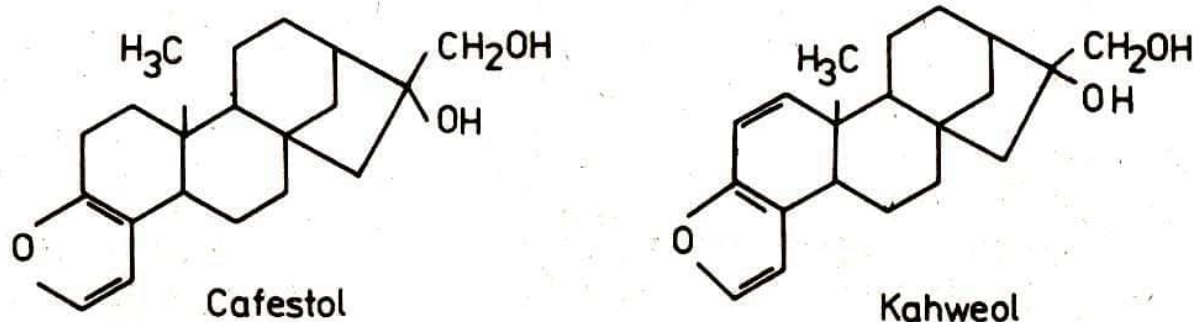


Abb.3 Diterpenoide in Kaffeeöl

Als für den Kaffeeegeruch wesentlich sieht man heute Pyrazine (nußartig-röstig), Pyrrole (brenzlich), cyclische Carbonylverbindungen (karamelartig), Kawaeofuran (rauchig-röstig) und trans-2-Nonenal (holzartig) sowie vor allem verschiedene Schwefelverbindungen, z.B. das kaffeeähnlich riechende 2-Mercaptomethylfuran, an.

Besonders der sogenannte Hochlandkaffee ist auch durch einen

bestimmten geringen Säuregehalt charakterisiert, der vorwiegend auf Essig- und Citronensäure, teilweise auch auf Apfelsäure- und Phosphorsäureanteilen beruht.

Entcoffeinierter Kaffee

Um coffeinempfindlichen Kaffeefreunden ihren Genuß nicht zu nehmen, wurde bereits Anfang unseres Jahrhunderts coffeinfreier oder besser entcoffeinierter Kaffee angeboten. Großtechnisch wird der Rohkaffee zu diesem Zweck zunächst mit überhitztem Wasserdampf gequollen und anschließend mit einem organischen Lösungsmittel (Dichlormethan) extrahiert. Die Reste des Lösungsmittels werden ausgedämpft und nur Mikrogramm-Mengen bleiben pro Kilogramm zurück. Vor dem Rösten wird der extrahierte Kaffee getrocknet.

Moderne Methoden arbeiten nicht mehr auf diese Weise, da Chlorkohlenwasserstoffe im allgemeinen toxikologisch bedenklich sind, sondern mit überkritischem Kohlendioxid, welches keine Rückstände hinterläßt.

Schon um die Jahrhundertwende hatte der Franzose Gabriel Bertrand festgestellt, daß verschiedene auf Madagaskar und den Nachbarinseln gedeihende Kaffeearten coffeinfrei sind. Leider enthalten die Kaffeebohnen dafür ein bitteres Glycosid, das sie ungenießbar macht.

Auch entcoffeinierter Kaffee wirkt noch etwas anregend, sei es durch Chlorogensäuren oder die im vorigen Kapitel diskutierten Morphin- (und Endorphin-)Antagonisten. Bei einigen Kaffeesorten wird auch ein zweistündiges Dämpfen des Rohkaffees praktiziert. Sie werden als "mild" in den Handel gebracht. Möglicherweise liegt der Effekt darin, daß die in geringen Mengen enthaltenen, im Tierversuch brechreizerregenden Stoffe (Brenzcatarchin, Maltol, Furfurylalkohol) dadurch bis zu 40% vermindert werden.

BÜCHERMARKT

"Wissenschaft und Menschheit", Autorenkollektiv

Internationales Jahrbuch

Verlag Snanje Moskau und Urania-Verlag Leipzig Jena Berlin

1. Aufl. 1987, 400 S., zahlr., z.T. farbige Abb., Preis 18.00 M

Bestell-Nr. 6541588

Der vorliegende 22. Band der DDR-Ausgabe bzw. der 25. Band der sowjetischen Ausgabe des Jahrbuchs "Wissenschaft und Menschheit" setzt die langjährige Tradition dieser Reihe fort, Wissenschaftler aus aller Welt über die Ergebnisse ihrer Forschung im Dienste des Friedens und des Fortschritts berichten zu lassen. Die Beiträge sind nach den Sachgebieten "Der Mensch", "Die Erde", "Mikrowelt", "Weltall" und "Technik" geordnet und umfassen Themenstellungen aus den Bereichen Naturwissenschaften, Technik und Medizin sowie Geschichte. Weiterhin werden Probleme der gesellschaftlichen Entwicklung dargestellt. In diesem Band kommen Autoren aus 8 Ländern zu Wort.

Eines der Hauptanliegen dieses Buches ist die Förderung der internationalen Zusammenarbeit von Wissenschaftlern mit dem Ziele der Sicherung des Friedens, der Schaffung einer Vertrauensbasis als Grundlage für eine umfassende Zusammenarbeit und zur Förderung der Völkerverständigung. In dem Beitrag "Seismische Kontrolle und das Problem des Nukleartestverbots" berichten die Leiter des 1986 begonnenen Experiments zur Vor-Ort-Kontrolle der Nichtdurchführung von Nukleartests, die amerikanischen Wissenschaftler J. Berger und T. Cochran sowie ihre sowjetischen Kollegen M. B. Gochberg und I. L. Nersessow über die Ergebnisse ihrer gemeinsamen Arbeit. Neben einer kurzen Darstellung der physikalischen Grundlagen wird die Durchführung des Experiments beschrieben. Wichtigstes Ergebnis: Die Nichtdurchführung von Kernwaffentests ist real kontrollierbar.

Alle Artikel entsprechen dem Untertitel des Buches: faßlich und exakt über das wichtigste in der Weltwissenschaft; die Autoren sind bemüht, Anschaulichkeit und wissenschaftliche Strenge zu verbinden.

Den Schluß des Bandes bildet wie in den vorherigen Bänden die "Chronik der Wissenschaft". In kürzeren Artikeln werden wichtige Forschungsergebnisse unter anderem von den Disziplinen Mathematik, Physik über Geschichte und Archeologie bis hin zu Literatur und Sprachwissenschaft dargestellt.

Der graphisch gut gestaltete Band wird seinen breiten Leserkreis finden.

Wolfram Meinhardt

Die letzten einhundert Jahre der Entwicklung der Physik können mit einiger Berechtigung als "Ära der linearen Physik" bezeichnet werden. Die Physik war bis auf einige Ausnahmen durch lineare Gleichungen bestimmt (z.B. die Schrödingergleichung, vgl. dazu impuls 68 1/88 (22) 3 - 13; die Maxwellgleichungen der klassischen Elektrodynamik u.a.). Die mathematischen Grundlagen bildeten lineare Theorien und Methoden, so z.B. die Theorie der linearen Vektorräume. Nichtlineare Effekte wurden mit den Methoden der Störungstheorie behandelt. Dabei wird das betrachtete nichtlineare Problem zunächst linearisiert und das so gewonnene lineare Problem gelöst. Die Nichtlinearität wird dann durch das Hinzufügen von (kleinen) Korrekturtermen, welche über die sog. Störungsrechnung gewonnen werden, berücksichtigt. Die so erhaltenen Lösungen stellen Näherungen dar, welche man beliebig verbessern kann.

In letzter Zeit durchgeführte Experimente zeigten jedoch, daß es in der Natur nichtlineare Effekte gibt, welche man mit den Methoden der Störungstheorie nicht beschreiben kann. Dazu gehören unter anderem auch die Solitonen. Die Entdeckung der Solitonen und deren mathematische Untersuchung führte zur Herausbildung eines völlig neuen Gebietes der Physik. So konnte man in den letzten Jahren für einige spezielle nichtlineare partielle Differentialgleichungen eine Lösungstheorie ausarbeiten.

1834 wurde von J. Scott-Russell (1808 - 1882) erstmals ein Soliton in der Natur beobachtet. Scott-Russell studierte an allen drei schottischen Universitäten (St. Andrews, Edinburgh und Glasgow) gleichzeitig und wurde als sechzehnjähriger von der Universität Glasgow graduiert. Er arbeitete später im "Department of Natural Philosophie" Edinburgh und sollte dort die Nutzbarkeit des Union-Kanals, welcher Edinburgh mit dem Forth-Clyde-Kanal und

darüber mit den beiden Küsten Schottlands verbindet, auf Nutzbarkeit durch Dampfschiffe untersuchen. Dabei machte Scott-Russell vermutlich seine Entdeckung der "großen solitären Welle". Am Ende des Heftes ist ein Auszug aus der 1844 erfolgten Veröffentlichung Scott-Russells abgedruckt.

D. J. Korteweg und G. de Vries untersuchten 1895 Oberflächenwellen auf flachem Wasser. Sie stellten dabei eine nichtlineare partielle Differentialgleichung für diese Wellen auf. Diese Gleichung beschreibt solche Strukturen, wie sie von Scott-Russell beobachtet wurden, es gelang Korteweg und de Vries, sie analytisch zu behandeln.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{1}{2} v h^2 \left(\frac{\sigma^2}{\rho g h h} - \frac{1}{3} \right) \frac{\partial^3 u}{\partial x^3} - \frac{3}{2} \frac{v}{h} u \frac{\partial u}{\partial x} \quad (1)$$

Korteweg-de Vries-Gleichung für lange Oberflächenwellen auf Flüssigkeiten geringer Tiefe

v : Schallgeschwindigkeit im Wasser $v = gh$ (lineare Näherung)

h : Tiefe des ungestörten Wassers

σ : Oberflächenspannung des Wassers

ρ : Dichte des Wassers

g : Normalfallbeschleunigung

Eine permanente Ausbreitungsstruktur, wie sie von Scott-Russell beobachtet wurde, entspricht mathematisch einer Lösung der Korteweg-de Vries-Gleichung.

Information 1 Partielle Ableitung

Für eine Funktion $z = F(x, y)$ der beiden unabhängigen Variablen x und y definiert man die partielle Ableitung nach der Koordinate x durch den Grenzwert:

$$\left. \frac{\partial f(x, y')}{\partial x} \right|_{x=x_0} = \lim_{x \rightarrow x_0} \frac{f(x, y') - f(x_0, y')}{x - x_0}$$

d.h. man hält die unabhängige Variable y an einer beliebigen Stelle $y = y'$ fest und differenziert dann in üblicher Weise nach

x. Alle Rechenregeln für die Differentiation (Produktregel u.a.) bleiben erhalten. Zur Unterscheidung von der gewöhnlichen Ableitung schreibt man statt

$$\frac{d}{dt} \text{ symbolisch } \frac{\partial}{\partial x} \text{ bzw. } \frac{\partial u}{\partial x} = u_x.$$

Diese Bezeichnung der partiellen Ableitung durch tiefgestellte Indizes soll hier im Folgenden verwendet werden.

Information 2

Partielle Differentialgleichung

Eine partielle Differentialgleichung für die Funktion $u(x,t)$ der beiden Variablen x und t ist eine Gleichung zwischen der gesuchten Funktion u , den unabhängigen Variablen x und t sowie den Ableitungen u_x , u_t , u_{xx} , u_{xt} , usw. der Funktion u .

Die höchste auftretende Ableitung legt die Ordnung der Differentialgleichung fest. (Tritt eine Ableitung N -ter Ordnung auf, so ist die Differentialgleichung N -ter Ordnung.)

Eine stetig differenzierbare Funktion $u(x,t)$ (damit ist gemeint, daß alle in der Differentialgleichung auftretenden Ableitungen existieren und stetig sind) ist Lösung der partiellen Differentialgleichung, wenn sie für alle Werte x und t des Definitionsbereichs der Differentialgleichung diese Gleichung erfüllt.

Für eine lineare Differentialgleichung (d.h. die Funktion u tritt nur linear auf, auch Terme der Form $u u_x$ sind nicht erlaubt) gilt für zwei Lösungen u_1 und u_2 , daß $u = a \cdot u_1 + b \cdot u_2$ (a, b reelle Zahlen) wieder Lösung der Differentialgleichung ist. Diese Aussage gilt nicht für nichtlineare Differentialgleichungen.

Beispiele:

$$u_{xx} - u_{tt} = 0 \quad \text{lineare partielle Differentialgleichung 2.Ordnung}$$

$$u_{xx} - u_{tt} = \sin(u) \quad \text{nichtlineare partielle Differentialgleichung 2.Ordnung}$$

Man betrachtete die solitären Lösungen nichtlinearer Differentialgleichungen lange Zeit als unwesentliche Kuriositäten, da man der Meinung war, daß solitäre Strukturen sich nur unter ganz bestimmten Bedingungen bilden können und daß sie zudem bei einer Wechselwirkung untereinander auf Grund ihrer nichtlinearen Bewe-

gungsgleichung sofort zerstört werden würden.

Erst numerische Untersuchungen von N. J. Zabusky und M. D. Kruskal bei Studien zum stoßfreien Plasma im Jahre 1965 zeigten, dass solitäre Wellen nach einer Kollision die gleichen Gestalten besitzen können, wie vor der Kollision. Zabusky und Kruskal prägten auch für die von ihnen bei der numerischen Untersuchung der Korteweg-de Vries-Gleichung gefundenen permanenten Strukturen den Begriff Soliton.

Die Korteweg-de Vries-Gleichung wurde zu einer Standardgleichung für die Untersuchung von Solitonen und deren Eigenschaften. Dabei ist es üblich, sie in skaliert Form zu betrachten. Durch eine geeignete Transformation der unabhängigen Variablen x und t und der abhängigen Variablen u kann Gleichung (1) in die skalierte Form (2) gebracht werden:

$$u_t = 6 u u_x - u_{xxx}. \quad (2)$$

Dabei sind in Gleichung (2) x , t und u dimensionslose Größen.

Information 3

Skalierte Gleichungen

Bei der Untersuchung gewisser Gleichungen ist es oft zweckmäßig, diese in eine skalierte Form zu bringen, d.h. durch geeignete Substitutionen der unabhängigen und der abhängigen Variablen in der Gleichung stehende konstante Zahlenfaktoren vollständig bzw. bis auf einen dimensionslosen Parameter "verschwinden zu lassen". Die in der Gleichung stehenden Größen sind dann i.allg. dimensionslos.

Beispiel:

Wir betrachten folgende Gleichung:

$$u_t(x,t) + c u_x(x,t) = 0$$

Mit der Substitution $y = x/c$ erhält man:

$$u(x,t) = u(cy,t) =: v(y,t)$$

$$u_x = \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial y} \frac{dy}{dx} = v_y \frac{1}{c}$$

Nennt man jetzt die neue Variable y wieder x und die Funktion v wieder u , so erhält obige Gleichung die (skalierte) Form:

$$u_t + u_x = 0$$

Information 4 Hyperbolische Funktionen

Die hyperbolischen Funktionen werden durch folgende Gleichungen definiert:

$$(1) \cosh x = \frac{1}{2} (e^x + e^{-x})$$

Cosinus hyperbolicus

$$(2) \sinh x = \frac{1}{2} (e^x - e^{-x})$$

Sinus hyperbolicus

Es gelten folgende Beziehungen:

$$(3) \cosh^2 x - \sinh^2 x = 1$$

$$(4) (\cosh x)' = \sinh x$$

Dabei bezeichnet ein Strich ' die erste Ableitung nach x .

$$(5) (\sinh x)' = \cosh x$$

Die Funktion $y = \operatorname{sech} x$ (Sekans hyperbolicus) ist durch

$$(6) \operatorname{sech} x = 2 / (e^x + e^{-x}) = 1 / \cosh x$$

definiert.

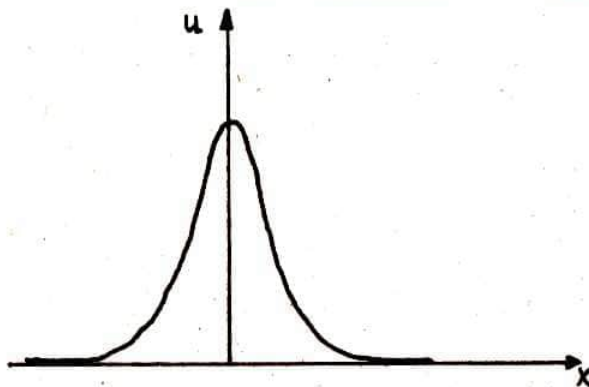


Abb. 1 Solitäre Welle

Gleichung (2) hat die Lösung (3). (vgl. Abb. 1)

$$u(x,t) = -2\eta^2 \operatorname{sech}^2 [\eta(x - 4\eta^2 t)] \quad (3)$$

Strukturen mit einer Form entsprechend Abbildung 1 sollen im

folgenden als solitäre Wellen bezeichnet werden. Diese Lösungen der Korteweg-de Vries-Gleichung besitzen einige bemerkenswerte Eigenschaften. Sie zeigen zum einen teilchenähnliches Verhalten (Abb. 2), zum anderen können zwei solitäre Wellen miteinander wechselwirken, ohne sich zu zerstören.

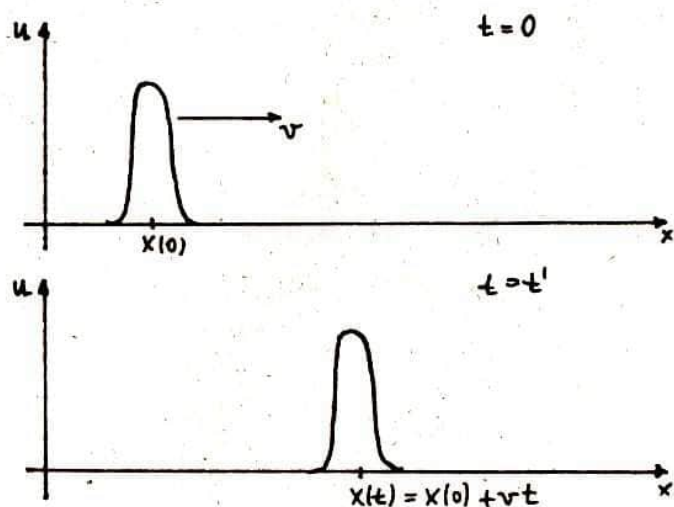


Abb. 2
Teilchenähnliches Verhalten der solitären Wellen

Diese Tatsache ist auf Grund der nichtlinearen Wechselwirkung zunächst nicht zu erwarten, sondern man sollte annehmen, daß die Wechselwirkung zweier solitärer Wellen zu ihrer Zerstörung führt. An Hand von Gleichung (3) erkennt man eine weitere wichtige Eigenschaft solitärer Wellen: ihre Geschwindigkeit ist amplitudenabhängig, ein typisch nichtlinearer Effekt. Große solitäre Wellen werden sich demnach schneller bewegen als kleine.

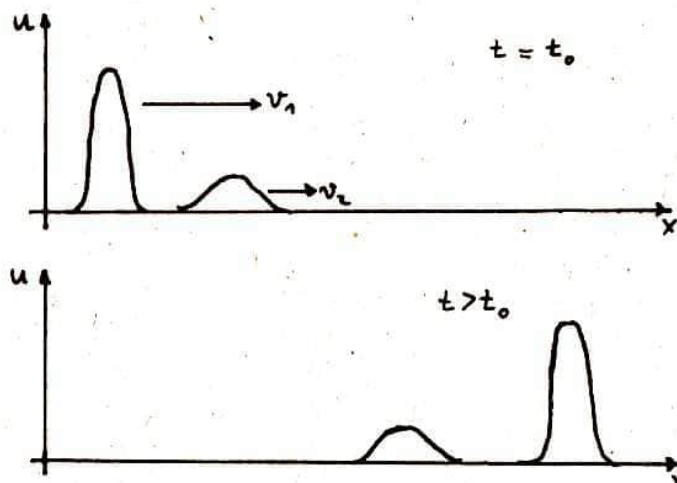


Abb. 3
Wechselwirkung zweier Solitonen

Für eine Lösung einer nichtlinearen partiellen Differentialgleichung in Form einer solitären Welle, die bei einer Wechselwirkung mit einer anderen solitären Welle ihre Form und Geschwindigkeit

beibehält, wollen wir hier den Begriff Soliton verwenden. Dieses spezielle Verhalten bei der Wechselwirkung ist für den Begriff Soliton wesentlich; es lassen sich nichtlineare Entwicklungsgleichungen angeben, für die die solitäre Welle nach Gleichung (3) zwar eine Lösung darstellt, welche aber bei einer Wechselwirkung zerstört wird oder wo zumindest zusätzliche Strukturen entstehen und damit diese Lösung kein Soliton beschreibt. Für die oben angegebene Korteweg-de Vries-Gleichung beschreibt Gleichung (3) ein Soliton.

Die Wechselwirkung zwischen Solitonen kann auf verschiedene Weise interpretiert werden. Zum einen kann man es so auffassen, daß die Solitonen sich durchdringen und damit im Unendlichen nach ihren Amplitudengrößen geordnet ankommen, zum anderen kann die Wechselwirkung zwischen Solitonen als Stoßprozeß aufgefaßt werden, d.h. die Solitonen behalten ihre Reihenfolge und übertragen im Stoßprozeß Energie und Impuls. Aus dieser möglichen Interpretation der Wechselwirkung ist der Begriff Soliton abgeleitet.

Unsere Abbildungen 4 und 5 sowie das Titelbild zeigen die Wechselwirkungen von Solitonenlösungen anderer nichtlinearer Entwicklungsgleichungen, welche hier nicht explizit angegeben werden sollen. Bei anderen Gleichungen mit Solitonenlösungen sind Solitonen und Antisolitonen als Lösungen möglich.

Die Antisolitonen besitzen die gleichen Eigenschaften wie die Solitonen und unterscheiden sich von ihnen oft nur durch ein Vorzeichen.

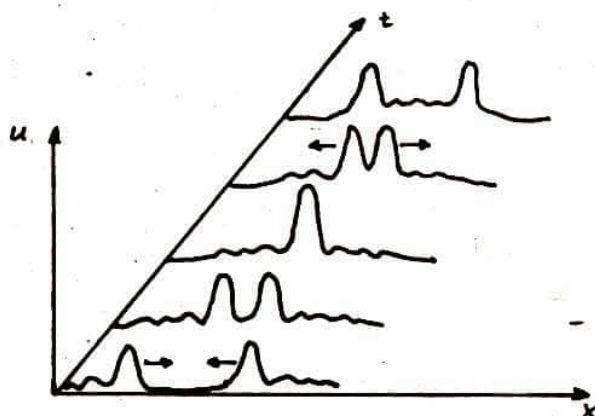


Abb. 4
Soliton - Soliton -
Wechselwirkung

Abbildung 4 zeigt die Durchdringung zweier Solitonen (oder die Soliton - Soliton - Streuung), Abbildung 5 zeigt die Wechselwirkung eines Solitons mit einem Antisoliton. Die Zeitachse zeigt

bei den drei Abbildungen in den Bildhintergrund, jede eingezeichnete Kurve $u(x)$ entspricht einem Zeitpunkt t .

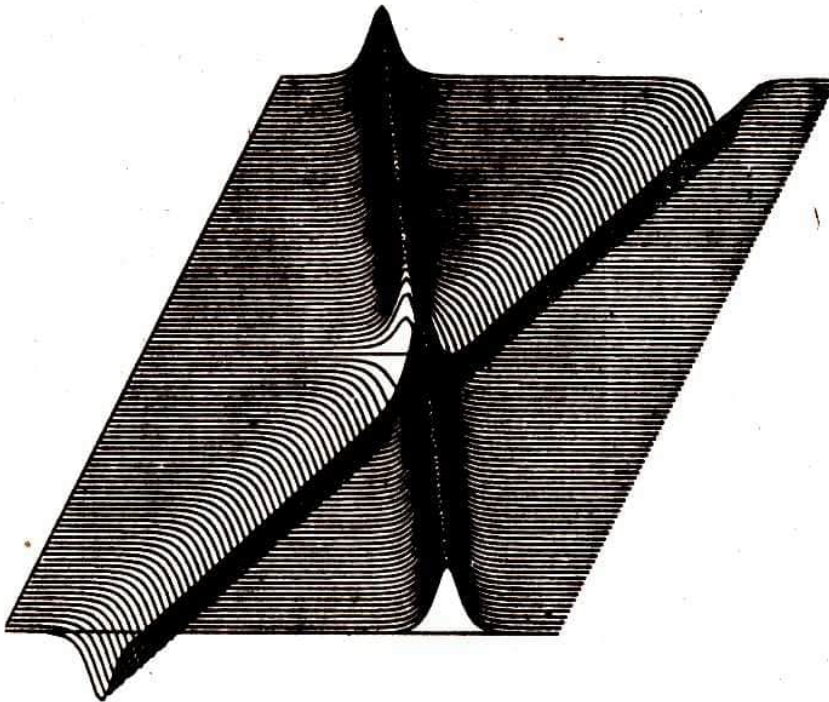


Abb. 5

Ein Soliton trifft auf ein Antisoliton

Im folgenden sollen einige Bemerkungen darüber gemacht werden, an welche Voraussetzungen die Entstehung von Solitonen gebunden ist und welcher Mechanismus der Entstehung von Solitonen zugrunde liegt.

Eine wesentliche Voraussetzung ist das Fehlen jeglicher Dissipation, wir gehen von dem Idealfall des verlustlosen Mediums aus.

Eine lineare Wellengleichung mit Dispersion kann keine Solitonenlösungen besitzen. Ein Wellenpaket endlicher Länge wird in einem linearen Medium mit Dispersion zerfließen.

Information 5

Dispersion

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit v einer sinusförmigen Welle heißt Phasengeschwindigkeit. Sie ist gleich der Geschwindigkeit, mit der sich Flächen konstanter Phase im Raum ausbreiten.

$$u = u_0 \sin (\omega t - kx + \varphi_0)$$

Aus der Bedingung $\omega t - kx + \varphi_0 = \text{const}$ folgt

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\omega}{k} =: v$$

ω : Kreisfrequenz

k : Wellenzahl

Zwischen der Frequenz f und der Kreisfrequenz ω bzw. der Wellenzahl k und der Wellenlänge λ bestehen folgende Beziehungen:

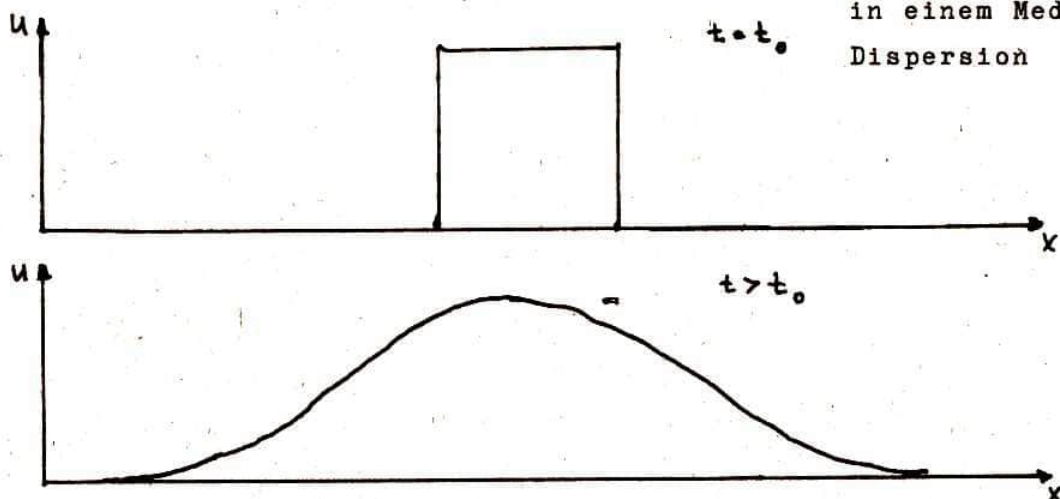
$$\omega = 2\pi f ; k = 2\pi/\lambda$$

In einem linearen Medium (in dem die Ausbreitung von Wellen durch eine lineare Gleichung beschrieben wird) gilt das Superpositionsprinzip für Wellen. Die resultierende Auslenkung in einem beliebigen Punkt des Mediums ergibt sich aus der Summe der Auslenkungen der sich unabhängig voneinander ausbreitenden Einzelwellen. (Vgl. Information 2: Eigenschaften von Lösungen linearer Differentialgleichungen) Man kann mathematisch zeigen, daß jeder nichtsinusförmigen Welle eine Überlagerung sinusförmiger Wellen unterschiedlicher Wellenlänge entspricht. Eine nichtsinusförmige Welle kann in Form einer Wellengruppe oder eines Wellenpaketes dargestellt werden. Die Gesamtheit der Frequenzen dieser sinusförmigen Wellen nennt man Spektrum oder Frequenzspektrum der nichtsinusförmigen Welle.

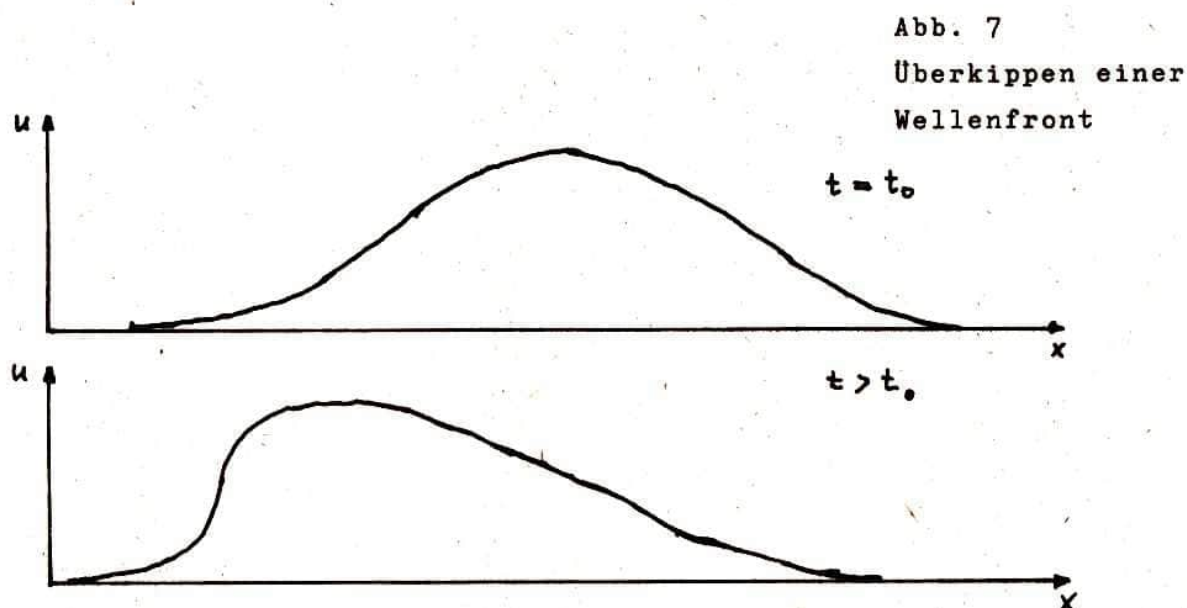
In einem Medium mit Dispersion (dispergere (lat.) =zerstreuen) hängt die Phasengeschwindigkeit einer Welle von der Wellenlänge ab. In einem derartigen Medium wird ein Wellenpaket in endlicher Zeit zerfließen. (Abb. 6)

Abb. 6

"Auseinanderlaufen"
eines Wellenpaketes
in einem Medium mit
Dispersion



Eine nichtlineare Wellengleichung ohne Dispersion führt ebenfalls nicht zu Solitonen. Deren Lösungen sind i. allg. instabil. Bei Schwerewellen auf Wasseroberflächen ist der wichtigste nichtlineare Effekt die Vergrößerung der Steilheit der Wellenfront, welches letztendlich zum Überkippen der Welle führt.



Erst durch die Kompensation von Nichtlinearität und Dispersion können sich stabile Strukturen herausbilden. Mathematisch eng damit verwandt sind die sog. dissipativen Strukturen, die aus dem Wechselspiel von Dissipation (d.h. Verlustprozessen) und Nichtlinearitäten entstehen. (Vgl. dazu unsere Artikelserie über Selbstorganisationsprozesse)

In unserem Beispiel der Schwerewellen auf Wasseroberflächen spielt die Wassertiefe eine wichtige Rolle. Mit zunehmender Wassertiefe tritt die Dispersion immer stärker in Erscheinung, deshalb gilt die Korteweg-de Vries-Gleichung nur für Flüssigkeiten geringer Tiefe. Bei ungünstiger Wahl der Wassertiefe überwiegt entweder die Nichtlinearität oder die Dispersion und damit können keine Solitonen der Form entsprechend Gleichung (3) entstehen.

Andreas Erdmann
Peter Kroll
FSU Jena
Sektion Physik

Eindrücke von der II. Internationalen Konferenz für Physikstudenten in Debrecen

In der Zeit vom 9.-13. September 1987 waren wir Teilnehmer der 2. Internationalen Konferenz für Physikstudenten. Im vorliegenden Beitrag sollen einige Eindrücke von diesem Ereignis wiedergegeben werden.

An der Konferenz, welche von Studenten der Budapester Lajos-Kossuth-Universität organisiert wurde, nahmen Physikstudenten aus 9 Ländern (BRD, CSSR, DDR, Frankreich, Italien, Niederlande, Polen, Schweden und Ungarn) teil. Offizielle Konferenzsprache war Englisch. Bei den täglichen Diskussionen mit den Teilnehmern aus anderen Ländern wurde deutlich, wie wichtig es auch für angehende Naturwissenschaftler ist, sich mit Fremdsprachen zu beschäftigen. Neben dem für einen Naturwissenschaftler unersetzlichen Studium der internationalen Fachliteratur muß er auch in der Lage sein, bei Diskussionen zu fachlichen und politischen Themen sowie zu Alltagsproblemen seinen Standpunkt zu vertreten. Wir hatten zwar kaum Schwierigkeiten beim Verstehen bzw. Formulieren bestimmter Aussagen, aber was Wendigkeit und Schlagfertigkeit betrifft, konnten wir uns ein Beispiel an den meisten Teilnehmern anderer Länder nehmen.

Wesentlichster Punkt des offiziellen Konferenzprogramms waren Vorträge von Studenten und eingeladenen Professoren zu Problemen aus allen Teilgebieten der Physik. Während die Professoren zu ausgewählten Problemen der modernen Physik wie Supraleitung, Biophysik und Kosmologie sprachen, behandelten die Vorträge der Studenten spezifischere Probleme. Als einige Beispiele seien hier genannt: Wärmeerzeugung durch Solarenergie, Optische Methoden der Bestimmung von Teilchengrößen, ein reaktionskinetisches Modell der Photosynthese, Festkörperphysik bei niederen Temperaturen .v.a.

Das Problem vieler studentischer Vorträge lag insbesondere darin,

daß die Ergebnisse der eigenen Arbeit zwar für Physiker, aber meist für Spezialisten auf ganz anderen Teilgebieten der Physik verdeutlicht werden mußten. Viele der Beiträge waren nur für einige wenige Spezialisten auf ähnlichem Gebiet verständlich. Oft wurde von den Studenten der Fehler gemacht, alles zu sagen was man weiß und sich nicht auf einige wesentliche Punkte zu konzentrieren. In den meisten Fällen wurde nach Beendigung einer Vortragssitzung sehr offen und ehrlich über die Wertung verschiedener Beiträge gesprochen. Damit konnten wir wertvolle Erfahrungen für die Gestaltung unserer zukünftigen Beiträge zu Konferenzen bzw. Schulungen sammeln.

Natürlich kam während der Tage in Debrecen auch die Kultur und Freizeit nicht zu kurz. So versuchten uns die Mitglieder einer Folkloretanzgruppe einige Grundschnitte der ungarischen Volkstänze beizubringen. In einem Dia-Vortrag wurden wir mit den Schönheiten und Besonderheiten Ungarns bekannt gemacht und natürlich durfte zum Abschluß der erlebnisreichen Tage auch eine zünftige Kesselgulaschparty nicht fehlen. Am Vormittag des Abreisetages besuchten die meisten Konferenzteilnehmer noch die Hortobagy, das kulturelle Zentrum der Pusta.

Die Gesprächsrunden an den Abenden waren nur selten vor 2 Uhr zu Ende. Daß dabei nicht nur fachliche Themen diskutiert wurden, ist selbstverständlich. Genauso tauschten wir uns über das Leben in den verschiedenen Ländern, über die spezifische Verantwortung des Physikers in der Gesellschaft und für die Erhaltung des Friedens auf der Welt sowie über Probleme der Studienorganisation aus. Wenn es auch zu verschiedenen Punkten gegensätzliche Meinungen gab, so wurde jedoch einhellig festgestellt, daß es ausserordentlich wichtig ist, über diese Probleme miteinander zu sprechen.

Einer der Höhepunkte der Konferenz war schließlich die Gründung einer internationalen Gesellschaft für Physikstudenten (IAPS - International Association of Physics Students). Entsprechend der Charta dieser Gesellschaft sollen während der jährlich stattfindenden Konferenzen folgende Zielstellungen angestrebt werden:

- Unterstützung der Studenten bei ihrer fachlichen Arbeit
- Förderung des Verständnisses und des Vertrauens zwischen den Physikstudenten verschiedener Länder
- Angebot von Möglichkeiten für Studenten, ihre wissenschaftliche Arbeit in entsprechenden Beiträgen vorzustellen

- Unterstützung des Austauschs von Physikstudenten verschiedener Länder.
- Austausch von Informationen zwischen Studenten bezüglich Sommer- und Winterschulen bzw. Workshops

Wir hoffen, daß diese Organisation und ihre Ideen in vielen Ländern eine breite Unterstützung finden wird.

BÜCHERMARKT

I.N. Bronstein, KA Semendjajew

Taschenbuch der Mathematik

Gemeinschaftsausgabe Verlag Nauka, Moskau und BSB B.G.Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig, 23. Auflage 1987

840 S., 390 Abb., Bestell-Nr. 665 911 8, Preis: 29,50 M

Der "Bronstein" ist inzwischen ein Standardwerk geworden. Es dürfte nur wenige Mathematik- und Physikstudenten geben, die nicht im Besitz dieses Buches sind. 1987 erschien nun die 29. deutschsprachige Auflage, neubearbeitet und durch verschiedene Teilgebiete, wie Numerik und Rechentechnik, Operationsforschung und Tensorrechnung wesentlich ergänzt.

840 Seiten zählt dieser "Klassiker", der sich in folgende Abschnitte untergliedert:

- Elementarmathematik (u.a. Algebra, einfache Funktionen)
- Analysis (u.a. Differential- und Integralrechnung, komplexe Zahlen)
- Spezielle Kapitel (u.a. Mengenlehre, Vektorrechnung, Fourierentwicklung)
- Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung
- Optimierung
- Numerik und Rechentechnik (u.a. numerische Verfahren, keine Programmiersprachen und keine Rechnerarten)

Zudem werden auf 70 Seiten Tabellen angegeben, so die spezieller Funktionen, Integrale und Reihensummen.

Für jeden naturwissenschaftlich Interessierten sollte die Arbeit mit dem "Taschenbuch der Mathematik" Freude und Notwendigkeit sein.

Karsten König

3. Die wissenschaftliche Erforschung des Mondes mit neuen Mitteln

3.1. Ein Widerspruch zwischen Beobachtung und Theorie

Mit dem allgemeinen Verfall des Kulturkreises der Antike lassen auch die astronomischen Forschungen nach Ptolemaeus an Qualität nach. Im 9. und 10. Jahrhundert verstärken zwar die Araber ihre astronomischen Beobachtungen, jedoch ohne einschneidenden Erkenntnisfortschritt. Dieser setzte erst im 14. Jahrhundert in den süd- und mitteleuropäischen Ländern wieder ein, als Tausende Griechen vor den osmanischen Eroberern in diese Länder flüchteten und das Wissen der alten Griechen aus der Antike (in erster Linie die Werke von Aristoteles und Ptolemaeus) weiter verbreiteten.

Aus dem 15. Jahrhundert sind dann solche Namen wie z.B. Nicolaus Cusanus (1401-1464), Johann Müller (1436-1506) und Leonardo da Vinci (1452-1519) zu nennen, die als Wegbereiter für die Herausbildung des heliozentrischen Weltbildes des Nikolaus Copernicus (1473-1543) betrachtet werden können. Bezüglich des Mondes ist bei da Vinci erwähnenswert, daß er indirekt den Gedanken der Bewohnbarkeit des Mondes aufgreift. So schreibt er: "Und wäre einer auf dem Monde, so würde ihm diese unsere Erde.....ebenso weit unter dem Mond erscheinen, wie dieser zusammen mit der Sonne über uns ist, und würde ebenso wirken, wie der Mond auf uns wirkt." Hierbei steht allerdings in erster Linie die Bedeutung des zu wählenden Bezugssystems für astronomische Schlußfolgerungen im Vordergrund. Man erkennt hier also bereits einen Gedanken-gang, der sich bei Copernicus mit der konsequenten Unterscheidung von wahrer und scheinbarer Bewegung fortsetzt.



Bild 4: Copernicus

Die das Denken revolutionierenden Auffassungen des copernicanischen Weltbildes sind unbestreitbar. Deren Bedeutung und Richtigkeit wurden anfangs nur von wenigen Gelehrten erkannt, da die praktischen Konsequenzen hinsichtlich der Genauigkeit der Darstellung der beobachteten Bewegung der Himmelskörper diejenigen, die auf der Grundlage des Weltbildes von Ptolemaeus erzielt wurden, nicht übertrafen.

Dieses trifft auch auf die Kenntnisse über den Mond zu. Da auch bei den Griechen in der Antike das Zentrum der Mondbewegung die Erde war, konnte die Mondtheorie durch Copernicus nicht entscheidend verbessert werden (siehe Ergänzung I).

Ein echter Fortschritt hinsichtlich der Beobachtungsergebnisse ist dagegen bei dem dänischen Astronom Tycho de Brahe (1547-1601) zu verzeichnen. Der als der hervorragendste beobachtende Astronom seiner Zeit geltende Brahe entdeckte 1590 zwei weitere Störungen der Mondbewegung, die als Variation und jährliche Gleichung bezeichnet werden (siehe Anmerk.). Die Maximalwerte dieser Störungen gab er mit $32'$ bzw. $10'$ an (wahre Werte sind: $39'30''$ für die Variation und $11'10''$ für die jährliche Gleichung).

Von nun an gab es wieder den fruchtbaren Widerspruch, daß die Mondtheorie die beobachteten Erscheinungen der Mondbewegung nicht vollständig erklären konnte. Die Ausarbeitung einer neuen Mondtheorie wurde notwendig. Grundpfeiler dieser Theorie wurden die 3 von Johannes Kepler (1571-1630) entdeckten Gesetze der Planetenbewegung und das Gravitationsgesetz, das Isaac Newton (1643-1727) entdeckte. Newton stellte alle bis dahin erkannten Störungen der Mondbewegung zusammen (Rückwärtsdrehung der Knotenlinie, Vor-

wärtsdrehung der Apsidenlinie, Mittelpunkts-
gleichung, Evektion, Variation, jährliche Gleichung) und unterzog sie einer umfassenden Ursachenanalyse. Im dritten Buch seines Hauptwerkes "Mathematische Prinzipien der Naturphilosophie", das 1687 erschien, stellte er u.a. seine Überlegungen diesbezüglich zum Mond dar. Dabei betrachtete er die gravitativen Wechselwirkungen zwischen Mond, Erde und Sonne als Dreikörperproblem. Neu ist bei Newton auch die Entfernungsangabe des Mondes von ca. 60 Erdradien. Durch die Erkenntnis und Anwendung des Gravitationsgesetzes auf die Bewegung des Mondes wurde die Mondtheorie durch Newton zu einem vorläufigen Abschluß geführt. Ende des 17. Jahrhunderts erreichte diese Theorie solch ein Niveau, daß sie der praktischen Beobachtung vorausgeeilt war. Es ist also ein umgekehrtes Verhältnis festzustellen als am Ende des 16. Jahrhunderts, als Brahe die Beobachtung auf ein sehr hohes Niveau gehoben hatte.

3.2. Erkenntnisse über die Mondbewegung im Dienste der Ökonomie

Einen gewichtigen Anstoß zur Erhöhung der Qualität der Beobachtung in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts kam aus dem Bereich der gesellschaftlichen Entwicklung. Diese führte in den ökonomisch stärksten Ländern Europas, besonders in England, zur Herausbildung kapitalistischer Produktionsverhältnisse. Die sich daraus ergebende Forderung nach neuen Rohstoffquellen und Absatzmärkten ließ in diesen Ländern die Hochseeschifffahrt aufblühen. Damit verbunden war die Notwendigkeit der genauen Kenntnis des gegenwärtigen Standortes auf der Erde.

Anfang des 18. Jahrhunderts erkannten nun die Astronomen, daß die Theorie hinreichend fortgeschritten ist, um aus der Bewegung des Mondes auf den jeweiligen Beobachtungsort schließen zu können (siehe Ergänzung II). Was benötigt wurde, waren allerdings sehr genaue Beobachtungen der Stern- und Mondpositionen, um die Mondtheorie erst einmal zu prüfen. Zu diesem Zweck wurde die 1676 gegründete Sternwarte in Greenwich um 1750 mit neuen Instrumenten ausgerüstet, die einen neuen Grad der Vollkommenheit besaßen. James Bradley (1692-1762) stellte in der Folgezeit sehr genaue Beobachtungen an. In Deutschland war es wiederum Tobias Mayer, der sich auch als praktischer Astronom betätigte und mit sehr

genauen Mondbeobachtungen aufwarten konnte.

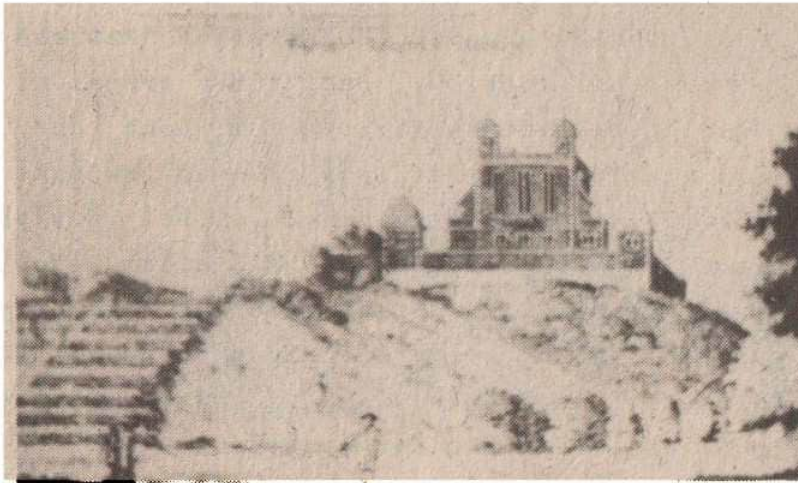


Bild 5: Sternwarte Greenwich

Dieser erneute Aufschwung der Beobachtungstätigkeit warf wieder neue Probleme auf, die von der Theorie erklärt werden mußten. Durch die Vervollkommnung der mathematischen Hilfsmittel gelang es den beiden Franzosen Joseph Louis Lagrange (1736-1813) und Pierre Simon Laplace (1743-1827) in den 80er Jahren des 18. Jahrhunderts, die Mondtheorie weiter zu vervollkommen. Grundlage dessen war wiederum die Annahme der Gültigkeit des Gravitationsgesetzes.

Um die Jahrhundertwende vom 18. zum 19. Jahrhundert erlangte die Mondtheorie nunmehr solch einen Grad an Vollkommenheit, der es erlaubte, die Bewegungen des Mondes einschließlich seiner zahlreichen Störungen für die praktischen Aufgaben mit hinreichender Genauigkeit zu berechnen. Hinsichtlich dieses Aspektes trat der Mond als Objekt wissenschaftlicher Forschungen in den Hintergrund.

3.3. Ein neues Kapitel in der Erforschung des Mondes

In dieser Zeit trat jedoch ein anderer Problemkreis bezüglich der Erforschung des Mondes immer mehr in das Betätigungsfeld der Astronomen – die Beschreibung und Erklärung der Oberfläche des Mondes. Schon die Gelehrten des Altertums stellten Überlegungen zu der Frage, was die hellen und dunklen Flecken auf dem Mond

seien, an. So glaubte Aristoteles in den Flecken des Mondes "Abspiegelungen der Länder und Meere unserer Erde zu erblicken".

im Mittelalter trifft man bereits häufig folgende Meinung über die Flecken des Mondes an : "Daß die Makulen oder Flecken und die helleren oder lichtereren Teile, die wir mit dem Gesicht in dem Mond observieren können, einen Unterschied zwischen dem Wasser und dem Lande in dieser anderen Welt andeuten. Daß die Makulen die Meere und die lichtereren Teile das Land präsentieren".

Die wissenschaftliche Erforschung des Mondes hinsichtlich seiner Oberflächenbeschaffenheit ist eng mit der Erfindung des Fernrohres verbunden, wodurch die Möglichkeit einer wesentlichen Verbesserung der Beobachtung des Mondes und seiner Oberfläche eröffnet wurde.

Indem Galileo Galilei (1564-1642) im Jahre 1609 als erster Mensch das Fernrohr auf Objekte des Himmels richtete, wird auch in der Erforschung des Mondes ein neues Kapitel aufgeschlagen. Drei Tatsachen sind in diesem Zusammenhang erwähnenswert. Zum einen konnte Galilei bei der Betrachtung des Mondes durch sein Fernrohr die Kugelgestalt dieses Himmelskörpers deutlich erkennen. Somit wurde dieser Beweis nun endgültig erbracht. Die zweite Tatsache hängt mit der Entdeckung der 4 großen Jupitermonde zusammen. Durch diese Entdeckung von Satelliten, die einen anderen Planeten umkreisen, wurde die Einmaligkeit des Erdbegleiters als Körper, der einen Planeten umläuft, aufgehoben. Damit wird auch die weltanschauliche Bedeutung dieser Entdeckung für die Durchsetzung des copernicanischen Weltbildes deutlich. Zur dritten Tatsache ist zu rechnen, daß Galilei die Oberfläche des Mondes als aus Bergen und Tälern bestehend erkannte. Die Höhe der Mondgebirge schätzte Galilei auf Grund der Schattenlänge, die das einfallende Sonnenlicht verursachte, auf rund 7 Kilometer.

Von diesem Zeitpunkt an gab es immer wieder verstärkte Bestrebungen, die Erscheinungen der Oberfläche des Mondes graphisch darzustellen. Die einzige heute bekannte Zeichnung des Mondes vor der Erfindung des Fernrohres stammt von dem Engländer William Gilbert (1540-1603).

Desweiteren tauchte nun auch die Frage nach den physikalischen Verhältnissen auf dem Mond auf, die solch eine Oberflächenstruktur entstehen ließen.

3.4. Die Begründung der Selenographie

Das tiefere Eindringen in die neuen Problemstellungen ist eng mit der Verbesserung der Beobachtungstechnik, der Fernrohre, verbunden. Galilei standen dabei Fernrohre mit bis zu 30-facher Vergrößerung zur Verfügung.

In der Folgezeit strebten viele Gelehrte eine Verbesserung der Fernrohre an, um in erster Linie die Vergrößerung zu steigern. Aus technischen Gründen blieb für diesen Zweck in der damaligen Zeit nur eine Vergrößerung der Brennweite übrig, was zur Konstruktion sehr langer Fernrohre führte (bis rund 50 Meter Länge). Der polnische Astronom Johannes Hevel (1611-1687) betrachtete mit solch einem Riesenfernrohr auch den Mond.

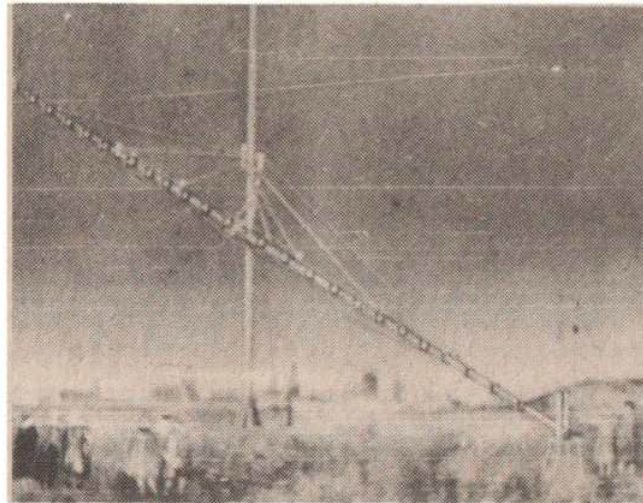


Bild 6
Riesenfernrohr
von Hevel

Auf der Basis seiner 6-jährigen Beobachtungen gelang es ihm, 1647 das Werk "Selenographia seu Lunae descriptio" herauszugeben. Dieses Werk enthält die erste detailreiche Mondkarte und stellt somit den Beginn der eigentlichen Erforschung der physikalischen Natur des Mondes dar. Hevel gilt daher auch als Begründer der Selenographie. Aus der Zeit von Hevel sind weiterhin 8 veröffentlichte Mondkarten anderer Forscher bekannt.

Ein zweiter Astronom, der rund 100 Jahre später lebte und die Selenographie bedeutend voranbrachte, war der bereits erwähnte Tobias Mayer. Um die Mitte des 18. Jahrhunderts stellte er vielfältige Messungen auf der Mondoberfläche an und zeichnete nach diesen Messungen eine Generalkarte des Mondes mit erstmals eingezeichnetem Koordinatennetz, die "das Beste, was bis dahin in

der Selenographie geleistet worden" ist, war.

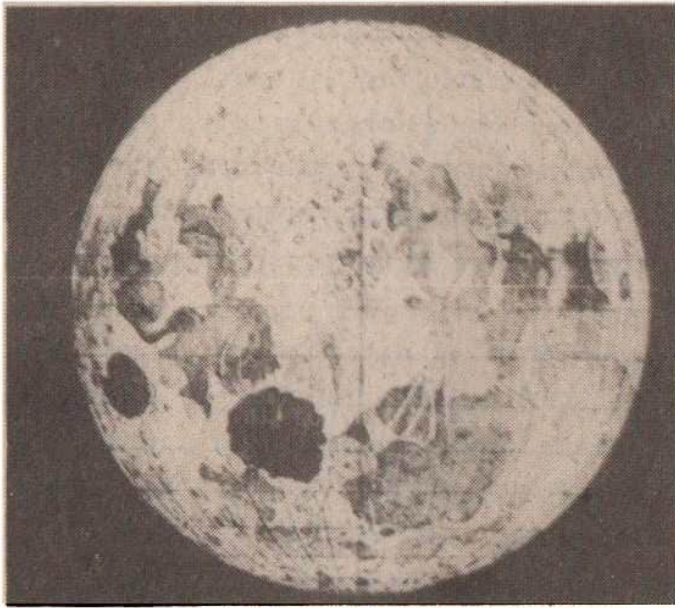


Bild 7: Mondkarte T. Mayer

T. Mayer bewies auch, daß der Mond keine Atmosphäre haben kann. Nach der Entdeckung der erdähnlichen Struktur der Mondoberfläche mit Bergen und Tälern trat nämlich immer häufiger die Meinung auf, daß der Mond auch eine erdähnliche Luft, also eine Atmosphäre besitzen müsse. Dieser Aspekt der Existenz bzw. Nichtexistenz einer Mondatmosphäre sollte noch einige Jahrzehnte nach Mayer Ursache eines wissenschaftlichen Meinungsstreites sein, den erst Bessel (1784-1846) in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts zu Gunsten der Nichtexistenz entschieden hat.

3.5. Der Mond als Ort von Lebewesen

Im ausgehenden 18. Jahrhundert rückt ein weiterer Problemkreis in den Brennpunkt der Diskussionen der Astronomen. Das Problem bestand darin, ob der Mond bewohnt sei oder nicht. Obwohl der Gedanke von der Bewohnbarkeit des Mondes schon in der Antike bei Philolaos und Aristoteles und später auch bei Giordano Bruno (1548-1600) auftauchte, so war er doch prinzipiell gänzlich ungewohnt für Menschen des Mittelalters bis hin zum 18. Jahrhundert. Die Ursache hierfür ist in der jahrhundertelangen religiösen Vorstellung von dem Menschen, ihn als die Krone der Schöpfung Gottes zu sehen, denn diese Krone kann sich eben nur auf der Erde befin-

den.

Was führte also im ausgehenden Mittelalter trotzdem zu dem Aufkommen der Meinung von der Bewohnbarkeit des Mondes?

Die Antwort auf diese Frage ist wiederum eng mit der Entwicklung der Selenographie verbunden. Weiter oben wurde bereits erwähnt, daß mit der Erkenntnis der erdähnlichen Struktur der Mondoberfläche auch die Frage nach einer Mondatmosphäre auftauchte. Diese wiederum war als Grundlage der Lebensfähigkeit der Mondbewohner notwendig.

Mit der Verbesserung der Beobachtungstechnik wurden desweiteren auch immer mehr Einzelheiten auf der Mondoberfläche sichtbar, die man sich nicht auf natürliche Weise entstanden denken konnte. So entdeckte Johannes Hieronymus (1745-1816) Rillen auf der Mondoberfläche. Könnten diese schmalen und tiefen Furchen nicht künstlich angelegte Kanäle der Mondbewohner sein?

Die Möglichkeit und der Wunsch nach solchen Entdeckungen wurde vor allem nach der Wiedererfindung des Achromates durch John Dollond (1706-1761) im Jahre 1757 geäußert. Die in der Folgezeit gebauten achromatischen Fernrohre ließen eine Erhöhung der Vergrößerung eines Fernrohres bei relativ geringen Brennweiten durch die Steigerung des Objektivdurchmessers zu. Im folgenden Zitat aus dieser Zeit wird der genannte Zusammenhang deutlich: "Nach einer von der großen Masse fast allgemein geteilten Meinung, hängt aller Fortschritt und alles Heil für die Himmelskunde nur ab von einer immer weiter getriebenen Vergrößerung der Fernrohre, und man hofft allen Ernstes, die Mondbewohner zu sehen, sobald nur eine 20000- bis 30000malige Vergrößerung der Objektive zu Stande gebracht ist."

Diese Diskussion um die Mondbewohner hielt noch einige Jahrzehnte bis ins 19. Jahrhundert an, und bei dem Berliner Astronomen Johann Elert Bode (1747-1826) findet man noch 1818 einen Hinweis auf "kultivierte Länder" auf dem Mond. In dieser Zeit wird der Wandel im Denken gegenüber den Menschen der früheren Jahrhunderte hinsichtlich der Möglichkeit von Lebewesen auf anderen Himmelskörpern ganz besonders deutlich. Die Argumente für die Existenz außerirdischen Lebens gründen sich allerdings nicht nur auf wissenschaftlicher Basis, sondern auch auf religiösen Anschauungen. So fragt Bode, was wohl der Endzweck der Schaffung der Himmelskörper durch Gott sei, wenn nicht der, daß auf ihnen Leben bzw.

Lebewesen existieren sollen. Interessant ist, daß Bode sich dabei nicht nur auf die Erde und den Mond beschränkt, sondern auch auf allen Planeten und sogar auf der Sonne die Außerirdischen vermutet.

Eine der wissenschaftlichen Grundlagen der Idee von den Mondbewohnern liegt darin, daß ein großer Teil der Astronomen auf Grund von bestimmten Beobachtungsergebnissen die Existenz der Atmosphäre auf dem Mond annahm. Ursache dafür ist eine Nichtübereinstimmung der Theorie mit der Beobachtung bei Mondfinsternissen. Joseph Johann Edler von Littrow (1781-1840) schreibt in seinem 1821 erschienenen astronomischen Lehrbuch dazu, daß die Theorie für den Radius des Kreises des vollen Schattens einen größeren Wert liefert als tatsächlich beobachtet wird. Als Ursache dafür nahm er die Existenz der Atmosphäre auf dem Mond an, verweist aber gleichzeitig auf die Schwierigkeit bei der Messung, daß man Halb- und Vollschaten nicht genau trennen kann.



Bild 8: Bessel

Einer der bedeutendsten Astronomen des 19. Jahrhunderts, F. W. Bessel, hielt 1834 eine Vorlesung vor der Königsberger "Physikalisch-ökonomischen Gesellschaft", in der er u. a. die Existenz einer Mondatmosphäre aus wissenschaftlichen Gründen ablehnte. Dabei unterzog er die Argumente, die für eine Mondatmosphäre sprachen, einer umfassenden Kritik. Mit den folgenden Worten entschied er somit auch die Frage nach den angeblichen Mondbewohnern:

"Warum aber hat man, allen vernünftigen Gründen zum Trotze, das Dasein einer Monds-atmosphäre behaupten wollen? -- Sie ist wirklich so gleichgültig nicht, denn mit ihr zugleich fallen viele

schöne Träume von der Bewohnbarkeit des Mondes und den Verhältnissen der dortigen Menschen; ich sage Menschen, denn ungeachtet aller Protestationen der fühlenden Herzen, die auch im Monde Mitgefühl haben wollen, dachten sie sich doch ihre Mondbewohner den Erdbewohnern im Wesentlichen so ähnlich wie ein Ei dem anderen. Der Mond hat keine Luft; also auch kein Wasser, weil es, wenigstens im flüssigen Zustande ohne den Druck der Luft verdunsten würde; also auch kein Feuer, weil es ohne Luft nicht brennen kann. Ich überlasse Jedem, sich die Verhältnisse auf dem Monde ohne Luft, auf dem starren Monde, auf dem Monde ohne Feuer, der aber 14 Tage lange Nächte hat, auszumalen. Nicht unser unsichtbarstes Infusionstierchen kann dort leben. Welchen Begriff von einem Leben, welches kein irdisches Leben ist, haben wir? -- Geister brauchen weder den Mond noch die Erde; Körper, die auf dem Monde leben können, mag ein Anderer näher erklären. Wer dennoch weiter phantasieren will, muß auf die Unterstützung der Astronomen Verzicht leisten. Ärgerlich aber ist es für diese, wenn sie solche Phantasien, und zwar von Halbbrüdern, die selbst durch ein Fernrohr gesehen haben, sogar bis zu ihnen sichtbar gewordenen Spuren von Industrie der Mondbewohner getrieben finden."

Ergänzung I:

Auch ist bei dieser Problematik die Rolle der Kirche in der damaligen Zeit zu betrachten. Das Anerkennen der Tatsache, daß sich die Erde um die Sonne bewegt und damit nicht das Zentrum der Welt sein kann, wäre gleichbedeutend gewesen mit dem Eingeständnis, daß der Papst als oberster Vertreter der Kirche jahrhundertlang das Gebot Gottes, daß man nicht lügen solle, mißachtet hat. Die politischen und religiösen Konsequenzen wären dann für die dogmatische kirchliche Lehre und ihre Vertreter erschütternd gewesen. Aus diesem Grunde wurde das Buch des Copernicus "De revolutionibus", das im letzten Lebensjahr dieses großen Astronomen erschienen ist, wenige Jahre später von der Inquisition auf die Liste der verbotenen Bücher gesetzt.

Ergänzung II:

Besondere Leistungen erbrachten in diesem Zusammenhang auch die französischen Mathematiker Leonhard Euler (1707-1783) und Alexis-Claude Clairaut (1713-1765) sowie der deutsche Astronom Tobias Mayer (1723-1762). Letzterem gelang es bis zum Jahre 1753 eine Mondtheorie aufzustellen, wonach man die Mondörter bis auf eine Bogenminute genau vorausberechnen und in Tabellen zusammenstellen konnte.

Anmerkung:

Variation:

Störung der Mondbewegung durch die Sonne, wobei die unterschiedliche Beschleunigung des Mondes durch die periodisch wechselnde Größe derjenigen Kraft, die senkrecht zur Richtung Erde-Mond in der Mondebene wirkt, betrachtet wird.

Jährliche Ungleichung:

Störung der Mondbewegung durch die Sonne, wobei die Kraft in Richtung Erde-Mond im Laufe eines Jahres mit unterschiedlicher Größe wirkt, da die Entfernung Erde-Sonne auf Grund der elliptischen Form der Erdbahn um die Sonne jährlichen Schwankungen unterworfen ist.

4. Der Stand der Mondforschung Mitte des 19. Jahrhunderts

Ende der 1. Hälfte des 19. Jahrhunderts erreichte die Erforschung des Mondes, seiner Bewegung und Oberfläche, einen erneuten vorläufigen Abschluß. Die Mondtheorie war zwar nicht vollkommen, lieferte aber bereits sehr genaue Resultate:

- mittlere Entfernung 51829 Meilen = 60.30 Erdradien (wahrer Wert 60.27 Erdradien)
- Radius 234.25 Meilen = 0.27 Erdradien (wahrer Wert 0.27 Erdradien)
- Masse $1/88$ der Erdmasse (wahrer Wert $1/81$ Erdmasse)

(wichtig für einen Vergleich der Werte ist die Tatsache, daß der Erdumfang mit 5400 Meilen und demzufolge der Erdradius mit 859.4 Meilen angegeben wurde; (1 Meile entspricht dem 15. Teil des Äquatorgrades))

Die Mondkartographie erlebte 1837 mit der Herausgabe der "Mappa Selenographica" von Wilhelm Beer (1797-1850) und Johann Heinrich Mädler (1794-1874) ebenfalls einen Höhepunkt. Nach Bessels Meinung erreichte diese Mondkarte die Grenze der damaligen Möglichkeiten, dem aus heutiger Sicht nur zuzustimmen ist.

Trotz der Erfolge blieben aber noch Probleme ungelöst. So war man sich über die Ursache der gebundenen Rotation des Mondes noch nicht im klaren. Bessel vermutete 1834 noch, daß diese Eigenschaft ein Wesensmerkmal aller Satelliten darstellt, da auch beim damals äußersten Saturn-Satelliten (Japetus) eine gebundene Rotation festgestellt wurde.

Ein anderes Problem betrifft z.B. die Entstehung der Ringgebirge. Heute ist bekannt, daß es sich um Krater handelt, die durch den Aufprall eines Himmelskörpers entstanden sind. Doch Bessel äußerte 1838 eine Hypothese, nach der diese Ringgebirge als erstarrte Reste einer aufgeplatzten Blase des einstmals heißen und flüssigen Mondgesteins zu betrachten sind. In diesem Zusammenhang spricht er davon, daß der Mond in früheren Zeiten flüssig war und sich dann allmählich abgekühlt hat.

Grundlegend neue Erkenntnisse über den Mond sind mit dem Einsatz neuer Forschungsmethoden verbunden. In erster Linie sind dabei an die Ergebnisse, die die Astrophysik ab der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts lieferte und an die Resultate, die mit Raumsonden und bemannten Flügen zum Mond in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts erzielt wurden, zu denken.

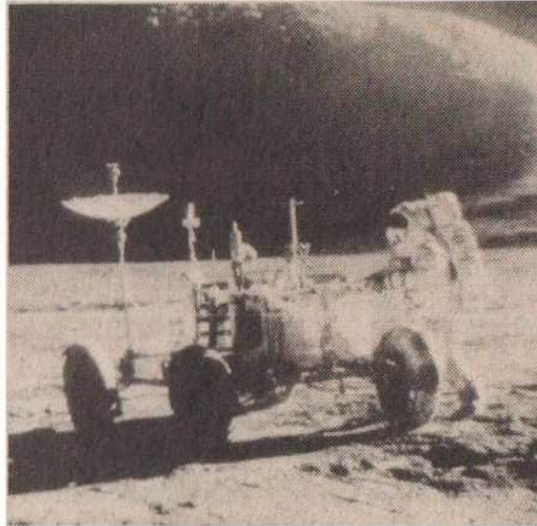


Bild 9
Mondauto und
Astronaut

Die technische Entwicklung in den letzten Jahren läßt darüber hinaus den Gedanken von der Bewohnbarkeit des Mondes wieder aufkommen, doch stellt sich dieser Gedanke heute in einer neuen Qualität dar. Kühne Projekte der Raumfahrt sprechen davon, daß es tatsächlich bald Mondbewohner geben kann. Doch sind es dann Menschen von der Erde, die sich auf dem Mond eine künstliche Wohnumwelt schaffen werden, um dort wohnen und wissenschaftlich arbeiten zu können.

In eigener Sache

In den letzten Monaten haben uns zahlreiche Zuschriften betreffs des Impuls-Sonderheftes "BASIC" erreicht. Leider müssen wir an dieser Stelle den interessierten Lesern mitteilen, daß die Auflage vollständig vergriffen ist.

Mit einer Nachauflage in der nächsten Zeit kann ebenfalls nicht gerechnet werden. Wir möchten deshalb unsere Leser auf die gegenwärtig im Buchhandel zahlreich erhältlichen und weitaus umfangreicheren "BASIC"-Broschüren hinweisen.

Die Redaktion

BÜCHERMARKT

W. Voigt und U. Sucker

Johann Wolfgang von Goethe als Naturwissenschaftler

BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, 3. Aufl. 1987

100 Seiten, 10 Abbildungen., Bestell-Nr. 6658537, Preis: 5,30 M

Emil du Bois-Reymond bezeichnete auf seiner 1882 gehaltenen Rektoratsrede Goethes Farbenlehre als "die totgeborene Spielerei eines autodidaktischen Dilettanten". Während Goethe sich noch als Achtzigjähriger wie folgt äußerte:

"Auf alles, was ich als Poet geleistet habe, bilde ich mir gar nichts ein ... Daß ich aber in der schwierigen Wissenschaft der Farbenlehre der einzige bin, der das Rechte weiß, darauf tue ich mir etwas zugute, und ich habe daher ein Bewußtsein der Superiorität über viele."

Gewiß ist die "Farbenlehre" nicht die größte Leistung des selbstbewußten Goethe und ganz gewiß nicht der polemische Abschnitt, indem er die Entdeckung der Spektralfarben durch Newton als "Hokuspokus" bezeichnet und über den Entdecker schreibt: "Newton muß mit seiner ersonnenen Unnatur ... blenden, wo er nicht überzeugen kann."

Dennoch sind die naturwissenschaftlichen Forschungen Goethes beachtenswert und führten insbesondere auf dem Gebiet der Botanik, Mineralogie und Anatomie (Entdeckung des menschlichen Zwischenkieferknochens) zu erstaunlichen Erfolgen.

Der Thematik "Goethe als Naturwissenschaftler" widmet sich das preiswerte Heft von Dr. W. Voigt und Dr. U. Sucker. Ziel dieses Bandes, so wird im Vorwort erklärt, soll es sein, ein marxistisches Goethebild zu vermitteln und insbesondere auf bürgerlich-

materialistische Standpunkte des Dichters und Wissenschaftlers einzugehen. So wird u.a. die pantheistische Grundhaltung Goethes als materialistische Denkweise mit idealistischer Verkleidung gesehen.

Das Heft beschreibt und interpretiert eine Vielzahl Goethescher naturwissenschaftlicher Arbeiten unter angegebener Zielstellung und stellt damit sicherlich eine interessante Grundlage für Diskussionen dar.

Karsten König

Wissenswertes:

Reinigen von Ausgrabungsfunden mittels Laserstrahl

Nachdem Archäologen jahrelang in der chinesischen Provinz Shaanxi nach dem zweitausendfünfhundert Jahre alten königlichen Friedhof der Herrscher der Qin-Dynastie geforscht hatten, erregten schließlich Grabungsfunde in der ersten Hälfte der siebziger Jahre Aufsehen. Vor allen die Kunde vom Fund einer unterirdischen Armee, bestehend aus lebens- und originalgroß in Ton gefertigten Soldaten, Pferden und Streitwagen, die das Grab des ersten Kaisers des Reichs der Mitte bewachten, ging um die Welt.

Im Herrschergrab fand man die Reste von Menschenopfern sowie 600 Grabbeigaben - Kunst- sowie Alltagsgegenstände, **bestimmt** zum Gebrauch im Jenseits.

Archäologen und Naturwissenschaftler arbeiten eng zusammen, um die Fundobjekte sicher zu bergen und zu erhalten.

Sie erprobten die Lasertechnik beim Reinigen der Funde von Rost und Schimmel. Die Reinigung mittels Laserstrahlen erwies sich als sehr erfolgreich, blieben doch Oberfläche und Material unbeschädigt - auch dann, wenn noch geringe Spuren von Inschriften und Mustern erhalten waren. **Gereinigt** wurden auf diese Weise aus Eisen, Bronze, Jade, Stein, Keramik und Seide gefertigte Fundstücke sowie Gemälde und Schriften. Die bisherige Erfahrung zeigt, daß mit Laserstrahlen entrostete Objekte danach weniger korrosionsanfällig sind.

(aus Wissenschaft und Fortschritt, Heft 2/88)

Scott-Russell's Bericht über die Entdeckung der „großen solitären Welle“

I was observing the motion of a boat **which** was rapidly drawn along a narrow channel by a pair of horses, when the boat suddenly stopped - not so the mass of water in the channel **which** it had put in motion; it accumulated round the prow of the vessel in a state of violet agitation, then suddenly leaving it behind, rolled forward with great velocity, assuming the form of a large solitary elevation, a roundet, smooth and welldefined heap of water, **which** continued its course along the channel apparently without change of form or diminution of speed. I followed it on horseback, and overtook it still rolling on at a rate of some eight or nine miles an hour, preserving its original figure some thirty feet long and a foot to a foot and a half in height. Its height gradually diminished, and after a chase of one or two **miles** I lost it in the windings of the channel. Such, in the **month** of August 1834, was my first chance interview with that **singular** and beautiful phenomenon ...

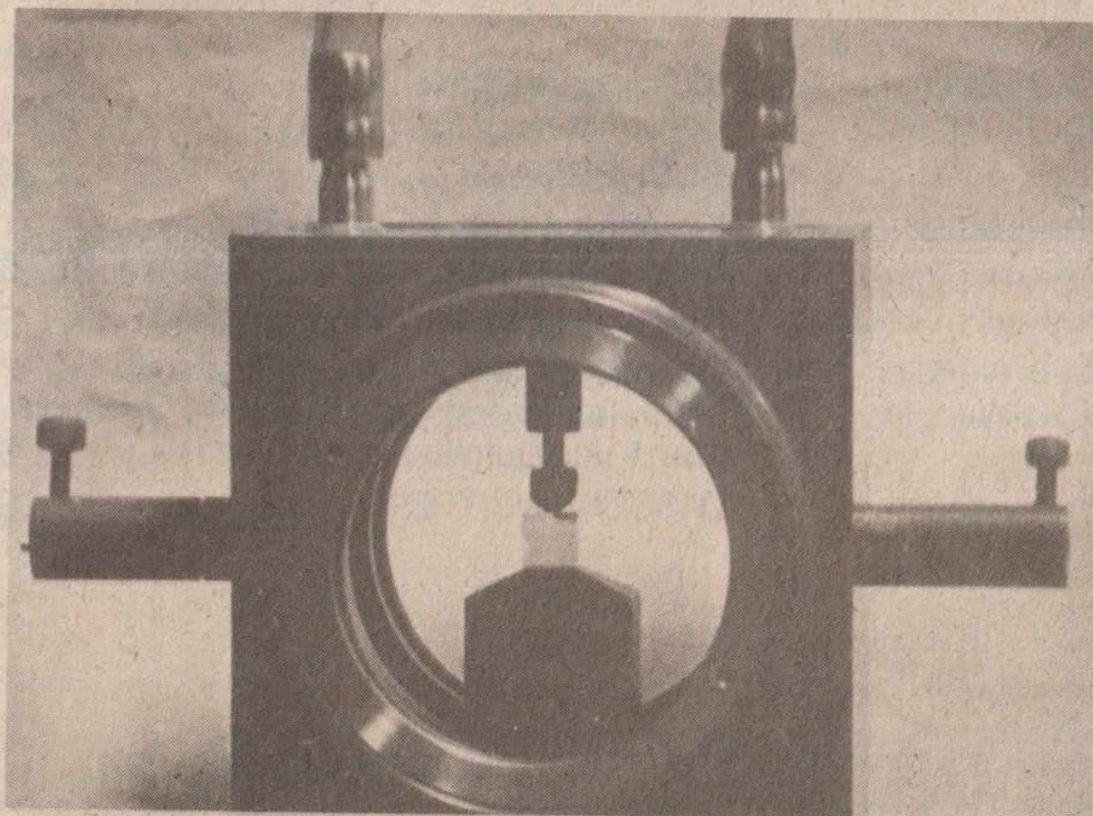
J. Scott-Russell: "Report on waves" Proc. Roy. Soc. Edinburgh
19 -320 ,1944

impuls

68

Schülerzeitschrift für 4/88
Physik, Chemie und Biologie

(22. Jg.) Preis 60 Pf.
INDEX 322004 ISSN 0232-9220



**Nichtlineare
Optische Phasenkonjugation**



Andreas Erdmann Dr. Lutz Wenke	Nichtlineare Optische Phasenkonjugation (Teil 1)	S. 3
	BÜCHERMARKT	S. 11
Matthias Mann	Einführung in die Physik der Selbstorganisation und Evolution (Teil 3)	S. 13
Peter Kroll	Die Parallelrechner kommen (Teil 1)	S. 28
Dr. Lutz Wendler Dr. Elke Wendler	Quantum-Wells und Supergitter – neue Halbleiterstrukturen für Mikro- und Optoelektronik (Teil 1)	S. 35
	WISSENSWERTES	S. 46

impuls 68 – SCHÜLERZEITSCHRIFT FÜR PHYSIK, CHEMIE UND BIOLOGIE

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

Die Zeitschrift erscheint im Eigenverlag der Redaktion „impuls 68“

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

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

Erscheinungsweise: zweimonatlich

Heftpreis: –,60 M

Bezugsmöglichkeiten: durch den Postzeitungsvertrieb

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

Chefredakteur: Andreas Erdmann, stellv. Chefredakteur: Karsten König

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

Gestaltung: Erdmann, Kroll

Redaktionsschluß: 18. 5. 1988

Titelbild: Wismutgermanatkristall als nichtlineares Medium zur Erzeugung phasen-
konjugierter Wellen mit Halterung in heliumgefüllter Schutzgaskammer

Seit etwa 10 Jahren taucht in internationalen Fachzeitschriften für Optik immer häufiger ein neuer Begriff auf: "Nichtlineare Optische Phasenkonjugation" (NOPC). Die mit diesem Artikel eingeleitete Folge soll verdeutlichen, welche physikalischen Phänomene sich hinter diesem Begriff verstecken und warum die NOPC in der letzten Zeit ein so häufig diskutiertes Thema ist. Dabei soll nach einer Begriffsbestimmung auf Methoden der Erzeugung phasenkonjugierter Signale eingegangen werden. Anschließend wird eine Vielzahl von Anwendungen der NOPC (z.B. linsenlose Abbildung, Informations- und Energieübertragung, neue Meßtechniken usw.) behandelt.

1. Begriffsbestimmung

Lassen wir zunächst einmal den Begriff "Nichtlinear" weg, so kann man die Optische Phasenkonjugation (engl.: optical phase conjugation) auch als eine Umkehrung von Wellenfronten optischer Strahlung (russ.: obraščenje volnovovo fronta optičeskovo islučenijsa) bezeichnen. Ausgehend von der Wellendarstellung des Lichtes versteht man unter dem Begriff phasenkonjugierte Lichtwelle diejenige Lichtwelle, welche sich bezüglich einer vorgegebenen Welle bei Beibehaltung der Form der Wellenfront entgegengesetzt ausbreitet.

Mathematisch läßt sich dies folgendermaßen beschreiben. Wir betrachten eine Lichtwelle $A(z,t)$, welche sich in z -Richtung ausbreitet:

$$A(z,t) = A_0(z) \cdot \exp[j(k \cdot z - \omega \cdot t)] + A_0^*(z) \cdot \exp[-j(k \cdot z - \omega \cdot t)] \quad (1)$$

A_0 - komplexe Amplitude der Lichtwelle

k - Ausbreitungskonstante

ω - Kreisfrequenz

t - Zeit

Die zu $A(z,t)$ phasenkonjugierte Welle $A^*(z,t)$ erhalten wir nun, indem die mathematische Operation "konjugiert komplex" auf die z -abhängigen Anteile von $A(z,t)$ angewendet und die t -abhängigen Anteile unverändert beibehalten werden.

$$A^*(z,t) = A_0^*(z) \exp[j(-k \cdot z - \omega \cdot t)] + A_0(z) \cdot \exp[-j(-kz - \omega t)] \quad (2)$$

Zum gleichen Ergebnis gelangen wir auch, indem nur das Vorzeichen der Zeit in (1) geändert wird. Deshalb spricht man auch von einer Zeitinversion.

In Abb.1 ist der Unterschied zwischen der Reflexion an einem ebenen konventionellen Spiegel und an einem phasenkonjugierenden Spiegel (PCM- engl.: phase conjugating mirror), also einem Spiegel, der die zur einfallenden Wellenfront konjugierte Welle "erzeugt", verdeutlicht. Während bei der Reflexion einer Kugelwelle am ebenen Spiegel das Reflexionsgesetz gültig ist und damit die Divergenz der Wellenfront erhalten bleibt, wird im Fall des PCM eine umgekehrte, also konvergierende Wellenfront erzeugt. Diese läuft wieder in der ursprünglichen Lichtquelle zusammen.



Abb.1 Reflexion einer sphärischen Welle (Kugelwelle) an einem konventionellen ebenen Spiegel und an einem PCM

Eine weitere Besonderheit der PCM besteht darin, daß ihre Reflektivität R größer als 1 werden kann. Unter Reflektivität wird hierbei das Verhältnis der Intensitäten von reflektierter Welle I_r und einfallender Signalwelle I_s verstanden:

$$R = \frac{I_r}{I_s} \quad (3)$$

Die scheinbare Verletzung des Prinzips der Energieerhaltung läßt sich damit erklären, daß der PCM im allgemeinen energetisch "gepumpt" werden muß (vgl. 2. Kapitel).

2. Methoden der Erzeugung phasenkonjugierter Wellen

2.1. Historisches

Prinzipiell ist die Möglichkeit der Umkehr von Wellenfronten von Lichtwellen in der Optik schon seit langer Zeit bekannt. Gehen wir zunächst vom bekannten Huygensschen Prinzip aus. Dieses nimmt die Existenz von Sekundärwellen an, deren einhüllende Oberfläche die Wellenfront der sich tatsächlich ausbreitenden Lichtwelle angibt. Für Sekundärwellen, die von einer beliebigen Oberfläche "abgestrahlt" werden, existieren aber zwei einhüllende Oberflächen. Diesen entsprechen Wellen, welche sich in entgegengesetzter Richtung ausbreiten. Demzufolge erhält man, ausgehend vom Huygensschen Prinzip, zu jeder realen Lichtwelle eine Welle, die sich bei Beibehaltung der Wellenfrontform in rückwärtige Richtung ausbreitet - also eine phasenkonjugierte Welle.

Ein weiteres Grundgesetz der Optik ist das Fermatsche Prinzip. Dieses besagt, daß ein Lichtstrahl zwischen zwei festen Punkten A und B denjenigen Weg durchläuft, für welchen das Integral

$$\int_A^B n(r) dr \quad (4)$$

ein Extremum - im allgemeinen ein Minimum - annimmt. $n(r)$ kennzeichnet dabei den ortsabhängigen Brechungsindex des Mediums zwischen A und B. Ob das Integral (4) zu einem Extremum führt, ist unabhängig von einer Vertauschung der Grenzen. Eine Änderung der Ausbreitungsrichtung führt also zu keiner Änderung

des Lichtweges. Auch aus dieser Aussage ergibt sich die prinzipielle Möglichkeit des Auftretens phasenkonjugierter Wellen. Wie sind aber diese Wellen, deren Existenz sich schon aus den Grundgesetzen der Optik ergibt, zu erzeugen?

Sehen wir uns noch einmal Abb.1 an. Wird dort der ebene konventionelle Spiegel durch einen Hohlspiegel mit entsprechendem Krümmungsradius ersetzt, so erhält man ebenfalls die phasenkonjugierte Welle. Bei jeder Änderung der Eingangswellenfront müßte aber der Krümmungsradius und die Lage des Hohlspiegels geändert werden. Noch komplizierter wird das Ganze, wenn keine sphärischen, sondern beliebige Wellenfronten- die sich eventuell noch zeitlich ändern- auf den Spiegel einfallen. Es wird dann ein "Schwamm Spiegel" benötigt, dessen Oberflächenverlauf sich einer Wellenfront konstanter Phase anpasst (Abb.2).



Abb.2 "Schwamm Spiegel" zur Erzeugung phasenkonjugierter Wellen

Ende der sechziger Anfang der siebziger Jahre wurden diesem "Schwamm Spiegel" entsprechende Methoden der Optischen Phasenkonjugation entwickelt. Das Grundprinzip dieser Methoden bestand darin, die Phasenverteilung der Eingangswelle zu vermessen und mit Hilfe akustooptischer oder anderer Modulationstechniken eine Anpassung des Spiegels an die einfallende Welle vorzunehmen. Diese Methode arbeitet aber nur für zeitlich langsam veränderliche Amplituden und Phasen. Hieraus ergibt sich eine starke Begrenzung der praktischen Anwendungsmöglichkeiten. Anfang der siebziger Jahre begann eine intensive Forschung mit dem Ziel, phasenkonjugierte Wellen mit Hilfe nichtlinearer optischer Methoden zu erzeugen. Erste Anfangserfolge wurden schon 1971 von sowjetischen Wissenschaftlern aus Minsk (A.S. Rubanov; B.I. Stepanov; E.I. Ivakin) erreicht. Aber erst Ende der 70ziger Jahre wurden die entsprechenden nichtlinear optischen

Techniken so weit beherrscht, daß es zu einem regelrechten "Boom" der Arbeiten auf dem Gebiet der NOPC ($N \triangleq$ nonlinear) kam.

2.2. Nichtlinear optische Methoden der Erzeugung phasenkonjugierter Wellen

2.2.1. Grundlagen aus der nichtlinearen Optik

Für die klassische Beschreibung elektromagnetischer Wellen (z.B. des Lichtes) werden 4 wesentliche physikalische Größen genutzt: die elektrische Feldstärke E ; die elektrische Verschiebung D ; die magnetische Feldstärke H und die magnetische Induktion B . Der Zusammenhang zwischen diesen 4 Größen ist durch die grundlegenden Gleichungen der Elektrodynamik, die Maxwellgleichungen und durch sogenannte Materialgleichungen gegeben. Eine dieser Materialgleichungen beschreibt die Beziehung zwischen D und E . In der linearen Näherung gilt:

$$D = \epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot E \quad (5)$$

ϵ - relative Dielektrizitätskonstante

ϵ_0 - Dielektrizitätskonstante in
Vakuum

Mit Hilfe einer anderen physikalischen Größe, der Polarisation P läßt sich diese Materialgleichung in der Form

$$D = \epsilon_0 E + P \quad (6)$$

aufschreiben. Für P ergibt sich aus (5) und (6) der Zusammenhang

$$\begin{aligned} P &= (\epsilon - 1) \epsilon_0 E \\ &= \chi E \end{aligned} \quad (7)$$

$\chi = \epsilon - 1$ - Suszeptibilität

Die bisher aufgeführten Formeln gelten jedoch nur in linearer Näherung bzw. bei kleinen Feldstärken E . Beim Auftreten sehr großer Feldstärken bzw. Intensitäten $I \sim E \cdot E^*$ ist für die Beziehung zwischen P und E der verallgemeinerte Zusammenhang

$$P = \chi^{(1)} E + \chi^{(2)} E^2 + \chi^{(3)} E^3 + \dots \quad (8)$$

$\chi^{(n)}$ - Suszeptibilität n-ter Ordnung

zu berücksichtigen.

Alle optischen Effekte, welche auf Glieder 2. und höherer Ordnung in dieser Summe zurückzuführen sind, werden in der NLO behandelt. Da die entsprechenden Phänomene nur bei hohen Lichtintensitäten auftreten, wurden sie erst nach der Entwicklung neuer leistungsstarker Lichtquellen, der Laser, beobachtet (etwa Anfang der sechziger Jahre). In den folgenden Kapiteln wird gezeigt, daß bei entsprechender Nutzung dieser nichtlinearen Effekte eine Erzeugung phasenkonjugierter Signale möglich ist.

2.2.2. Entartete Vier-Wellen-Mischung

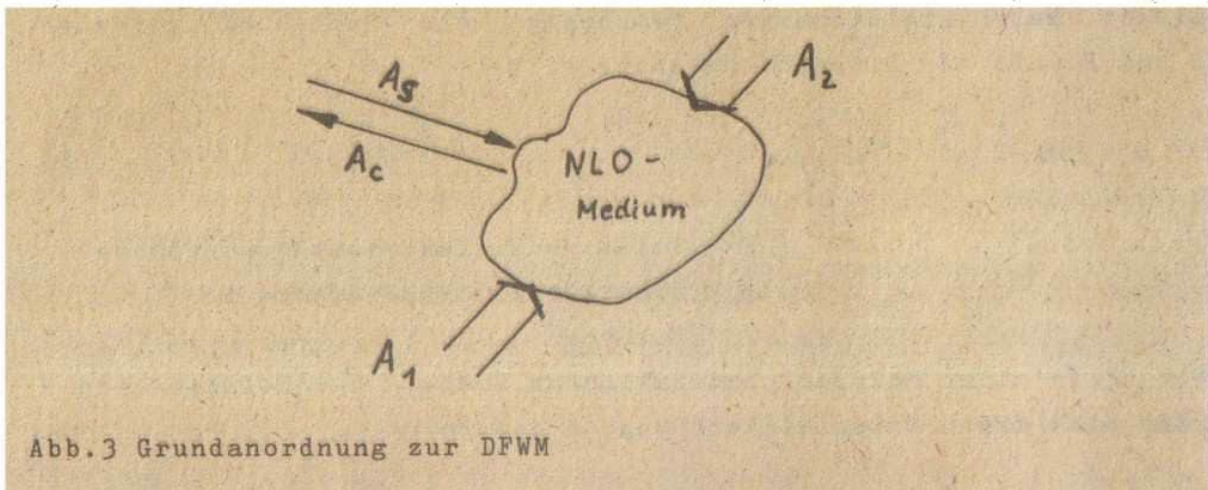


Abb.3 Grundanordnung zur DFWM

Abb.3 zeigt die Grundanordnung der entarteten Vier-Wellen-Mischung (DFWM: engl. degenerate four-wave mixing). In ein nichtlineares Medium mit einer Suszeptibilität 3. Ordnung fallen die Signalwelle

$$A_s = A_{s0} \exp[j(k_s r + \omega t)] + \text{c.c.} \quad (9)$$

und die beiden Pumpwellen

$$\begin{aligned} A_1 &= A_{10} \exp[j(k_1 r + \omega t)] + \text{c.c.} \\ A_2 &= A_{20} \exp[j(k_2 r + \omega t)] + \text{c.c.} \end{aligned} \quad (10)$$

c.c.- konjugiert komplex

ein (A_{s0} , A_{10} und A_{20} - Amplituden der entsprechenden Wellen). Da

alle wechselwirkenden Wellen die gleiche Frequenz ω besitzen, spricht man von einer entarteten Vierwellenmischung. Darüber hinaus sollen sich die beiden Pumpwellen zueinander entgegengesetzt ausbreiten, für ihre Ausbreitungsvektoren gilt also die Beziehung $k_1 = -k_2$.

Im nichtlinearen Medium wird nun entsprechend (8) eine nichtlineare Polarisation P_{NL} erzeugt, für welche gilt

$$\begin{aligned} P_{NL} &\sim \chi^{(3)} A_1 \cdot A_2 \cdot A_3^* \\ &\sim \chi^{(3)} A_{10} \cdot A_{10} \cdot A_{30}^* \cdot \exp[j(-k_3 \cdot r + \omega t)] + \text{c.c.} \end{aligned} \quad (11)$$

Entsprechend dieser im Medium erzeugten nichtlinearen Polarisation entsteht eine Lichtwelle A_c .

$$\begin{aligned} A_c &\sim P_{NL} \\ &\sim A_{30}^* \cdot \exp[j(-k_3 \cdot r + \omega t)] + \text{c.c.} \end{aligned} \quad (12)$$

Wie der Vergleich zwischen (9) und (12) zeigt, entspricht A_c der bezüglich A_3 konjugierten Welle.

Zur Beschreibung der DFWM wird aber auch häufig ein anderes Bild genutzt. Die Erzeugung der phasenkonjugierten Welle wird, wie in Abb.4 verdeutlicht, als echtzeitholographischer Prozess angesehen.

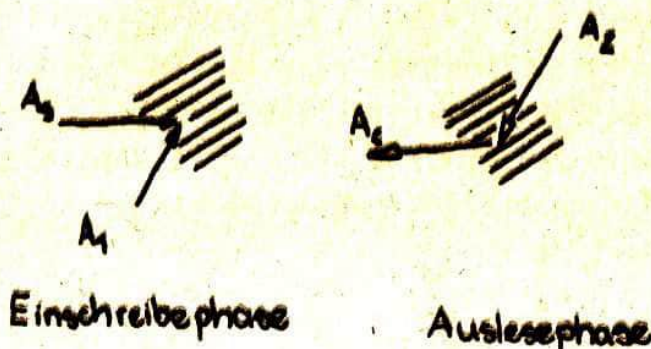


Abb.4 DFWM als echtzeitholographischer Prozess

Wie in Abb.4 angegeben wird der Prozeß der DFWM in zwei Phasen unterteilt. Während der sogenannten Einschreibephase wird entsprechend der Interferenz zwischen der Signalwelle und einer Pumpwelle ein Gitter oder Hologramm in das nichtlineare Medium

eingeschrieben. Im Gegensatz zu konventionellen holographischen Verfahren, bei denen ein photographischer Entwicklungsprozeß zur Ausbildung des Gitters notwendig ist (Schwärzung des Photo-materials entsprechend der Intensitätsverteilung der Interferenzen), liegt im nichtlinearen Medium das Gitter unmittelbar nach der Belichtung durch Signal- und Pumpwelle vor. Hierfür sind je nach Wahl des nichtlinearen Mediums verschiedene physikalische Prozesse verantwortlich (thermische Effekte, photorefraktiver Effekt u.v.a.).

Die zweite Phase der DFWM beinhaltet das Auslesen des Hologramms. Dies bedeutet, daß die zweite Pumpwelle am eingeschriebenen Gitter gebeugt wird. Die mathematische Analyse des Verfahrens zeigt, daß die abgebeugte Welle der zur Signalwelle konjugierten Welle entspricht.

In der Natur verlaufen die besprochenen Prozesse natürlich wesentlich komplizierter, als in diesem einfachen Schema angedeutet wurde. So interferieren beide Pumpwellen mit der einfallenden Signalwelle und bilden Gitter. Weiterhin beeinflussen sich die Einschreibe- und Ausleseprozesse gegenseitig und es können starke Polarisationsabhängigkeiten der wechselwirkenden Wellen auftreten. Für die Qualität der phasenkonjugierten Welle ist entscheidend, wie gut die beiden Pumpwellen zueinander justiert sind, welche Phasen- bzw. Intensitätsverteilung sie besitzen und welchen Einfluß das nichtlineare Medium auf die Pumpwellen ausübt.

Entsprechend der Energie, mit welcher der PCM gepumpt wird, kann seine Reflektivität größer als 100 % sein, also eine Verstärkung des reflektierten Signales auftreten. Diese interessante Eigenschaft von PCM wird bei vielen der im 3. Kapitel besprochenen Anwendungen eine wesentliche Rolle spielen.

2.2.3. Stimulierte Brillouinstreuung

Bei der stimulierten Brillouinstreuung (SBS) wird durch die Wechselwirkung eines intensiven optischen Eingangssignals mit dem nichtlinearen Medium eine akustische Welle (d.h. Druck- Dichte-Schwankungen im Medium) angeregt. Gleichzeitig erfolgt eine Rückstreuung der einfallenden Welle an der induzierten Schallwelle. Die zurückgestreute Welle entspricht bis auf eine kleine

Frequenzverschiebung der phasenkonjugierten Welle bezüglich des Eingangssignals.

Im Unterschied zur DFWM sind bei der SBS keine weiteren Pumpwellen zur Erzeugung phasenkonjugierter Wellen notwendig. Damit vereinfacht sich der Aufbau bzw. die Justierung des PCM wesentlich. Allerdings ist bei der SBS eine Reflektivität des PCM größer 100% nicht erreichbar. Weiterhin arbeitet der beschriebene physikalische Prozeß erst oberhalb einer bestimmten Schwellintensität für das Eingangssignal. Diese erforderlichen Intensitäten sind nur mit sehr leistungsstarken Impulslasern erreichbar.

Neben den beiden hier skizzierten Möglichkeiten gibt es eine Reihe weiterer nichtlinearer Prozesse zur Erzeugung phasenkonjugierter Signale (Drei-Wellen Mischung, Photonenecho, stimulierte Ramanstreuung u.s.w.). SBS und DFWM werden aber wegen ihrer spezifischen Vorteile in der Praxis am häufigsten eingesetzt.

BUCHERMARKT

Horst Rast

"Vulkane und Vulkanismus"

3., neubearbeitete Auflage, 92 Abbildungen

BSB B.G. Teubner Verlagsgesellschaft 1987

Vulkane und Vulkanismus - wer verbindet damit nicht gleich den gewaltigen Vulkanausbruch des Krakatoa 1850 oder die des Vesuv, oder die Schrecken des Ausbruches vom Nevado del Ruiz 1986 in Kolumbien. Nun besteht oftmals die Frage, ob man einen Ausbruch verhindern oder zumindestens vorhersagen kann. Um diese Frage zu beantworten ist die Kenntnis der Ursachen für die Entstehung dieser Naturereignisse wichtig. Dazu soll dieses Buch einen Beitrag leisten.

Auf insgesamt 236 Seiten mit 92 Abbildungen wird erklärt, wie es zum Entstehen von Vulkanen kommt, wo die Ursachen für den

Vulkanismus zu suchen sind oder welche verschiedenen Vulkanbauten existieren. Der Autor beschreibt ausführlich die vulkanischen Förderprodukte, wie Lava oder Asche, deren Entstehung und die damit verbundenen Probleme, oder man lernt die Erscheinungsformen des gegenwärtigen Vulkanismus, zum Beispiel den Ozeanischen Intraplattenvulkanismus, kennen. Was das ist, wird selbstverständlich in diesem anschaulich geschriebenen Buch erklärt. Weiterhin sind auch solche Erscheinungen ausführlich beschrieben, die mit den Vulkanen zusammenhängen, wie die Geiser und heißen Quellen. Interessant ist auch, daß der Vulkanismus nicht nur eine irdische Erscheinung ist, sondern daß es auch auf anderen Planeten Vulkane gibt. Im Schlußteil wird dann auf die eingangs gestellte Frage geantwortet, welche Möglichkeiten der Überwachung, Vorhersage und des Schutzes bestehen. Originell ist dabei der Abdruck einer Verhaltensvorschrift bei Vulkanausbrüchen. Das Buch zu lesen lohnt sich für alle, die sich für Naturereignisse und -erscheinungen interessieren, aber auch für jene, die sich speziell mit der Geologie beschäftigen möchten. Für dieses leicht verständliche Buch spricht auch die Tatsache, daß nunmehr die dritte, neubearbeitete Auflage erschienen ist. Sie enthält eine aktualisierte Zeittafel für die größten und bekanntesten Eruptionen sowie farbenprächtige Fotografien von Vulkanausbrüchen und ihren Folgelandschaften.

Torsten Kroll (Schüler einer
zehnten Klasse der Leibniz-OS
Schkeuditz)

3. Thermodynamik und dissipative Strukturen

3.1. Hauptsatz und Selbstorganisation

In diesem Kapitel wollen wir uns dem bereits in der Einleitung erwähnten (scheinbaren) Grundwiderspruch zwischen der überall und unvermeidbar auftretenden Dissipation (Zerstreuung) der Energie sowie der ebenfalls in allen Bereichen der Natur beobachteten Bildung neuer Strukturen zuwenden und ihn von thermodynamischer Seite näher beleuchten.

In den Formeln (2.5-7) wurde der zweite Hauptsatz der Thermodynamik formuliert. Hier noch einmal die CLAUSIUSsche Formulierung:

Die Entropie nimmt in abgeschlossenen Systemen ständig zu, bis sie im Zustand des thermodynamischen Gleichgewichts ein Maximum erreicht.

Nach (2.9) sind Entropie und thermodynamische Wahrscheinlichkeit durch die Boltzmannsche Formel $S = k \cdot \ln(W)$ verknüpft. Eine Entropiezunahme entspricht also dem Übergang zu wahrscheinlicheren Zuständen. Diese sind aber die ungeordneten.

Die grundlegenden neuen Ideen zur Strukturbildung in der Natur stammen insbesondere von dem Physiker SCHRÖDINGER, dem Physikochemiker PRIGOGINE, dem Biologen BERTALANFFY und dem Mathematiker TURING.

Diese neuen Erkenntnisse bestehen insbesondere darin, daß man es

in der Natur wesentlich mit *o f f e n e n* Systemen zu tun hat. Wir wollen uns deshalb in diesem Abschnitt ein wenig mit offenen Systemen beschäftigen. Ein thermodynamisches System wird als offen bezeichnet, wenn es mit seiner Umgebung Stoffe und Energie austauscht. Analog zu (2.4) kann man auch die Änderung der inneren Energie eines Systems schreiben als

$$dU = d_i U + d_a U. \quad (3.1)$$

Innere Energie kann aber nicht im Inneren des Systems erzeugt oder vernichtet werden:

$$d_i U = 0. \quad (3.2)$$

Es muß also für $dU \neq 0$ stets ein Energiefluß $d_a U$ über die Systemgrenzen stattfinden.

Betrachten wir nun konkrete Spezialfälle thermodynamischer Systeme.

a) isolierte Systeme

$$\begin{aligned} \text{Es gilt: } d_a S &= 0 \\ dS &= d_i S \geq 0 \end{aligned}$$

Die Entropie strebt einem maximalen Wert zu, der im thermodynamischen Gleichgewicht erreicht ist. Das System strebt zu einer maximalen Unordnung.

b) geschlossene Systeme

Sie tauschen laut Definition keine Stoffe, wohl aber Energie mit der Umwelt aus.

Aus der GIBBSschen Fundamentalgleichung (2.3) folgt:

$$\begin{aligned} d_a S &= dQ / T \\ dS &= d_i S + dQ/T \geq dQ/T \end{aligned}$$

In Worten heißt das: Jede Wärmezufuhr in ein geschlossenes System vergrößert die Unordnung.

Eine Vergrößerung der Ordnung (Sinken der Entropie!) erfordert dagegen einen Wärmeentzug $dQ < 0$!

Dies ist eine allgemein bekannte Tatsache. Die Kristallisation ist ein Beispiel für Strukturbildung durch Übergang zu tiefen Temperaturen. Es gibt noch weitere Möglichkeiten, einem geschlossenen System Entropie zu entziehen, doch dazu später mehr. Weiter folgt aus der GIBBSschen Fundamentalgleichung (2.3):

$$dU = d_a U = dQ + dA$$

An dieser Stelle müssen wir noch eine Bemerkung zum Arbeitsterm einflechten: dA ist ein symbolischer Ausdruck und kann in vielerlei Gestalt auftreten. Beispielsweise gilt für eine Kompressionsarbeit

$$dA_{\text{rev}} = -p \cdot dV.$$

(Zusammendrücken eines Gaskolbens). Ein weiteres Beispiel für einen Arbeitsterm ist

$$dA = \sum_{\alpha, \beta=1}^3 \sigma_{\alpha\beta} d\epsilon_{\alpha\beta}.$$

Es ist dies die bei einer Deformation eines Festkörpers geleistete Arbeit. $\sigma_{\alpha\beta}$ beschreibt die mechanischen Spannungen im Körper und $\epsilon_{\alpha\beta}$ seine Deformation.

Oder: $dA = \vec{H} \cdot d\vec{M}$

Hiermit beschreibt man die bei der Magnetisierung eines Körpers geleistete Arbeit. $\vec{H}$ ist die magnetische Feldstärke und $\vec{M}$ seine Magnetisierung.

Dieser Aufzählung ließen sich noch viele weitere Beispiele hinzufügen. Die Gestaltung des Arbeitsdifferentials richtet sich also nach dem jeweiligen zu beschreibenden System. Allgemein schreibt man das reversible Arbeitsdifferential als

$$dA_{\text{rev}} = \sum_i l_i \cdot dL_i.$$

Jedoch ist nicht jede Arbeit reversibel. Am System kann auch dissipierte Arbeit geleistet werden. Klassische Beispiele sind Reibung und Stromleitung. Hierbei entsteht Wärmeenergie im System. Das allgemeine Arbeitsdifferential schreibt man also als:

$$dA = dA_{\text{rev}} + dA_{\text{diss}} = \sum_i l_i \cdot dL_i + dA_{\text{diss}}. \quad (3.3)$$

Soweit dieser Einschub zur Beschreibung einer Arbeitsleistung in

einem thermodynamischen System.

Wir kommen nun zu den offenen Systemen.

c) offene Systeme

Ein offenes System kann sowohl Stoffe als auch Energie mit der Umgebung austauschen. Für offene Systeme ist eine Modifizierung der GIBBSschen Fundamentalgleichung nötig. Es muß berücksichtigt werden, daß das System zum Stoffaustausch mit der Umgebung fähig ist.

Dies äußert sich in einer Veränderung der Molzahl der im System vorhandenen Stoffe

Bei k vorhandenen Stoffen im System lautet (2.3) dann:

$$T dS = dU - dA - \sum_{i=1}^k \mu_i dn_i \quad (3.4)$$

Die Proportionalitätskoeffizienten μ_i sollen uns hier vorerst nicht weiter interessieren, sie werden als chemische Potentiale bezeichnet.

Auch für die Änderung der Stoffmenge der j -ten Sorte kann man setzen:

$$dn_j = d_a n_j + d_i n_j \quad (3.5)$$

$d_a n_j$ erfaßt den direkten Stoffaustausch mit der Umgebung, $d_i n_j$ berücksichtigt eine Änderung der Stoffmenge der j -ten Sorte durch chemische Reaktionen im Inneren des Systems.

Wir können also die GIBBSsche Fundamentalgleichung schreiben als:

$$\begin{aligned} (d_a S + d_i S) &= \frac{1}{T} \left[dU - dA_{rev} - \sum_j \mu_j (d_i n_j + d_a n_j) \right] \\ &= \frac{1}{T} \left[d_a U - \sum_j L_j dL_j - \sum_j \mu_j (d_i n_j + d_a n_j) \right] \quad (3.6) \\ &= \frac{1}{T} \left[dQ + \sum_j L_j dL_j + dA_{diss} - \sum_j L_j dL_j - \sum_j \mu_j (d_i n_j + d_a n_j) \right] \\ &= \frac{1}{T} \left[dQ + dA_{diss} - \sum_j \mu_j (d_i n_j + d_a n_j) \right]. \end{aligned}$$

Der Energiestrom wurde hierbei mit $d_a U = dQ + dA = dA_{rev} + dA_{diss} + dQ$ verwendet.

Betrachten wir nun nur die dissipativen Prozesse in (3.6), so ergibt sich:

$$d_i S = \frac{1}{T} dA_{\text{diss}} - \frac{1}{T} \sum_j \mu_j \cdot d_i n_j \quad (3.7)$$

Für die äußeren Beiträge folgt:

$$d_a S = \frac{1}{T} dQ - \frac{1}{T} \sum_j \mu_j \cdot d_a n_j \quad (3.8)$$

Durch eine Variation der Umgebungsparameter läßt sich bei offenen Systemen der Austauschanteil $d_a S$ beliebig gestalten. Es gilt:

$$dS = d_a S + d_i S = \text{beliebig!}$$

Hier liegt der Schlüssel zu einer Verminderung der Entropie offene Systeme.

Der "Export" von Entropie $d_a S$ muß nur die "Produktion" von Entropie im Inneren übersteigen.

$$\left. \begin{array}{l} d_a S < 0 \\ |d_a S| > d_i S \end{array} \right\} dS < 0 \quad (3.9)$$

In Gleichgewichtsnähe dominiert stets $d_i S > 0$. Der Entropieexport muß deshalb einen kritischen Wert überschreiten, damit eine Strukturbildung im System beginnen kann. Die Selbstorganisation ist eine "überkritische" Erscheinung.

Ein derartiges Verhalten stellt sich nun nicht spontan ein. Es ist eine "Entropiepumpe" notwendig. Der Betrieb dieser Pumpe erfordert verschleißbare Energie, die aus äußeren oder inneren Quellen stammen kann.

Befindet sich diese Pumpe im Inneren des Systems, so spricht man von einem **a k t i v e n** strukturbildenden System. Lebewesen oder auch Ottomotoren sind solche Systeme. Sie besitzen einen hohen Grad innerer Organisiertheit. Außerdem müssen ihnen aus der Umgebung energiereiche Rohstoffe zufließen.

P a s s i v e strukturbildende Systeme (z. B. Bernard-Zelle, Elektrogeräte, Laser) sind mit einer Umgebung gekoppelt, die die Entropiepumpe enthält. Diese pumpt Elektrizität oder Wärme bei

hoher Temperatur in das System.

Die Entropiepumpe treibt das System vom Gleichgewicht weg.

Zur Veranschaulichung betrachten wir ein isotherm-isochores System. Die freie Energie des Systems ist definiert durch $F = U - TS$.

Es gilt:

$$\begin{aligned}dF &= d_a F + d_i F \\&= dU - T dS \quad (dT = 0, \text{ da isotherm}) \\&= d_a U + d_i U - T d_a S - T d_i S\end{aligned}$$

Das bedeutet:

$$dF = d_a U - T d_a S = dU - T d_a S$$

Für den Entropieexport erhält man also:

$$d_a S = \frac{1}{T} (dU - d_a F)$$

Aus der Entropieexportbedingung $d_a S < 0$ und $|d_a S| > d_i S > 0$ folgt also:

$$d_a F > dU + T \cdot d_i S$$

Das heißt: Zur Gewährleistung des Entropieexports muß diesem speziellen System freie Energie in einem Maße zugeführt werden, das die Änderung der inneren Energie und der Verschleiß infolge der Entropieproduktion abgedeckt wird.

Kommen wir zur Zusammenfassung:

- a.) Bei starken Abweichungen des Systems vom Gleichgewicht genügen die Systemvariablen i.a. nichtlinearen Gesetzen. Das ist ein wesentliches und allgemeines Merkmal der Nichtgleichgewichtsprozesse.
- b.) Ein überkritischer Entropieexport erfordert s p e z i e l l innere Systemstrukturen. Das heißt: Selbstorganisation ist eine s p e z i e l l e Eigenschaft der Materie, die nur unter s p e z i f i s c h e n inneren und äußeren Bedingungen existiert. Sie ist jedoch n i c h t an spezielle Stoff-

klassen gebunden.

c.) Es gibt zwei Typen irreversibler Prozesse:

1. Strukturstörung in Gleichgewichtsnähe als allgemeine Systemeigenschaft unter beliebigen Bedingungen.
2. Strukturbildung in Gleichgewichtsferne unter speziellen Bedingungen (Offenheit des Systems, Nichtlinearität der inneren Dynamik, überkritische Werte der äußeren Parameter).

Von PRIGOGINE stammt die Definition der d i s s i p a t i v e n S t r u k t u r e n:

Als dissipative Strukturen bezeichnet man stabile räumliche, zeitliche oder raumzeitliche Strukturen, die sich weitab vom Gleichgewicht jenseits kritischer Parameterwerte im nichtlinearen Bereich ausbilden können. Zu den entscheidenden Merkmalen gehört die Stabilität der Struktur gegenüber kleinen Störungen sowie der überkritische Gleichgewichtsabstand.

Die wichtigste Teilklasse der dissipativen Strukturen sind die s t a t i o n ä r e n dissipativen Strukturen, die im Laufe der Zeit bei konstanten äußeren Bedingungen keinerlei Änderungen unterworfen sind.

$$dS = d_1 S + d_a S = 0$$

$$d_a S = - d_1 S < 0$$

(3.10)

Die Ungleichung kennzeichnet dabei den Gleichgewichtszustand.

Das System m u ß also Entropie an die Umgebung abgeben, um die Entropieproduktion im Inneren aufgrund irreversibler Prozesse kompensieren zu können.

Für die Benennung stationärer Nichtgleichgewichte wird auch oft der Begriff des F l i e ß g l e i c h g e w i c h t s (BERTALANFFY, OSTWALD) benutzt:

"Als Fließgleichgewicht bezeichnet man einen stationären (zeitunabhängigen) Nichtgleichgewichtszustand des offenen Systems, der stabil gegenüber kleinen Schwankungen ist."

Eine stationäre dissipative Struktur entspricht somit einem überkritischen Fließgleichgewicht des Systems.

3.2. Dissipative Strukturen in Physik und Chemie

Wir wollen uns in diesem Abschnitt die bisherigen Ausführungen zur Strukturbildung an einigen Beispielen physikalischer und chemischer Systeme vergegenwärtigen.

3.2.1. Physikalische Beispiele

a. hydrodynamische Systeme

Die Hydrodynamik ist die Mechanik der strömenden Medien. Ein typisches Beispiel für eine dissipative Struktur in strömenden Medien sind die sogenannten Bénard-Zellen. Bei sehr kräftiger Erhitzung der Unterseite einer Flüssigkeitsschicht (z. B. Siliconöl) entsteht ein Temperaturgefälle ΔT zwischen Grundfläche und Oberfläche. (siehe Abb. 1)

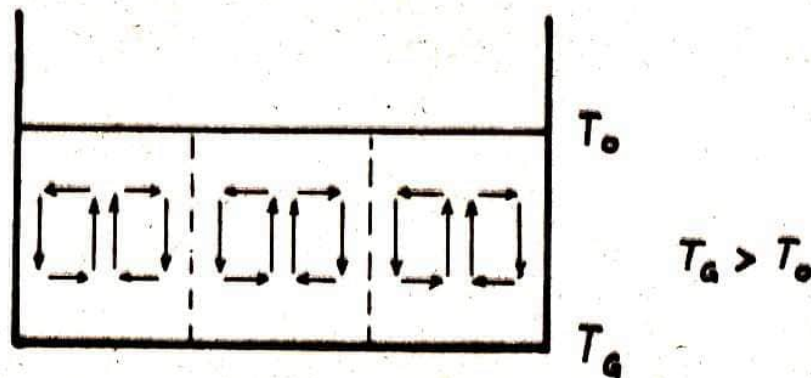


Abb. 1 Schema des Bénard-Effektes

Für unterkritische Temperaturdifferenzen $(T_G - T_O) < T_{krit}$ befindet sich die Flüssigkeitsschicht in Ruhe. Die Wärme wird durch Wärmeleiter nach oben transportiert.

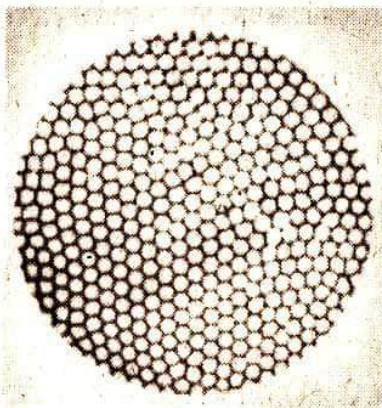


Abb. 2
Bénard-Zellen in Walrat
(nach Benards Originalfoto)

Informationskasten 2

Wärmeleitung und Konvektion

Beides sind Spezialfälle von Energietransportmechanismen.

Die Wärmeleitung ist eine Form der Wärmeübertragung infolge Energieaustausches durch ungeordnete Molekülbewegungen in ruhenden oder unbewegt gedachten Medien (Stöße).

Die Konvektion dagegen ist eine Mitführung der Wärmeenergie durch sich bewegende Flüssigkeits- oder Gasteilchen.

Oberhalb einer kritischen Temperaturdifferenz $(T_G - T_0) < \Delta T_{\text{krit}}$ setzt eine Konvektion ein, und es bildet sich ein System sechseckiger Rollzellen aus. (siehe dazu Informationskasten 2)

Den zur Oberfläche transportierten Wärmestrom kann man über der Temperaturdifferenz graphisch darstellen.

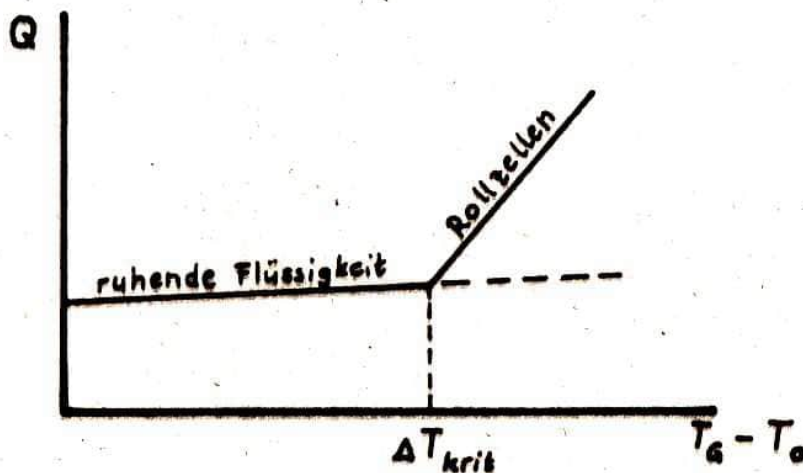


Abb. 3 Kinetischer Phasenübergang beim Bénard-Effekt

Der Mechanismus der Wärmeleitung ist bei überkritischen Temperaturdifferenzen nicht mehr effektiv genug, die ruhende Flüssigkeit ist instabil. Die Wärmeleitung wird durch das stabile System der Konvektionszellen ersetzt. Das heißt, der immer intensivere Wärmetransport kann nur durch das leistungsfähigere Konvektionsregime gewährleistet werden.

Im Vergleich zur homogenen Gleichgewichtsverteilung sind die Konvektionszellen eine hochorganisierte Struktur, die durch kooperative Bewegungen der Flüssigkeitsmoleküle erzeugt wird.

Der Entropiestrom durch die Grenzflächen ist gegeben durch

$$\frac{d_e S}{dt} = \frac{1}{T_G} \frac{dQ}{dt} - \frac{1}{T_0} \frac{dQ}{dt} = \frac{dQ}{dt} \frac{T_0 - T_G}{T_0 T_G} < 0.$$

Das System exportiert also Entropie.

Bei steigenden Abweichungen vom Gleichgewicht (weitere Temperaturerhöhung) kann die erhitzte Flüssigkeit mehrere kinetische Umwandlungen durchlaufen.

Nach dem Auftreten der eben beschriebenen Rollzellen gehen diese zunächst in zylinderförmige Rollwalzen über.

Später wird das zusätzliche Auftreten von Störungsmustern beobachtet, die sich senkrecht zu den originalen Rollzellen ausbilden.

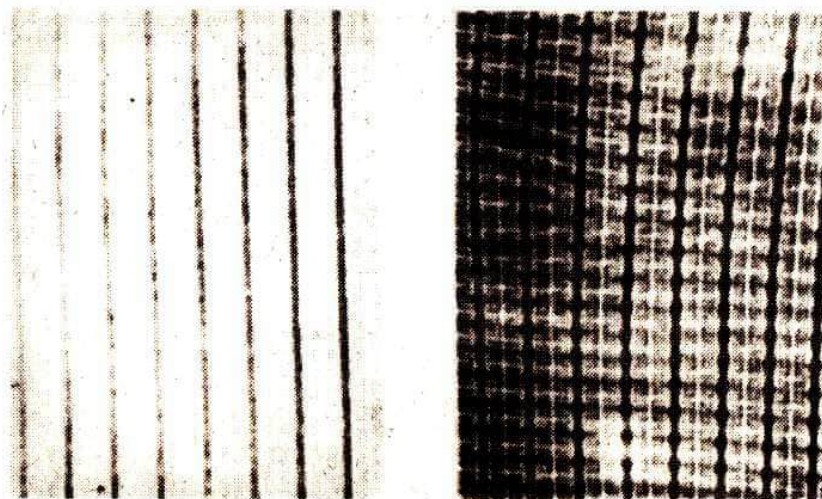


Abb. 4 Zylindrische Rollwalzen (links) und orthogonale Überlagerung von Rollwalzen (rechts)

Bei weiterer Entfernung vom Gleichgewicht (Temperaturerhöhung) wird die Strömung schließlich turbulent und ungeordnet.

Ein weiteres Beispiel einer dissipativen Struktur findet sich bei der sogenannten COUETTE-Strömung zwischen rotierenden Zylindern. Der Raum zwischen zwei Zylindern, von denen der innere mit einer konstanten Winkelgeschwindigkeit rotiert, ist mit einer Flüssigkeit gefüllt. Bei kleinen Umdrehungsgeschwindigkeiten bildet sich

zwischen den Zylindern eine wirbelfreie Strömung aus. (COUETTE-Strömung). Oberhalb einer kritischen Winkelgeschwindigkeit entstehen periodisch angeordnete Wirbelringe entlang der Achse, die ein reguläres Muster bilden (TAYLOR-Instabilität; s. Abb. 5).

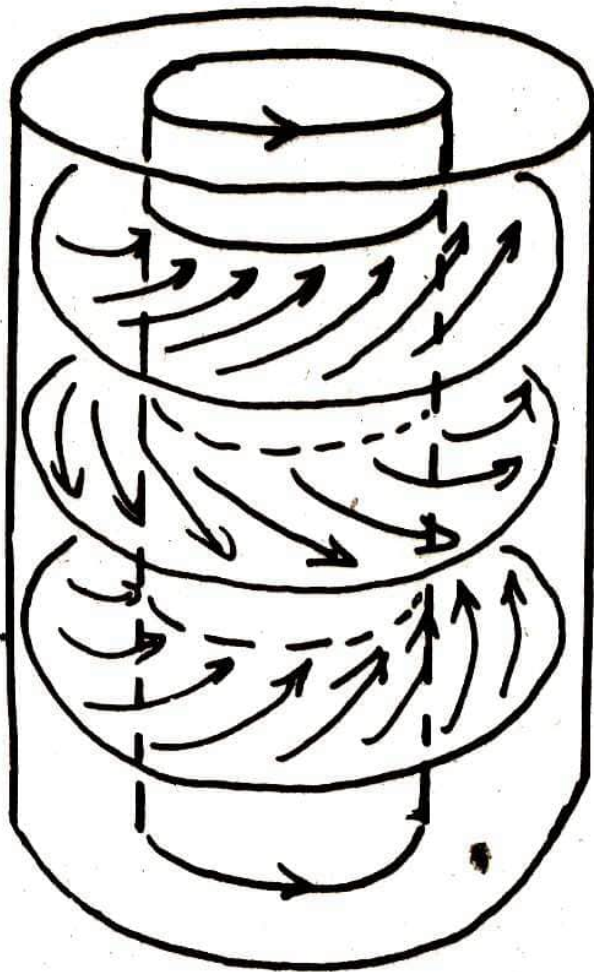
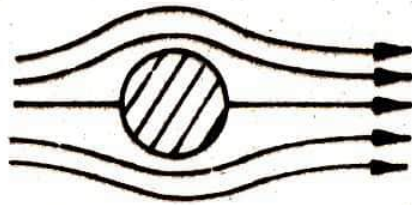


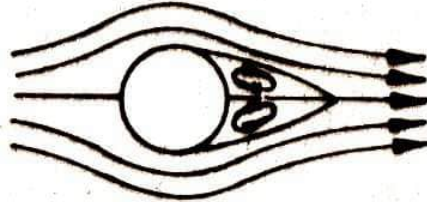
Abb. 5
TAYLOR-Instabilität der COUETTE-Strömung um einen rotierenden Zylinder innerhalb eines stehenden Zylinders

Bei weiterer Entfernung vom Gleichgewicht (Erhöhung der Winkelgeschwindigkeit) beobachtet man einen wellenartigen Wirbelfluß in azimuthaler Richtung und darauf folgend schließlich wieder Turbulenzen.

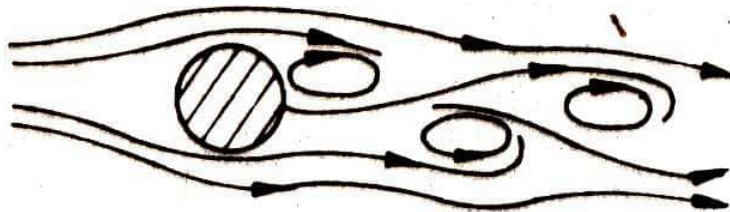
Als letztes Beispiel aus der Hydrodynamik betrachten wir einen umströmten Zylinder. Bei kleinen Strömungsgeschwindigkeiten ist die Strömung völlig wirbelfrei. Mit zunehmender Strömungsgeschwindigkeit bildet sich zunächst ein stehendes Wirbelpaar, danach ordnen sich die Wirbel alternierend an (KARMANSche Wirbelstraße) und schließlich erfolgt auch hier mit wachsender Entfernung vom Gleichgewicht (Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit) der Übergang zur Turbulenz (siehe Abb. 6).



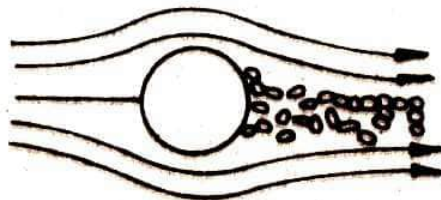
(a) laminar



(b) stehendes Wirbelpaar



(c) KARMANSche Wirbelstraße



(d) Turbulenz

Abb. 6 Kinetische Phasenübergänge bei der Umströmung eines Zylinders

Alle diese hydrodynamischen Beispiele lassen sich umfassend folgendermaßen charakterisieren: (siehe Abb. 7)



Abb. 7 Spektrum der kritischen Abweichungen vom Gleichgewicht für hydrodynamische Probleme

Auf den thermodynamischen Zweig, der das System in Gleichgewichtsnähe charakterisiert, folgt nach einem kritischen Wert der Systemparameter (Temperaturdifferenzen, Strömungsgeschwindigkeiten, ...) in der Regel ein Gebiet hochorganisierter, zellartiger Strömungsstrukturen der Flüssigkeit mit wachsendem Abstand R vom Gleichgewicht ein System oszillatorischer Strukturen. Schließlich folgt bei sehr großen Gleichgewichtsabständen der Bereich chaotischer turbulenter Bewegungen. Eine Erzeugung hochorganisierter Strukturen durch kooperative Bewegungen der Flüssigkeitsmoleküle ist also nur in einem bestimmten Bereich der Abweichungen vom Gleichgewicht möglich. In allen betrachteten Fällen liegt die Entropie- bzw. Energiepumpe, die das System antreibt, außerhalb desselben. Es handelt sich also um passive Systeme.

b. Ein Beispiel aus der Optik

Zum Abschluß der Beispiele aus der Physik begeben wir uns in das Gebiet der Optik. Die in den vorigen Beispielen erkennbare einfache Formel

Strukturbildung = Folge kooperativen Verhaltens, weitab vom Gleichgewicht

drückt ein grundsätzliches Ordnungsprinzip aus.

Wir wollen die Funktionsweise eines Festkörperlaser betrachten. Der Laser besteht aus einem Stab, in dessen Material spezielle Atome eingebettet sind. An den Enden des Stabes sind Spiegel angebracht. Durch eine äußere Pumpstrahlung werden die aktiven Atome im Stab in einen angeregten Zustand versetzt. Betrachten wir zuerst die Vorgänge im Wellenbild.

Die angeregten Atome bilden winzige Antennen und strahlen Wellenzüge von einigen Metern Länge ab. Ein Ausstrahlungsvorgang eines Atoms dauert 10^{-8} s. Die Spiegel bewirken, daß alle Wellenzüge, die unter einem Winkel zur Laserachse emittiert werden, nach wenigen Reflexionen den Laser verlassen. Alle axialen Wellenzüge halten sich durch vielfache Reflexionen relativ lange im Laser auf.

Bei kleinen Eingangsleistungen der Pumpstrahlung emittieren die Atome ihre Wellenzüge unabhängig voneinander. Der

Laser arbeitet als Lampe. Erst oberhalb eines gewissen Schwellenwertes der Anregungsenergie beginnen die elementaren Antennen kooperativ zu wirken. Sie schwingen in Phase und emittieren dadurch Riesenwellenzüge mit einer Länge von $(10^8 \dots 10^9)\text{m}$ (im idealen Fall). Gleichzeitig steigt die emittierte Lichtenergie rapide mit dieser steigenden Anregungsenergie an.

Infolge des kooperativen Verhaltens der Atome geht der Laser in einen neuen Zustand über, er arbeitet im Laserregime.

Im Teilchenbild werden die Vorgänge noch verständlicher. Die Photonen der Pumpstrahlung werden absorbiert, die aktiven Atome im Laserstab dadurch angeregt. Das heißt, die Elektronen werden auf höhere Niveaus gehoben und es kommt zu einer stärkeren Besetzung dieser höheren Niveaus im Vergleich zu den niederen. Man nennt diesen Zustand Besetzungsinversion. Die angeregten Atome emittieren nun Photonen. Bei kleinen Eingangsleistungen erfolgt hauptsächlich eine spontane Emission ungerichteter Photonen. Der Laser arbeitet als normale Lampe. Erst oberhalb der kritischen Eingangsleistung dominiert die induzierte Emission (siehe auch Informationskasten 3). Es findet dadurch eine Selektion und Verstärkung einer bestimmten Gruppe gerichteter Photonen statt. Der Laser arbeitet im eigentlichen Laserregime.

Im überkritischen Bereich wird das Lampenregime instabil und das Laserregime stabil. Das Laserregime entspricht einem kooperativen Verhalten der Atome und Photonen (s. Abb. 8).

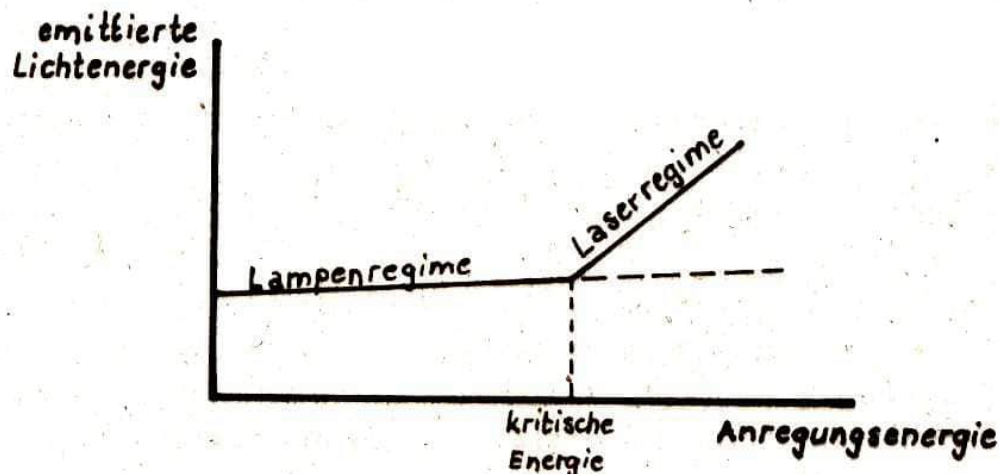


Abb. 8 Kinetischer Phasenübergang am Lasersystem

Informationskasten 3

Spontane und induzierte Emission

Unter Emission versteht man allgemein die Aussendung einer Strahlung durch leuchtende Körper (hier die aktiven Atome des Lasermediums).

Während die s p o n t a n e Emission z.B. als Lichtausstrahlung nach Ablauf der Lebensdauer eines angeregten Zustandes von Atomen o h n e äußeren Anlaß erfolgt, tritt die i n d u z i e r t e Emission beim Einfall von Strahlung auf Atome als Umkehrvorgang der Absorption auf. Die induzierte Emission ist die Grundlage des Lasers.

Vergleicht man Abb. 8 und Abb. 3 miteinander, so erkennt man eine deutliche Analogie des Verhaltens der Lichtleistung beim Laser und des Wärmestromes beim Bénard-Effekt. Man bezeichnet solche qualitativen Umschläge im Verhalten eines Systems als kinetische Phasenübergänge.

Sie treten im Zusammenhang mit Strukturbildungsprozessen nicht nur in völlig verschiedenen Gebieten der Physik auf, sondern, wie wir noch sehen werden, auch in Biologie, Chemie, Ökologie usw.

Die erläuterten Beispiele zu physikalischen dissipativen Strukturen sollen genügen, man könnte noch viele weiter anführen.

In der nächsten Folge werden wir uns mit chemischen dissipativen Strukturen beschäftigen und dann zur thermodynamischen Beschreibung komplizierterer Systeme, wie dem Kosmos, der Erde, Lebewesen und ökologischen Systemen kommen.

Die Computertechnik hält gegenwärtig in fast allen Bereichen unseres Lebens Einzug. Doch nicht nur Home- und Bürorechner zur Lohnabrechnung oder zum Fahrkartenkauf sind gefragt - in der Wissenschaft wie in der Industrie werden hochleistungsfähige Computer gebraucht, die nicht nur ein großes Speichervermögen haben, sondern vor allem auch schnell und effektiv eine gestellte Aufgabe bewältigen. Die Anwendung reicht von der Auswertung von Millionen Teilchenspuren bei kern- und elementarteilchenphysikalischen Aufnahmen über die biochemische Wirkungsweise neuer Medikamente bis hin zu Umströmung von Flugzeugprofilen oder Turbinenteilen.

Für den Bau von Hochleistungsrechner gibt es im Prinzip zwei verschiedene Möglichkeiten:

1. Verwendung von Hochgeschwindigkeits-Schaltkreisen,
2. Nutzung der Hochintegration.

Die weltbekanntesten und -schnellsten Supercomputer sind gegenwärtig die amerikanischen "Cray"-Rechner. Sie arbeiten mit extrem hohen Taktraten (über 80 MHz), wobei für die nächsten Jahre der Übergang zur Ga-As-Technologie vorgesehen ist, die noch kürzere Schaltzeiten gestattet.

Trotz alledem sind den Hochgeschwindigkeitsrechnern zwei Grenzen gesetzt: die endliche Ausbreitungsgeschwindigkeit der Signale (durch einen 3 cm langen Chip braucht das Signal wenigstens 1 ns, wenn wir 30 000 000 m/s (ein Zehntel der Lichtgeschwindigkeit) als Signalgeschwindigkeit rechnen) und die Schaltzeiten der Bauelemente, die ebenfalls durch die Bewegungsgeschwindigkeit von Ladungsträgern im Halbleiter begrenzt wird. Auch die optischen

oder optoelektronischen Rechner der nahen Zukunft besitzen diese prinzipiellen Grenzen. Bleibt als zweiter Weg die Hochintegration, die zudem noch billiger ist. Allerdings sind hier die Bauelemente langsamer.

Wie gelangt man zu noch höherer Leistungssteigerung? Die Antwort lautet: Parallelrechner. Man nehme mehrere (relativ langsame, billige) Rechner und schalte sie in geeigneter Weise zusammen. Eigentlich reicht auch schon, die Prozessoren zu verknüpfen. Doch da beginnt schon das Problem. Es gibt kein Universalrezept, nach welchem man die Rechner bzw. Prozessoren vereinigen muß. Die günstigste Lösung ist sehr problemabhängig.

Für Parallelrechner gibt es zwei Varianten: die sogenannten Vektorrechner und die Multiprozessoranlagen. Wir werden beide Möglichkeiten weiter unten ausführlich erläutern.

Das Prinzip, nachdem z.B. der U 880, den wir alle von KC85 oder vom PC1715 her kennen, arbeitet, ist die sogenannte von-Neumann-Architektur, die folgendes Operationsprinzip umfaßt:

1. Hole einen Befehl,
2. Entschlüssele den Befehl,
3. Hole die notwendigen Operanden,
4. Führe die Operation aus,
5. Speichere das Ergebnis,
6. Hole den nächsten Befehl (usw.).

Dementsprechend wird ein Programm (eine Folge von Befehlen) nacheinander Stück für Stück ausgeführt.

Die Schnelligkeit der Softwareabarbeitung kann wesentlich erhöht werden, wenn sogenannte Arithmetikprozessoren benutzt werden. Dauert beispielsweise die Addition zweier 4-Byte-Zahlen im U 880-System etwa 20 Befehlszyklen, so ist sie mit einem Arithmetikprozessor in nur einem Zyklus möglich. Derartige Prozessoren erlauben die Addition (Subtraktion), Multiplikation und logische Operationen von Mehr-Byte-Zahlen. Ein bekannter Vertreter ist der Intel 8087.

Charakteristisch für die Schnelligkeit ist die Anzahl der pro Sekunde bewältigten Gleitkomma-Operationen (FLOPS = floating operations per second). Da ein Chip aber höchstens eine Gleitkomma-Operation je Signaldurchlauf ausführen kann, liegt die Rechengeschwindigkeit bei 2.5 MFLOPS (Mega-FLOPS = 1 Million FLOPS). Benötigt werden aber z.B. für die Berechnung von Flugzeugumströ-

mungsprofilen etwa 10 GFLOPS (Giga-FLOPS = 1 Milliarde FLOPS). Um turbulente Strömungen mit ausreichender Sicherheit berechnen zu können, braucht man sogar Geschwindigkeiten um 10 TFLOPS (Tera-FLOPS = 1 Billion FLOPS). Ist der Rechner zu langsam, so wird die Computersimulation gegenüber dem "Probier"-Verfahren beispielsweise im Windkanal zu teuer.

Die Vektorrechner

Die erste Möglichkeit, einen qualitativen Sprung zu höheren Rechengeschwindigkeiten zu gelangen besteht - wie oben angeführt - in dem Bau von Vektorrechnern. Was darunter zu verstehen ist, wollen wir an einigen Beispielen illustrieren. Wir beziehen uns dabei der Einfachheit halber auf die Hochsprache BASIC, die den meisten Lesern vertraut sein dürfte.

Beispiel 1

Problem: Für die Funktion $f(x) = a * \sin(b * x^2)$ mit $a = 5$ und $b = 0.3$ ist die Wertetabelle für $x = 0, 0.1, \dots, 1.0$ zu berechnen.

Ein gewöhnliches BASIC-Programm würde etwa so aussehen:

```
10 A = 5 : B = 0.3
20 For I=0 TO 10
30 X = I / 10
40 F = A * SIN (B * X * X)
50 PRINT X,F
60 NEXT I : END
```

Bei Ausführung (RUN) listet das Programm die gesuchte Wertetabelle auf.

In einem Vektorrechner wird die Arbeit der FOR-Schleife auf mehrere Rechner verteilt. Nehmen wir an, wir haben zwei Rechner zur Verfügung, dann könnte ein Programm etwa folgendermaßen aussehen:


```

Rechner 1
10 A = 5 : B = 0.3
20 FOR I = 0 TO 10 STEP 2
30 X = I / 10
40 F = A * SIN (B * X * X)
50 PRINT X,F
60 NEXT I : END

```

```

Rechner 2
10 A = 5 : B = 0.3
20 FOR I = 1 TO 9 STEP 2
30 X = I / 10
40 F = A * SIN (B * X * X)
50 PRINT X,F
60 NEXT I : END

```

Eigentlich haben wir nur zwei Programme aufgestellt, die auf verschiedenen Rechnern gleichzeitig bearbeitet werden können und die sich darin ergänzen, die gesuchte Wertetabelle zu berechnen. Ein Vektorrechner muß auch die Signalübermittlung zwischen den einzelnen Prozessoren umfassen. D.h. beispielsweise, Zeile 10 braucht nur ein Rechner auszuführen, der dem zweiten Rechner das Ergebnis übermittelt (statt $A = 5 : B = 0.3$ könnten ja auch kompliziertere Ausdrücke stehen). Anschließend rechnen beide los. Nach Abarbeitung der Zeile 40 sollte der zweite Rechner dem ersten das Ergebnis melden und die Ausgabe `PRINT F,X` brauchte nur vom Rechner 1 übernommen zu werden.

Wir erkennen an diesem Beispiel schon folgendes:

1. Die Aufteilung auf mehrere Rechner ist nur für große I vorteilhaft.
2. Die Rechner müssen synchronisiert werden. (Rechner 1 ist noch mit der Ausgabe von zwei Wertepaaren X und F beschäftigt, während Rechner 2 schon den nächsten Funktionswert berechnen kann. Dann muß dieser aber warten, bis Rechner 1 seine Zeile 40 berechnet hat, um von Neuem die Ergebnisse übernehmen zu können.)

Beispiel 2

Problem: Es ist folgende Zahl X zu berechnen, wobei A vorgegeben sein soll:

$$X = \sin \left[\tan \left(e^{-\sqrt{\frac{1}{1+A^2}}} \right) \right].$$

BASIC - Programm:

```
10 INPUT A
20 B = 1 / (1 + 1 / (A * A))
30 C = EXP (- SQR (B))
40 D = TAN (C)
50 X = SIN (D)
60 PRINT X : END
```

In diesem Fall ist die Aufteilung der Rechnung auf mehrere Computer unzweckmäßig, da jede Zeile erst auf das Ergebnis der vorhergehenden warten muß.

Offensichtlich sind die Vektorrechner besonders gut geeignet, wenn FOR-Schleifen oder Zyklen durchlaufen werden.

Beispiel 3

Problem: Zur Berechnung von $y = \sqrt{x}$ kann folgendes iteratives Verfahren benutzt werden:

$$y_{i+1} = 1/2 * (y_i + x/y_i).$$

Man beginnt mit $y_1 = x$ und berechnet y_2 . Dann wird damit y_3 berechnet usw. Das Verfahren soll beendet werden, wenn sich y_{i+1} und y_i nur noch unwesentlich voneinander unterscheiden (innerhalb der Rundungsfehlergrenze des Rechners).

BASIC-Programm:

```
10 DIM Y(100)
20 INPUT X
30 Y(0) = X
40 I = -1
50 I = I + 1
60 Y(I+1) = (Y(I) + X / Y(I)) / 2
70 IF ABS(Y(I+1) - Y(I)) > 1E-06 THEN GOTO 50
80 PRINT Y(I+1) : END
```

Auch dieses Programm widerspricht dem Prinzip der Vektorrechner, da jede Iterationsschleife auf das Ergebnis der vorherigen angewiesen ist. Man versucht für den Einsatz auf Parallelrechnern derartige Iterationen zu vermeiden und sich das Ergebnis über

andere Algorithmen zu besorgen.

Beispiel 4

Problem: Für die Frequenzanalyse einer Funktion $F(X)$ sei die folgende Summe zu berechnen:

$$S = S(1) + S(2) + S(3) + S(4) + S(5) + S(6)$$

mit

$$S(I) = \frac{1}{2I-1} \sin(2\pi I/A) \cdot F(2\pi I/A),$$

wenn A eine vorgegebene Konstante und F eine beliebige, vorher definierte Funktion ist.

Programm für ein aus 3 Prozessoren bestehenden Vektorrechner:

Rechner 1	Rechner 2	Rechner 3
110 X1 = 2*PI*1/A	110 X1 = 2*PI*2/A	110 X1 = 2*PI*3/A
120 X2 = F(X1)	120 X2 = F(X1)	120 X2 = F(X1)
130 X3 = SIN(X1)	130 X3 = SIN(X1)	130 X3 = SIN(X1)
140 X4 = 1/(2*1-1)	140 X4 = 1/(2*2-1)	140 X4 = 1/(2*3-1)
150 S(1)=X4*X3*X2		
160 X1 = 2*PI*4/A	150 S(2)=S(1)+X4*X3*X2	
170 X2 = F(X1)	160 X1 = 2*PI*5/A	150 S(3)=S(2)+X4*X3*X2
180 X3 = SIN(X1)	170 X2 = F(X1)	160 X1 = 2*PI*6/A
190 X4 = 1/(2*4-1)	180 X3 = SIN(X1)	170 X2 = F(X1)
	190 X4 = 1/(2*5-1)	180 X3 = SIN(X1)
200 S(4)=S(3)+X4*X3*X2		190 X4 = 1/(2*6-1)
	200 S(5)=S(4)+X4*X3*X2	200 S(6)=S(5)+X4*X3*X2
		210 S = S(6)

Wie wir erkennen, ist die Arbeit recht effektiv und gleichmäßig auf die 3 Prozessoren verteilt.

Je mehr Prozessoren eingesetzt werden, umso besser muß sich der Algorithmus dafür eignen, da ansonsten uneffektiv gearbeitet wird. Die Vektorverarbeitung lohnt sich also nur dann, wenn die Rechenzeit für den seriellen Programmteil (das ist der Programmteil, der nur von einem Rechner ausgeführt werden kann - s. Bsp. 2 und 3) klein ist gegenüber der Zeit, die das "vektorierte"

Programm in Anspruch nimmt.

Die Verbesserung der Rechnerarchitektur vom von-Neumann-Rechner zum Vektorrechner zeichnet sich durch folgende Eigenschaften in der CPU (central processing unit - Zentrale Verarbeitungseinheit) aus:

1. Mehrere Speicherbänke erlauben einen parallelen Zugriff auf verschiedene Speicherbereiche und dadurch das gleichzeitige Laden und Speichern mehrerer Operanden und Resultate.
2. In sogenannten Befehlspuffern können jeweils mehrere Befehle geladen und parallel entschlüsselt werden.
3. Registrierspeicher in direkter Nachbarschaft zum Rechenwerk (CPU) erlauben einen besonders schnellen Zugriff auf Operanden.
4. Mehrere Funktionseinheiten (z.B. für Addition, Multiplikation, logische Operationen) können Befehle parallel ausführen.
5. Segmentierte Funktionseinheiten (sogenannte Pipelines) bearbeiten nach dem Fließbandprinzip mehrere Operationen parallel. Die Grundidee des Pipelining ist die Zerlegung einer komplexen Operation (z.B. die Addition) in eine Reihe einfacher Teiloperationen, die wie auf einem Fließband nacheinander ausführt werden können. Wenn beispielsweise in einer herkömmlichen Funktionseinheit alle vier Zeittakte ein Additionsergebnis geliefert wird, dann kann in einer Pipeline maximal nach jedem Takt ein Resultat ausgegeben werden, wenn in der Pipeline bei jedem Takt das Zwischenergebnis einen Platz "weiterrutscht". Um diese Leistungssteigerung abzusichern, müssen natürlich auch viermal mehr Operanden als gewöhnlich in der gleichen Zeit bereitgestellt werden. Dazu dienen sogenannte Vektorregister. Auch der Hauptspeicher ist in mehrere Segmente - die Speicherbänke - eingeteilt, auf die abwechselnd zugegriffen werden kann.

Die Parallelität der Vektorrechner besteht also in:

1. Paralleler Zugriff auf Speicher,
2. Paralleler Datentransport vom Speicher zu Registern,
3. Paralleler Zugriff auf Register,
4. Paralleles Bearbeiten von Operanden in einer Pipeline,
5. Paralleles Arbeiten verschiedener Funktionseinheiten (Pipelines).

Schon heute sind mit der Vektorrechner-Architektur mehr als 1 GFLOPS möglich.

1. Einleitung

Halbleiterbauelemente, angefangen von einfachen Dioden bis hin zu den modernen hochintegrierten Schaltkreisen, z.B. Speicherbauelemente von 1Mbit und 4Mbit, bestehen im wesentlichen aus schichtförmig angeordneten und lateral (seitlich, d.h. in der Schichtebene) strukturierten Halbleitergebieten verschiedener physikalischer Eigenschaften. Die Mikroelektronik der letzten 15 Jahre ist darauf gerichtet, bei zunehmender Größe der Halbleiterscheiben (Wafer) eine immer feinere Strukturierung in der Schichtebene (laterale Strukturierung) zu erreichen. Diese Forderung nach immer höheren Packungsdichten und damit nach immer kleineren Bauelementen führt notwendigerweise zu einer ständigen Weiterentwicklung der Technologie. In der Halbleiterindustrie unterscheidet man verschiedene technologische Niveaus nach den kleinsten Strukturweiten in der Schichtebene. Tabelle 1 gibt darüber einen Überblick, wobei neben dem Einführungsjahr (international) auch damit realisierte Speicherbauelemente (RAM: random access memory) aufgeführt wurden.

Technologisches Niveau	kleinste Strukturbreite in μm	Speicherkapazität	Einführungsjahr
LSI	3	64 Kbit	1981
(large-scale-integration)	2	256 Kbit	1984
VLSI	1.5	1 Mbit	1986
(very-large-scale integration)	0.8	4 Mbit	1988
ULSI	0.5	16 Mbit	ab 1990
(ultra-large-scale integration)			
GSI			ab 1995
(giga-scale-integration)			

Tabelle 1

Technologische Niveaus der Halbleiterbauelemente-Technologie bzgl. der lateralen Strukturierung.

Dabei gilt 1 Kbit = 2^{10} bit = 1024 bit und

1 Mbit = 1024 Kbit = 2^{20} bit = 1048576 bit

Mittels der ULSI-Technologie wird man in der Lage sein, ca. 10^9 Bauelemente pro Chip zu integrieren.

Die Erhöhung der Packungsdichte erfordert nicht nur eine Verringerung der lateralen Strukturbreite, sondern es ist auch eine Verringerung der entsprechenden Schichtdicken notwendig.

Dabei ist zu beachten, daß sich Unregelmäßigkeiten im Aufbau der Schichten (Baufehler) um so stärker auswirken, je dünner die Schichten sind. Neben der Packungsdichte ist die Schaltgeschwindigkeit der einzelnen Bauelemente ein wichtiger Parameter zur

Charakterisierung der Schaltkreise. Da in den meisten Bauelementen die quasi-freien Elektronen des Leitungsbandes zum Schalten genutzt werden, verringern sich die Schaltzeiten um so mehr, je kleiner die Abmessungen sind und je weniger die Elektronen durch Baufehler auf ihren Bahnen behindert werden. Weiterhin spielt dabei auch eine materialspezifische Größe, die effektive Masse m_e der quasi-freien Elektronen, eine entscheidende Rolle.

Der Großteil der elektronischen Bauelemente ist gegenwärtig aus dem Halbleitermaterial Silizium aufgebaut. Dieses Material, das auch einem Zentrum der Halbleiterindustrie in den USA, dem kalifornischen "Silicon-Valley", seinen Namen gab, hat zur Zeit einen Anteil von etwa 85% am Grundmaterialbedarf zur Herstellung elektronischer Bauelemente.

Trotz der großen Vielfalt von konventionellen Bauelementen auf Silizium-Basis, sind der Anwendung dieses Materials auf Grund seiner physikalischen Materialeigenschaften Grenzen gesetzt. Einer der wesentlichsten Gründe dafür liegt in der indirekten Bandstruktur des Silizium-Kristalls (Informationskasten 1).

Dadurch ist eine geringe Beweglichkeit der Ladungsträger im Leitungsband bedingt, was die erreichbare Schaltgeschwindigkeit und damit die Grenzfrequenzen von Silizium-Bauelementen begrenzt. Eine noch einschneidendere Tatsache ist, daß in Halbleitern mit indirekter Bandstruktur die Wahrscheinlichkeit für strahlende Rekombinationsprozesse so gering ist, daß solche Materialien für die Herstellung der für die Optoelektronik wichtigen lichtemittierenden Bauelemente nicht geeignet sind.

Für die Anwendung in der Optoelektronik, z.B. als Wellenleiter, elektrooptischer Wandler, lichtemittierende Dioden, Halbleiterlaser und Detektoren kommt den Verbindungshalbleitern der 3. und 5. Hauptgruppe (GaAs, InP, GaP, InAs, GaSb, AlAs) eine hohe Bedeutung zu (Tabelle 2). Ein Großteil dieser Verbindungen besitzt eine direkte Bandstruktur (Informationskasten 1) und ihre Elektronenbeweglichkeiten sind weitaus höher als in Silizium. Infolgedessen ist es heute möglich, auf der Basis der 3-5-Verbindungshalbleiter eine Vielzahl sowohl opto- als auch mikroelektronischer Bauelemente herzustellen, die völlig neuartige physikalische Effekte und Wirkprinzipien ausnutzen. Die wichtigste Voraussetzung dafür sind neue Schichtherstellungsverfahren wie die Molekularstrahlepitaxie (Abschnitt 4), mit deren Hilfe nahezu ideale 3-5-Halb-

leiterschichten mit beliebiger vorherbestimbarer Zusammensetzung (z.B. $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$, $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_{1-y}\text{P}_y$ $0 \leq x, y \leq 1$) hergestellt werden können.

Halbleiter	Bandtyp	E_g (eV)	λ_g [μm]	a (nm)
GaAs	direkt	1.425	0.87	0.5653
AlAs	indirekt	2.160	0.57	0.5661
InAs	direkt	0.360	3.44	0.6057
InP	direkt	1.350	0.92	0.5869
InSb	direkt	0.170	7.29	0.6479
GaP	indirekt	2.260	0.55	0.5451
GaSb	direkt	0.730	1.70	0.6095
AlSb	indirekt	1.650	0.75	0.6135

Tabelle 2

Bandlückenenergie E_g , Wellenlänge der Bandkante $\lambda_g = hc/E_g$ und Gitterkonstante a binärer 3-5-Halbleiter

Dieser und die folgenden Beiträge sollen einige physikalische Grundvorstellungen von der Wirkungsweise dieser als Halbleitermikrostrukturen bezeichneten Systeme vermitteln.

Neben den physikalischen Grundlagen werden auch die Herstellung und die Anwendung der Halbleitermikrostrukturen diskutiert. Eine Besonderheit dieser Strukturen im Unterschied zu den konventionellen Silizium-Bauelementen besteht darin, daß opto- und mikroelektronische Bauelemente auf einem Chip integriert werden können. Die Entwicklung und Herstellung der verschiedenen Halbleitermikrostrukturen hat zu einer qualitativ neuen Stufe des Zusammenwirkens von Theoretischer Physik, Experimentalphysik und kom-

merzieller Anwendung geführt, was die dazugehörigen Technologien als Hochtechnologien ausweist.

2. Heteroübergang

Die 3 - 5 - Verbindungs Halbleiter, die zu Beginn der 50er Jahre von H. Welker in den Siemens-Forschungslaboratorien entdeckt wurden, sind die Grundlage der Bauelemente, die im weiteren besprochen werden sollen. Die große Anwendungsvielfalt dieser Materialien resultiert unter anderen daraus, daß ternäre und quaternäre Mischkristalle, d.h. solche, die aus drei bzw. vier chemischen Elementen bestehen, hergestellt werden können.

Eine große Bedeutung besitzt das System GaAs-Ga_{1-x}Al_xAs. Da GaAs ein direkter, AlAs jedoch ein indirekter Halbleiter ist, erhält man nur für Werte des Mischungsparameters im Bereich $0 \leq x \leq 0.4$ einen Mischkristall mit direkter Bandstruktur. In diesem Bereich variiert der Bandabstand entsprechend:

$$E_g(x) = (1.425 + 1.247 x) \text{ eV}$$

Damit ist auch eine Änderung der Brechzahl n und der Gitterkonstanten a des Halbleiters Ga_{1-x}Al_xAs in Abhängigkeit vom Mischungsparameter x verbunden. Letztere ist durch:

$$a = (0.56533 + 0.00078 x) \text{ eV}$$

gegeben.

Fügt man nun kristalline Schichten unterschiedlicher Verbindungs Halbleiter zusammen, dann erhält man eine H e t e r o s t r u k - t u r. Die modernen Bauelemente der Mikro- und Optoelektronik basieren auf Heterostrukturen, d.h. einer Folge dünner einkristalliner Schichten unterschiedlicher Zusammensetzung, die auf einer Substratscheibe aufgewachsen sind.

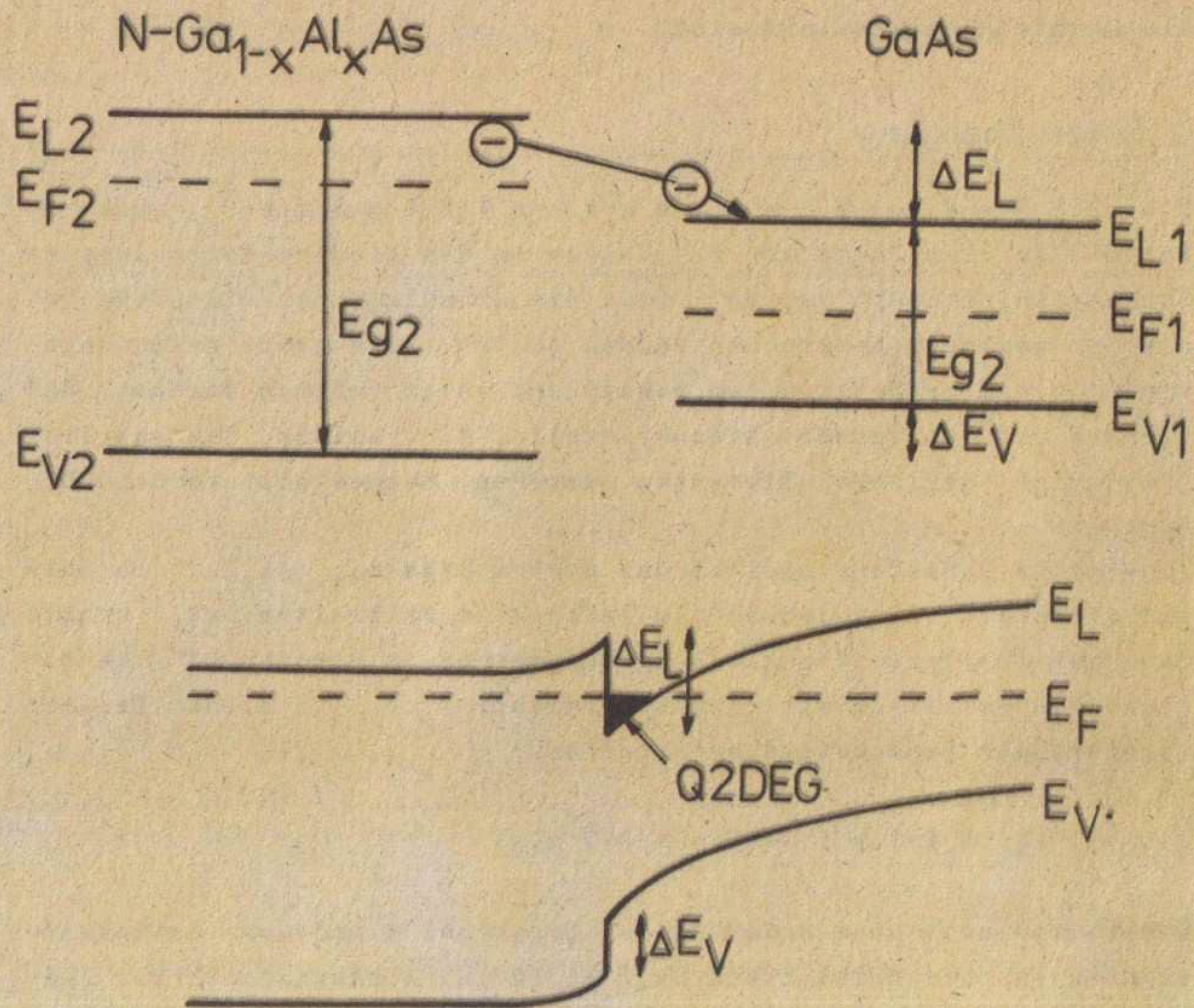


Abb. 1

Schematische Darstellung des räumlichen Verlaufs der Leitungs- und Valenzbandkante ($k=0$: Γ -Punkt) am Heteroübergang GaAs/N-Ga_{1-x}Al_xAs.

E_F ist die Fermi-Energie, d.h. die Energie, die mit Elektronen besetzte von unbesetzten Bändern trennt.

Homoübergang

Übergänge in ein und demselben Kristall durch verschiedene Dotierung ; z.B. p-n-Übergang : p-Si/n-Si

Heteroübergang

Übergänge zwischen verschiedenen Halbleitern gleicher (isotyp) oder verschiedener Dotierung (anisotyp);

z.B.: $n\text{-GaAs}/N\text{-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$: isotyp

$p\text{-GaAs}/N\text{-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$: anisotyp

Es ist üblich, den Leitungstyp des Halbleiters mit der größeren Bandlücke mit Großbuchstaben (N,P) zu bezeichnen.

In Abb.1 ist der Heteroübergang zwischen GaAs und $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ schematisch dargestellt. Ausgehend von den beiden Materialien mit den Bandabständen E_{g1} und E_{g2} muß am Heteroübergang ein Sprung $dE_g = E_{g2} - E_{g1}$ an den Bandrändern erfolgen. Dieser Sprung verteilt sich auf die Leitungsbandkante dE_L und die Valenzbandkante dE_V . Auf Grund der Leitungsbandunstetigkeit dE_L an der Heterogrenzfläche gelangen Elektronen aus dem Leitungsband E_{L2} ins energetisch tieferliegende Niveau E_{L1} . Infolgedessen entsteht an der Heterogrenzfläche in Schicht 1 durch die zufließenden Elektronen eine negativ geladene Raumladungsschicht und gleichzeitig in Schicht 2 eine an Elektronen verarmte, positiv geladene Raumladungsschicht, die durch die ortsfesten ionisierten Donatoratome gebildet wird. Mit diesen Raumladungen sind nach den Gesetzen der Elektrostatik elektrische Felder verbunden. Diese Felder binden die Elektronen an die Heterogrenzfläche und beeinflussen ihre Bewegung senkrecht dazu. Die Bewegung der Elektronen parallel zur Heterogrenzfläche bleibt dabei jedoch unbeeinflusst. Im Bild des Bändermodells erzeugen die durch die Raumladungen verursachten Felder eine Bandverbiegung (Abb.1). Zusammen mit der Potentialbarriere für die Elektronen an der Heterogrenzfläche, der Leitungsbandunstetigkeit, entsteht damit ein **e i n d i m e n s i o n a l e r P o t e n t i a l t o p f** für die Elektronenbewegung senkrecht zur Heterogrenzfläche. Da die Elektronenbewegung jetzt nur noch in zwei Dimensionen frei ist, d.h. parallel zur Heterogrenzfläche, spricht man von einem **q u a s i - z w e i d i m e n s i o n a l e n - E l e k t r o n e n g a s** (Q2DEG, unter einem Elektronengas versteht man die Gesamtheit der Elektronen im Leitungsband). Dabei resultiert das Wort "quasi" daher, daß der

Potentialtopf eine endliche Dicke hat. Im Grenzfall eines unendlich dünnen Potentialtopfes liegt ein exaktes 2DEG vor. Die typischen Abmessungen der auftretenden Potentialtöpfe betragen 5 bis 100nm. Da diese Abmessungen in der Größenordnung der de Broglie Wellenlänge der Elektronen $\lambda_0 = h/(m_e v)$ liegen, wobei v die Elektronengeschwindigkeit ist, werden Quanteneffekte wirksam. In diesem Zusammenhang spricht man von "Größenquantisierung". Im Ergebnis dieser Größenquantisierung können die Elektronen bei ihrer gehemmten Bewegung senkrecht zu den Heterogrenzflächen nicht mehr alle Energien annehmen, sondern nur noch diskrete Energiewerte. Diese Energiewerte heißen Subbänder (Abb.2).

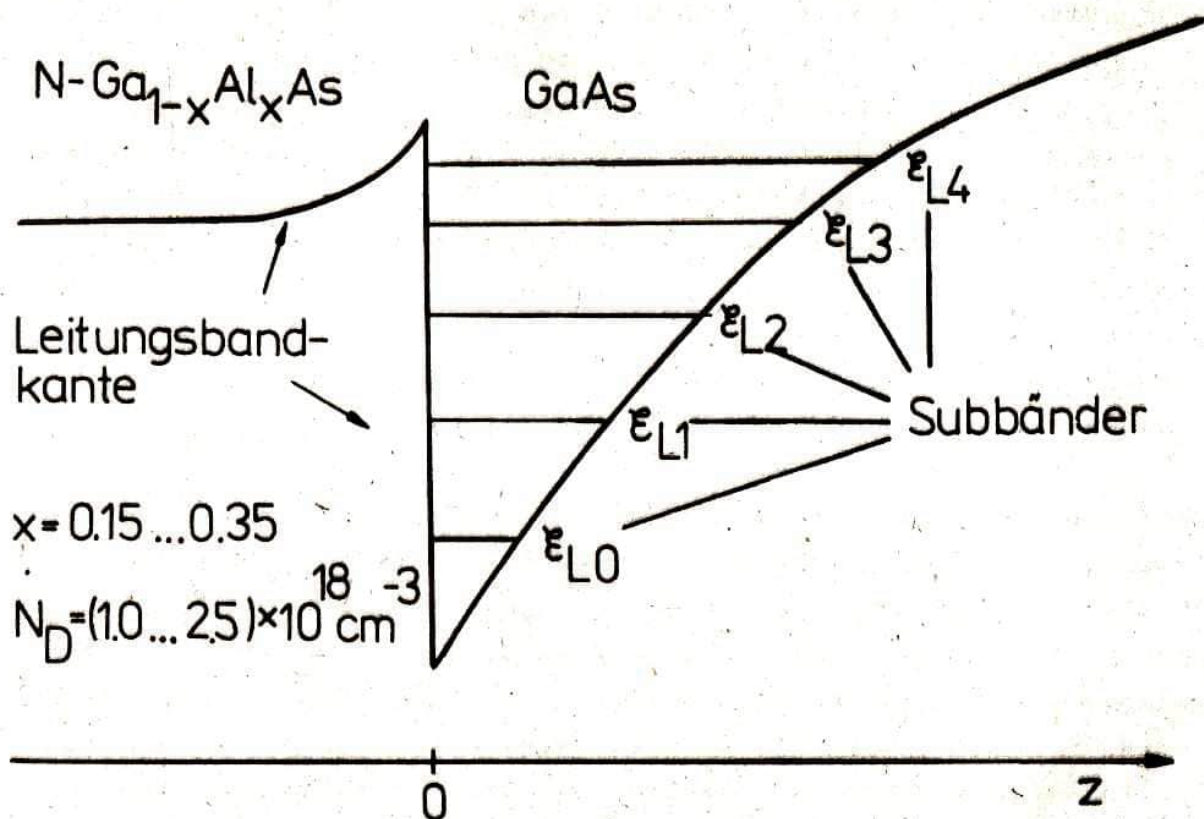


Abb.2 Subbandstruktur des Heteroübergangs GaAs/N-Ga_{1-x}Al_xAs
Im einfachsten Fall, der Näherung der Leitungsbandkante durch ein Dreieckspotential, hat man für das Potential :

$$V(z) = \begin{cases} eFz & \text{für } z > 0 \\ \infty & \text{für } z < 0 \end{cases}$$

wobei F das elektrische Feld an der Heterogrenzfläche ist. Die Subbandenergien E_{LK} sind näherungsweise durch :

$$E_{LK} = ((eFh/(2\pi))^2/(2m_0))^{1/3} (3\pi/2(k+3/4))^{2/3}$$

$$k=0,1,2,\dots$$

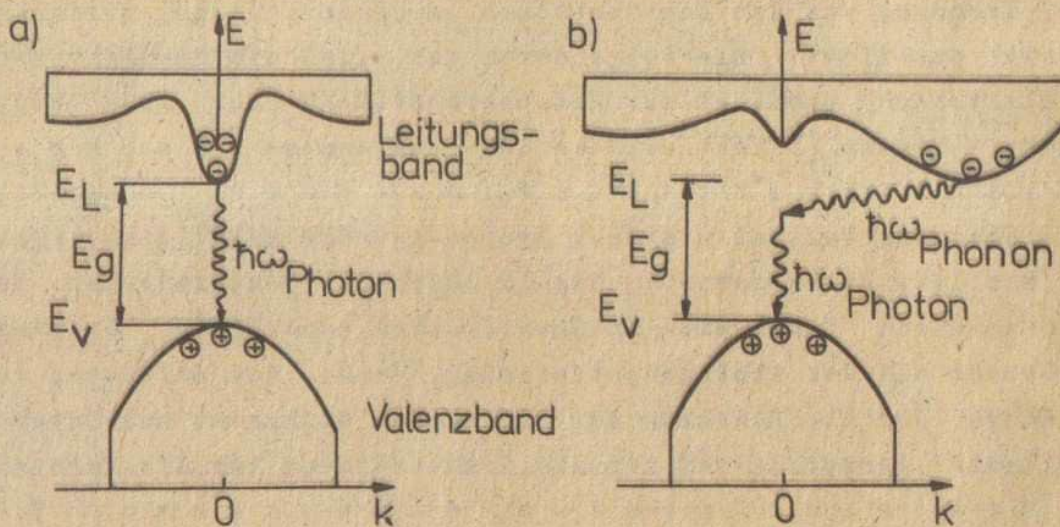
gegeben.

Das Q2DEG hat auf Grund der durch die Größenquantisierung reduzierten Dimension ganz andere Eigenschaften als ein 3DEG. Eine besteht darin, daß der ganzzahlige und der gebrochene quantisierte Hall-Effekt auftreten, worüber bereits im Heft 5/86 berichtet wurde. Für die Anwendung in Bauelementen kommen im wesentlichen zwei Grundeffekte zum Tragen.

Der eine ist damit verbunden, daß sich das Q2DEG durch die räumliche Trennung von den Donatoratomen in einem nahezu perfekten Kristall ausbildet. Die Folge davon ist, daß die Beweglichkeit der Elektronen parallel zur Heterogrenzfläche sehr hohe Werte erreicht. Dieser Effekt wird in den sogenannten Hochgeschwindigkeitsbauelementen ausgenutzt. Der wichtigste Vertreter dieser Gruppe ist der HEMT (high electron mobility transistor), der im Abschnitt 3 ausführlich beschrieben wird. Der zweite in Bauelementen angewendete Grundeffekt beruht auf der Größenquantisierung, d.h. dem Auftreten von Subbändern für die Bewegung der Elektronen senkrecht zur Heterogrenzfläche: Dieser Effekt ist die Voraussetzung für die Herstellung optoelektronischer Bauelemente wie z.B. der Quantum-Well-Laser (siehe dazu die folgenden Abschnitte 5 und 6).

Bandstruktur direkter und indirekter Halbleiter

Die Elektronen eines einzelnen Atoms können nur bestimmte diskrete Energiewerte annehmen, die man Energieniveaus nennt. Diese Aussage macht schon das einfache Bohrsche Atommodell. Fügt man viele Atome in einer periodischen Anordnung zu einem kristallinen Festkörper zusammen, so entstehen aus den Energieniveaus der einzelnen Atome Energiebänder. Die Gesamtheit dieser Energiebänder bezeichnet man als Bandstruktur. Sie beinhaltet die Abhängigkeit der Energie der Elektronen vom Wellenzahlvektor k : $E_{\mu} = E_{\mu}(k)$ mit $k = 2\pi p/h$ (p : Impuls, h : Plancksches Wirkungsquantum, μ : Bandindex). Wegen des periodischen Kristallaufbaus variiert k nur innerhalb eines begrenzten Bereiches, der als erste Brillouin-Zone bezeichnet wird.



Das energetisch höchstliegende noch mit Elektronen gefüllte Band heißt Valenzband (E_V), das nächst höhere, im Gleichgewicht unbesetzte Band heißt Leitungsband (E_L). Der energetisch verbotene Bereich zwischen E_V und E_L ist die Bandlücke E_g . Der energetisch niedrigste Punkt des Leitungsbandes wird als Leitungsbandkante und der energetisch höchste Punkt des Valenz-

bandes als Valenzbandkante bezeichnet.

Gelangt ein Elektron (-) vom Valenz- ins Leitungsband, dann bezeichnet man den freien Platz im Valenzband als Loch (+). Die Betrachtung des einen Loches im Valenzband ist der Betrachtung aller verbleibender Elektronen im Valenzband äquivalent.

Wenn ein äußeres elektrisches Feld auf die Elektronen (Löcher) einwirkt, dann bewegen sie sich im Halbleiter nicht wie freie Teilchen mit $E = (\hbar/(2\pi))^2 k^2 / (2m_0)$ ($m_0 = 9,108 \cdot 10^{-31}$ kg : Ruhemasse eines freien Elektrons). Die periodischen Potentialfelder der Kristallstruktur bedingen die $E_{\mu}(k)$ -Verläufe. Es ist jedoch möglich, die Bewegung der Elektronen (Löcher) in der Nähe der Extrema von Valenz- und Leitungsband mit Hilfe der Effektivmassennäherung durch $E_{\mu} = (\hbar/(2\pi))^2 k^2 / (2m_{\mu})$ zu beschreiben. Dabei ist die Eigenschaft des Kristalls in der effektiven Masse der Elektronen m_e (Löcher m_h) enthalten. Man bezeichnet dann die Elektronen bzw. Löcher als quasi-frei.

Ist das Leitungsbandminimum bei $k=0$ (Γ -Punkt) das niedrigste, spricht man von einem direkten, im anderen Fall von einem indirekten Halbleiter. Bei Übergängen von Elektronen vom Valenz- ins Leitungsband müssen die Bedingungen der Energie- und Impulserhaltung erfüllt sein. Direkte (senkrechte) Übergänge, bei denen sich der Impuls des Elektrons nicht ändert, sind unter Beteiligung von einem Photon allein möglich, da dessen Impuls $\hbar/2\pi k_{\text{Photon}}$ vernachlässigbar klein ist. Bei einem indirekten Übergang ändert sich der Impuls des Elektrons, so daß zur Impulserhaltung noch ein weiteres Teilchen, z.B. ein Phonon (Energiequant einer Gitterschwingung) mit einbezogen werden muß. Die Wahrscheinlichkeit eines solchen Mehrteilchenprozesses ist aber wesentlich geringer als die für einen direkten Übergang (ohne Phononenbeteiligung). Deshalb ist eine wirksame Lichtemission durch Rekombination der Elektron-Loch-Paare (Elektron fällt unter Emission eines Photons mit $f = E_g/h$ in das Valenzband zurück) nur in direkten Halbleitern möglich.

Wissenswertes:

Sprachverarbeitung mit dem Computer – auch in naher Zukunft noch ein Problem

Weil die Sprache für uns so selbstverständlich ist, machen wir uns im allgemeinen wenig Gedanken, warum wir uns so gut verstehen – wenigstens sprachlich. Es ist bemerkenswert, wie gut die Verständigung klappt, wo doch jeder Mensch die Wörter etwas anders ausspricht und das oft nicht einmal vollständig. Ferner spielt die Betonung eines Satzes oder der Zusammenhang mancher Worte eine besondere Rolle und kann den Sinn des Satzes vollkommen ändern.

Daß wir trotzdem nicht andauernd aneinander vorbeireden, ist darauf zurückzuführen, daß das Hören ein aktiver Vorgang ist. Der Zuhörer folgt den Gedanken des Sprechenden und stellt daraus unwillkürlich Vermutungen über den weiteren Inhalt des Satzes an. Darüberhinaus ist unsere Sprache redundant aufgebaut. Sie verwendet mehr Zeichen, als für die Übermittlung des Inhalts eigentlich notwendig wären. Dadurch können Fehler leicht beseitigt werden.

Wie wichtig diese Redundanz ist, merkt man erst, wenn sie fehlt, z.B. bei Eigennamen. Jeder, der schon einmal am Telefon einen fremden Namen genannt bekommen hat, kennt das.

Die sprachliche Verständigung ist also ein höchst komplexer Vorgang, der noch dazu in Echtzeit ablaufen muß. Dem Computer das "Hören" und "Sprechen" beizubringen, ist somit keine einfache Aufgabe. Bisher existiert noch kein Computer, mit dem jeder Mensch reden kann, wie ihm oder ihr der Schnabel gewachsen ist.

Im Gegensatz zu der im Rechner verwendeten binären Datenstruktur, die man natürlich auch akustisch umsetzen kann, zum Beispiel in einen tiefen und einen hohen Ton, besteht die menschliche Sprache dagegen aus einem breiten Spektrum von Schallwellen, welches individuell verschieden ist.

Gegenwärtig werden für die Spracherkennung zwei Wege beschritten: sprecherabhängige und sprecherunabhängige Systeme. Erstere werden auf die Variation der Aussprache eines Sprechers speziell

trainiert. Damit der Computer den Satz versteht, muß er derzeit noch stockend gesprochen werden, indem zwischen den einzelnen Wörtern klar definierte Pausen gemacht werden. Man ist dabei, Systeme zu entwickeln, die fließend gesprochene Sätze verstehen. Der Vorteil der Datenerfassung über gesprochene Worte ist die höhere Geschwindigkeit gegenüber der Eingabe über die Tastatur. Es gibt bereits Systeme, die für einen bestimmten Sprecher einige hundert Kommandos verstehen.

Die sprecherunabhängigen Systeme sind weitaus aufwendiger, denn sie müssen Worte erkennen, die jeder Mensch anders ausspricht und sogar ein und derselbe nicht immer gleich. Die Leistung solcher Systeme bleibt bisher auf einen engen Wortschatz begrenzt.

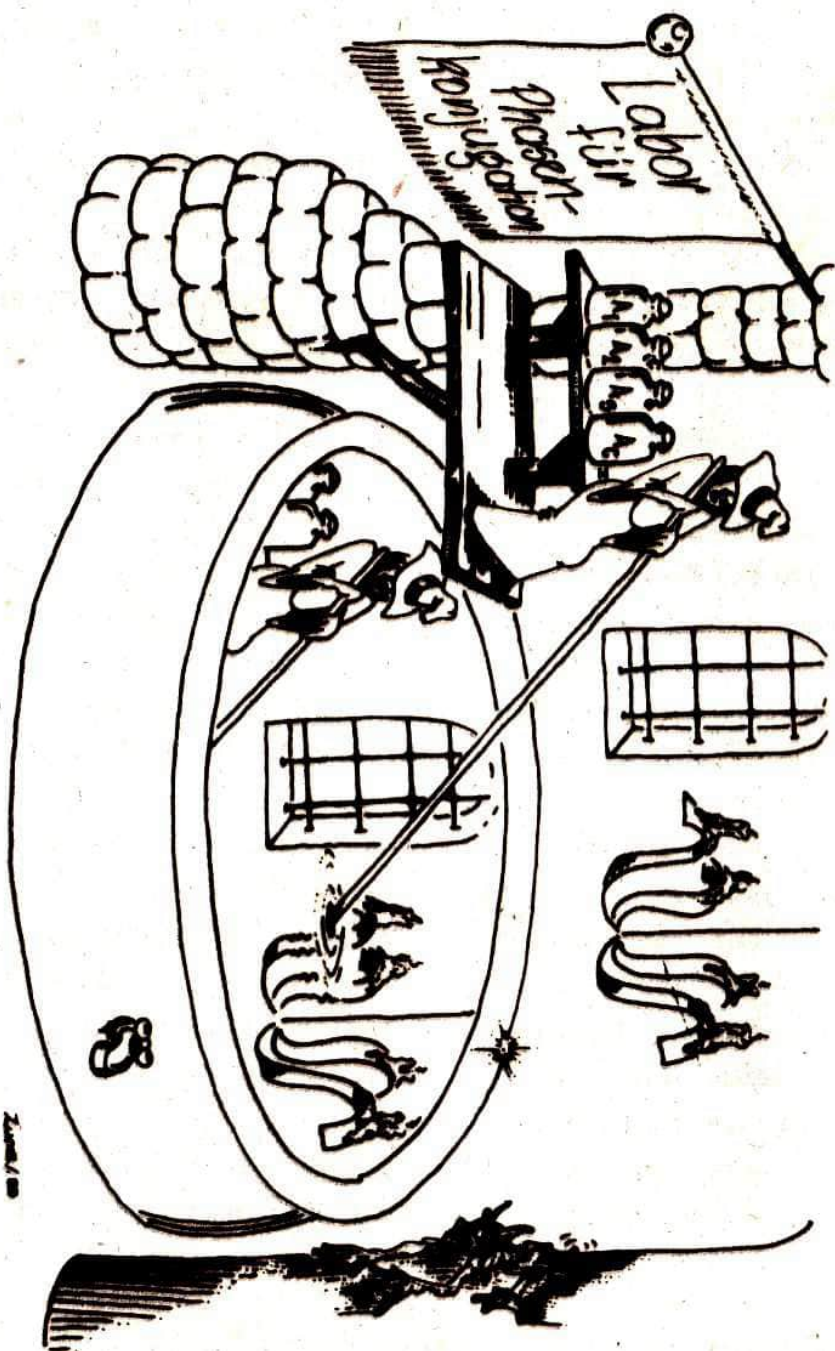
Gleichgültig, wie umfangreich der Wortschatz auch sein mag, er muß irgendwie gespeichert werden. Dafür gibt es zwei Arten. Man speichert entweder ein Abbild der Wellenformen oder zerlegt das Signal in charakteristische Merkmale und speichert nur diese ab. Die erste Methode hat zwei wesentliche Nachteile. Sie braucht viel Speicherkapazität und eignet sich nicht zur Umsetzung der "gelernten" Worte in Sprache, hat aber den Vorteil, sehr schnell zu sein. Die zweite Methode muß gleichzeitig die Welle aufnehmen, digitalisieren und entsprechend verarbeiten, bevor die Merkmale gespeichert werden können, ist also langsamer.

Die Spracherzeugung nun läuft in drei Stufen ab: Die "Erzeugung" der Töne, deren Modulation und schließlich die Ausgabe. Frequenzgeneratoren, Rauschgeneratoren und Filter bilden die Funktionen des menschlichen Sprachapparates nach. Eines der ältesten Verfahren namens Parcor untersucht die Sprache auf charakteristische Merkmale und bildet diese nach. Es kommt mit niedrigen Datenraten aus, ist allerdings sprecherabhängig und in der Qualität begrenzt.

Die Sprachverarbeitung auf Computern hat sich nicht so stürmisch entwickelt, wie noch vor einigen Jahren angenommen wurde. Fähigkeiten dieser Systeme reichen bisher nur für wenige Anwendungsbereiche. Wenn die Schwierigkeiten erst einmal überwunden sein werden, dürfte sich eine Fülle von Anwendungen eröffnen.

(nach "CHIP" 3/88)

pk



— Meine 4-Wellen-Mischung steht aus, als ob sie fertig sei.

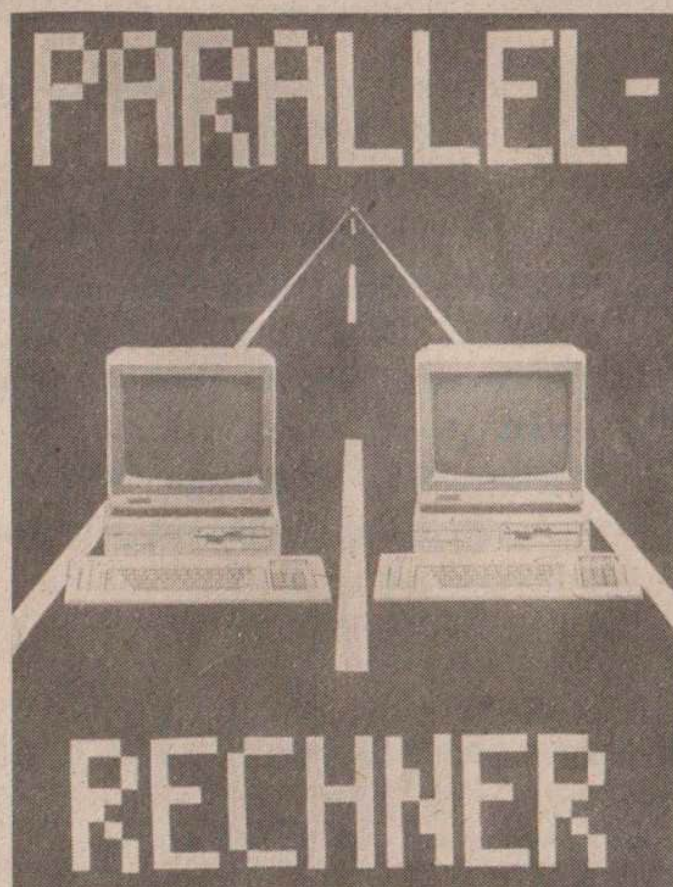
impuls

Schülerzeitschrift für
Physik, Chemie und Biologie

5/88

68

(22. Jg.) Preis 60 Pf.
INDEX 322004 ISSN 0232-9220



Die Parallelrechner kommen!



Peter Kroll	Die Parallelrechner kommen! (Schluß)	3
	WISSENSWERTES	8
Dr. Elke Wendler	Quantum-Wells und Supergitter –	
Dr. Lutz Wendler	neue Halbleiterstrukturen für Mikro- und	
	Optoelektronik (Teil 2)	9
Karsten König	Selektive Photochemotherapie von Tumoren	22
Andreas Erdmann	Nichtlineare Optische Phasenkonjugation	
Dr. Lutz Wenke	(Schluß)	30
	Erich-Correns-Schülerpreis mit	
	Ausschreibung, Aufgabenstellung und Teil-	
	bedingungen	39
	BÜCHERMARKT	47

impuls 68 – SCHÜLERZEITSCHRIFT FÜR PHYSIK, CHEMIE UND BIOLOGIE

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

Die Zeitschrift erscheint im Eigenverlag der Redaktion „impuls 68“

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

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

Erscheinungsweise: zweimonatlich

Heftpreis: –,60 M

Bezugsmöglichkeiten: durch den Postzeitungsvertrieb

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

Chefredakteur: Andreas Erdmann, stellv. Chefredakteur: Karsten König

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

Gestaltung: Erdmann, Kroll, Rodriguez

Redaktionsschluß: 14. 7. 1988

Titelbild: Photomontage von Jens Thole

Die Knotenrechner oder eigentlichen Vektorrechner

Wir wenden uns nun den Multiprozessor-Systemen zu, die aus mehreren identischen Einzelrechnern, sogenannten Knotenrechnern bestehen, die gemeinsam eine Aufgabe bearbeiten können und untereinander zur Kommunikation vernetzt sind. Es lassen sich zwei große Klassen von Multiprozessor-Systemen unterscheiden:

1. Systeme mit gemeinsamem Hauptspeicher (shared common memory).
2. Jeder Prozessor verfügt über einen lokalen Speicher.

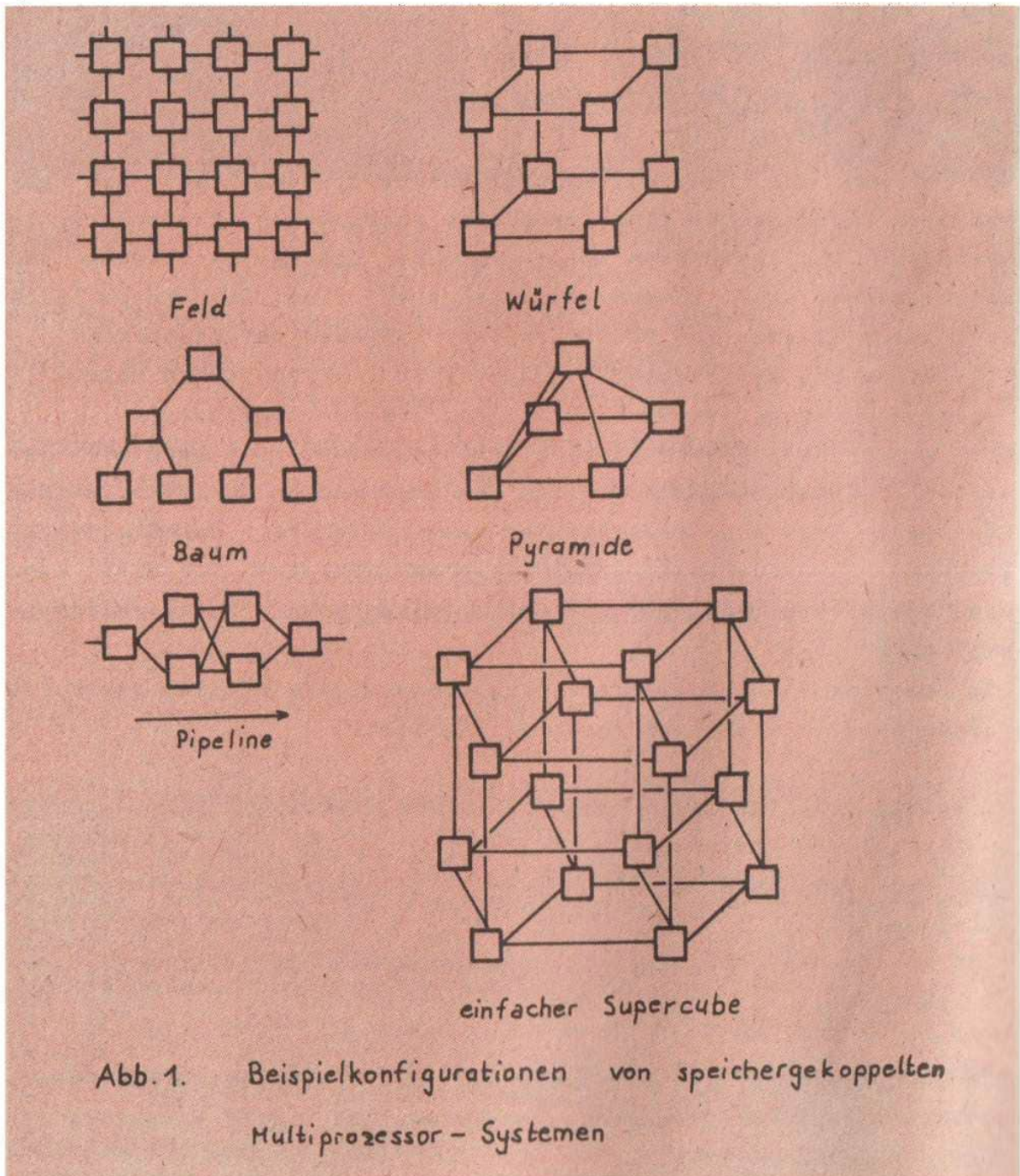
Die zweite Klasse scheint sich durchzusetzen. Der Nachteil der ersten besteht in dem Auftreten von sogenannten Hotspots (heißen Flecken). Das sind Bereiche des Hauptspeichers, auf die viele Prozessoren versuchen, gleichzeitig zuzugreifen. Tun dies mehr als zwei Prozent der Prozessoren, treten schon "Netzverklemmungen" auf.

Die Leistung eines Vielprozessor-Systems wird vor allem durch die folgenden vier wichtigen Faktoren bestimmt:

1. Leistungsfähigkeit der einzelnen Prozessoren,
2. Anzahl der Prozessoren,
3. Kommunikationsfähigkeit und -struktur der Prozessoren untereinander,
4. Grad der Anpassung des Algorithmus an die vorliegende Rechnerarchitektur.

Für den Anwender, der mit einem Multiprozessor-System mit vorgegebener Anzahl der Prozessoren auskommen muß, sind besonders die Punkte 3 und 4 wichtig.

Die Kommunikation der einzelnen Prozessoren wird über direkte Verbindungen zwischen ihnen (genauer: zwischen ihren lokalen Speichern) realisiert. Die Vernetzung kann vollständig sein (so genannte vollständige Crossbars), was sehr teuer ist, oder in einer bestimmten Struktur realisiert werden (unvollständige Crossbars), die einfacher zu handhaben sind und sich für bestimmte Algorithmenklassen besonders gut eignen. Man unterscheidet insbesondere Feld-, Baum-, Pyramiden- und Hypercube-Strukturen (s. Abb. 1).



Um eine hohe Leistungsfähigkeit zu erreichen, muß das anstehende Problem parallelisierbar sein, d.h., der Grad der Zerlegbarkeit in Teilaufgaben muß möglichst hoch sein. Das ist eine echte Herausforderung für die zukünftigen Software-Entwickler. Neue Algorithmen wie auch parallel arbeitende Programmiersprachen werden notwendig.

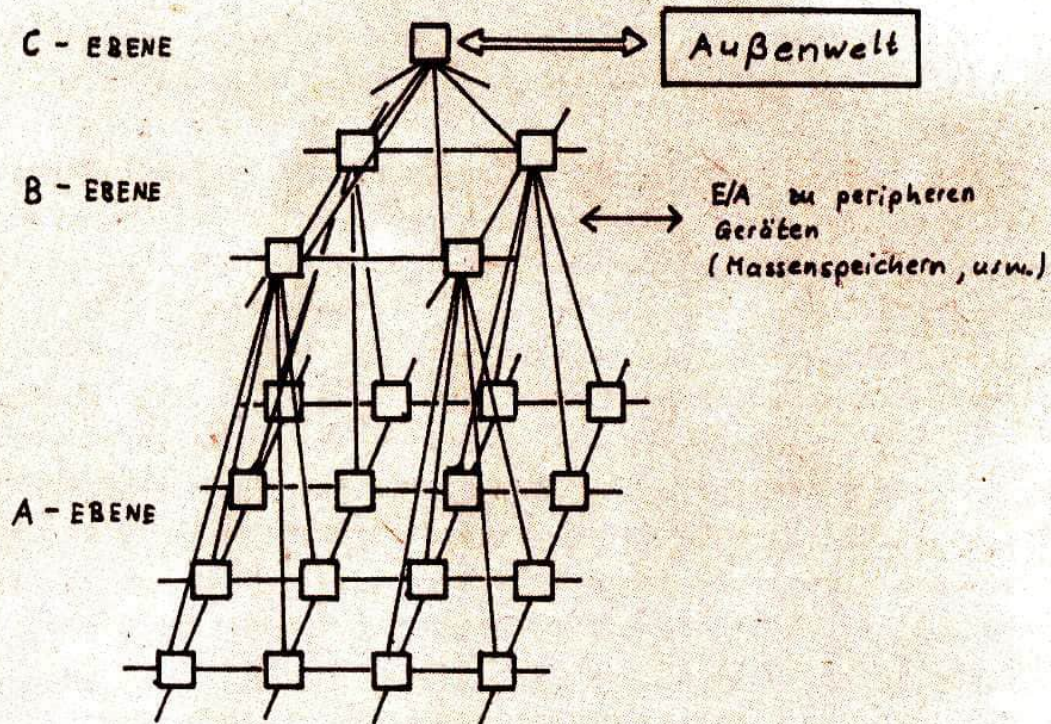


Abb. 2.: Modulares, erweiterbares Multiprozessor-System

Die Abbildung der Aufgabe auf das Multiprozessor-System erfolgt so, daß der Gesamttraum des Programms in so viele Teile untergliedert wird, wie der Multiprozessor (Arbeits-)Knotenrechner hat. Benachbarte Teilprogramme werden auf benachbarten Knotenrechnern bearbeitet. Der lokale Datenaustausch geschieht zwischen den benachbarten Knotenrechnern so schnell wie der Zugriff auf den eigenen Speicher. Für abschließende Berechnungen, Entscheidungen und anderes sind Datenübertragungen über längere Distanzen notwendig. Diese globalen Kommunikationsvorgänge sind jedoch viel seltener als die lokalen. Eine derartige mögliche Pyramidenstruktur ist in Abb. 2 dargestellt. Die Arbeitsknotenrechner befinden sich in der A-Ebene und sind jeweils über vier lokale Kommunika-

tionspfade vernetzt. Der A-Ebene ist die Betriebssystem-Ebene (B-Ebene) mit einem Bussystem für die globale Kommunikation überlagert. Sie übernimmt auch "Verwaltungsaufgaben", fehlerorientierte Funktionen und den E/A - Betrieb. Die Spitze der Pyramide bildet die C-Ebene als Interface zur Kommunikation mit der Außenwelt, deren Prozessor vor allem Kontrollfunktionen ausübt. Aus Fehler-toleranzgründen ist er dreifach ausgelegt.

Ein System von z.B. 256 (1024) Knotenrechner in der A-Ebene und 64 (256) Prozessoren in der B-Ebene kann eine Leistung von 2.5 (10) GFLOPS erreichen.

Algorithmen, die sich nach dem Prinzip "Teile und Herrsche" parallelisieren lassen, also eine Berechnung in zwei unabhängige Teilaufgaben mit gleicher Komplexität aufzuteilen gestatten, werden vorteilhaft mit einer Baumstruktur bearbeitet. Bei einer optimalen Aufteilung wird die eigentliche Rechnerarbeit in den Blättern des Baumes durchgeführt. Die ideale Kommunikationsstruktur für den Baumrechner ist die "Welle". In der ersten Stufe der Welle werden die Daten von der Wurzel des Baumes in die Richtung der Blätter verteilt. In der zweiten Stufe werden die rechenzeit-intensiven Operationen in den Blättern durchgeführt und schließlich werden in der dritten Stufe die Daten wieder in Richtung der Wurzel zusammengefaßt.

Einfache Algorithmen bestehen oft aus einer einzigen Welle, während komplexe Probleme meist aus mehreren Wellen zusammengesetzt sind.

Die Anwendung der Knotenrechner erstreckt sich auf ein weites Gebiet. Für die Berechnung von Strömungsverhältnissen wird der zu untersuchende Bereich mit einer großen Zahl von Punkten überdeckt, wobei die hydrodynamischen Gleichungen für jeden Punkt unter Berücksichtigung der Verhältnisse in der Umgebung gelöst werden. Ein herkömmlicher Computer berechnet nacheinander die Gleichungen für jeden Punkt. Der Vorteil des Knotenrechners liegt auf der Hand, wenn wir jedem Punkt in der Strömung einen Rechner zuordnen. Haben wir n Punkte, dann steigert sich die Rechengeschwindigkeit maximal um das n -fache. Je nach Genauigkeitsforderung und Kompliziertheit der lokalen Verhältnisse in der umströmten oder durchströmten Figur sind zwischen 20 und 10 000 Punkte notwendig. Komplexe Berechnungen in der Meteorologie warten auch geradezu auf den Einsatz von Parallelrechnern. Ein

globales Punktenetz, daß noch dazu in verschiedene Höhenschichten untergliedert sein muß, würde Millionen Knotenrechner benötigen, damit wir das Atmosphärengeschehen wenigstens für einige Tage mit hinreichender Sicherheit modellieren könnten.

Ausblick

Es ist nicht schwer zu erkennen, daß in den Parallelrechnern eine enge Verflechtung von Hardware (Anzahl und Qualität der Prozessoren und Netzstruktur) und Software (vorteilhafte Algorithmen) notwendig ist.

Ein grundlegend andersartiges Prinzip basiert deshalb auf Modellvorstellungen aus der Neuronenphysiologie über die Funktion des Gehirns. An die Stelle der Algorithmen treten globalere Lösungsmechanismen. Die Zahl der Prozessoren in den "neuronalen" Computersystemen muß um Größenordnungen höher sein als bei den oben vorgestellten Knotenrechnern.

Die Neuronen und Synapsen des Gehirns finden ihr Analogon in Schwellwertschaltern mit variabler Schaltschwelle. Die Prozessoren selber können einfacher sein als die bekannten Mikroprozessoren. Dem steht allerdings die Notwendigkeit gegenüber, die riesige Zahl von Prozessorelementen miteinander zu vernetzen, und - das ist das wesentliche - diese Struktur muß variabel sein. Gerade das macht die Lernfähigkeit der biologischen Neuronennetze aus.

Die neuronalen Computersysteme lassen zwei wesentliche Eigenschaften erwarten:

1. Assoziative Fähigkeit, die z.B. in der Bilderkennung eine Rolle spielt,
2. Lernfähigkeit, d.h., die Programmierung könnte durch ein Training ersetzt werden.

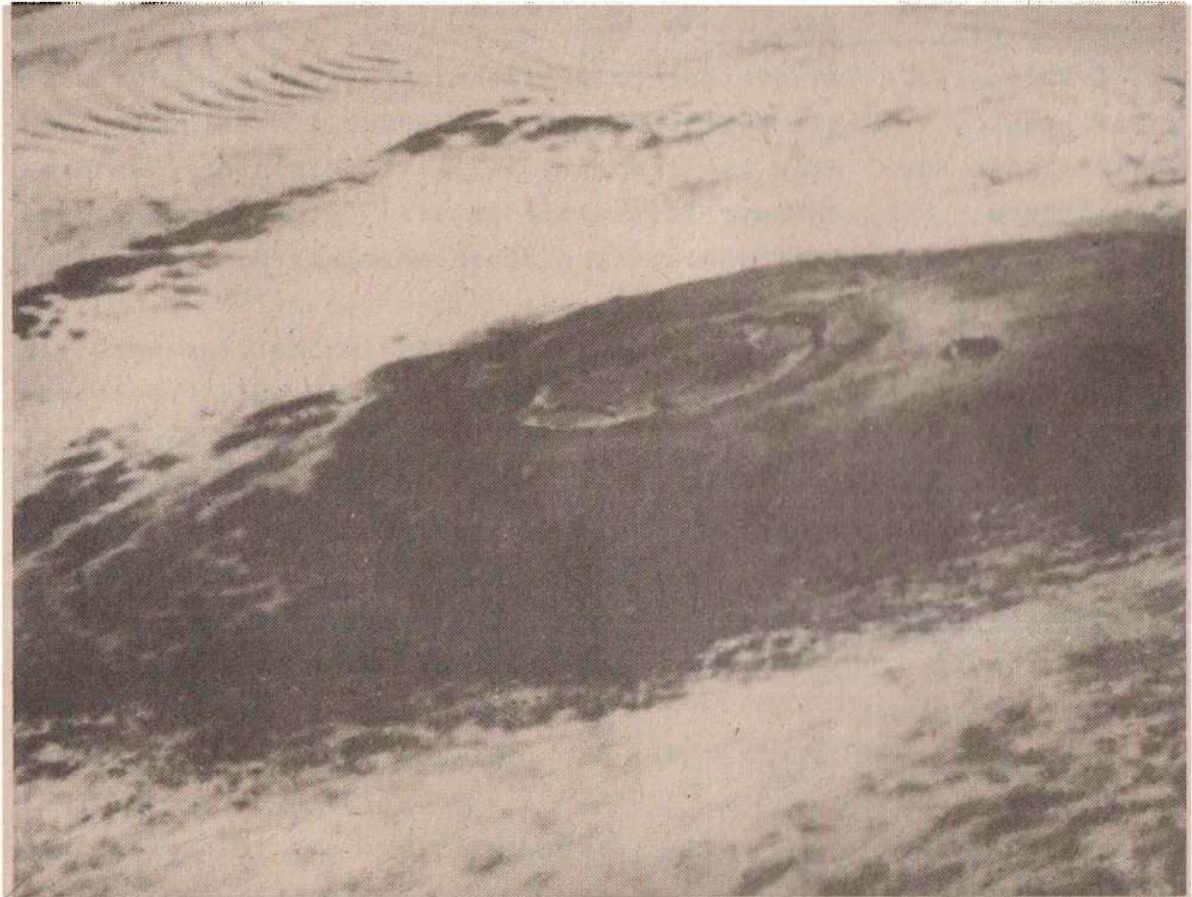
Bevor zweckmäßige Hardware-Strukturen entwickelt werden können, müssen grundlegende Prinzipien, Arbeitsweisen und Lösungsstrategien untersucht werden. Die ersten kleinen neuronalen Netze werden in den neunziger Jahren erwartet. Die Tür zur künstlichen Intelligenz wird damit um ein entscheidendes Stückchen weiter aufgestoßen.

Obwohl kein Zweifel daran besteht, daß auf dem Gebiet der Schaltkreistechnik noch weitere Verbesserungen der Rechengeschwindigkeit zu erwarten sind, scheint die Parallelverarbeitung

das einzige Mittel zu sein, den wachsenden Bedarf an Rechnerleistung qualitativ um Größenordnungen zu steigern.

(Nach einer Sonderheft der Zeitschrift CHIP (BRD) zum Thema "Parallelrechner".)

Wissenswertes:



Der Vulkan Olympus Mons auf dem Mars gilt als der höchste Berg der Planeten des Sonnensystems. Er erreicht - wie aus Satellitenmessungen ersichtlich wurde - eine Höhe von über 22 km. An seiner Basis mißt er in der Breite etwa 600 km. Demgegenüber weist die höchste Erhebung der Erde - der Chomolungma (Mt. Everest) - eine Höhe von 8848 m auf.

3. Hochgeschwindigkeitstransistor

In der heutigen Mikroelektronik spielen Transistoren die wesentlichste Rolle. Sie bilden die Grundbausteine in logischen Schaltkreisen für Taschenrechner und Uhren, in Speicherschaltkreisen u.a.. Zum Beispiel stellt ein Transistor zusammen mit einem Kondensator eine Zelle für einen dRAM dar. Dabei ist dRAM die Abkürzung für dynamic random access memory, also ein Gedächtnis, das beliebig ein- und ausgelesen werden kann. Der Speicherinhalt einer dRAM-Zelle ist die Ladung im Kondensator, während der Transistor als Schalter dient. Die Zielstellung der Mikroelektronikentwicklung besteht darin, den Integrationsgrad (Zahl der Bauelemente pro Fläche) ständig zu erhöhen und immer schnellere Bauelemente zu realisieren. So wird die Geschwindigkeit eines Rechners wesentlich durch die der Transistoren in den RAM's bestimmt. In diesem Abschnitt wird zunächst auf die Wirkungsweise bisheriger Transistoren eingegangen, um dann die besonderen Möglichkeiten von Heterostrukturbauelementen aufzuzeigen.

Die Realisierung der ersten Transistoren, der Bipolartransistoren, war äußerst bedeutungsvoll für den Fortschritt der elektronischen Systeme. Gegenüber den Elektronenröhren zeichneten sie sich durch hohe Zuverlässigkeit, geringe Abmessungen und Masse, sehr gute elektrische Eigenschaften und durch geringe Herstellungskosten aus. Der Bipolartransistor besteht aus einer npn- oder einer pnp-Struktur, d. h. aus zwei pn-Übergängen, die so nahe beeinanderliegen, daß sie sich gegenseitig beeinflussen (Abbildung 3). Die drei Zonen dieser Struktur werden als Emitter, Basis und Kollektor bezeichnet. Die Basis-Emitter-Diode wird in Flußrichtung betrieben, die Basis-Kollektor-Diode dagegen in Sperr-

richtung. Der Transistoreffekt beruht nun darauf, daß Ladungsträger in die hochohmige Raumladungszone der Basis-Kollektor-Diode injiziert werden und dadurch einen zusätzlichen Kollektorstrom erzeugen. Dabei erfolgt die Injektion von der Basis-Emitter-Diode her.

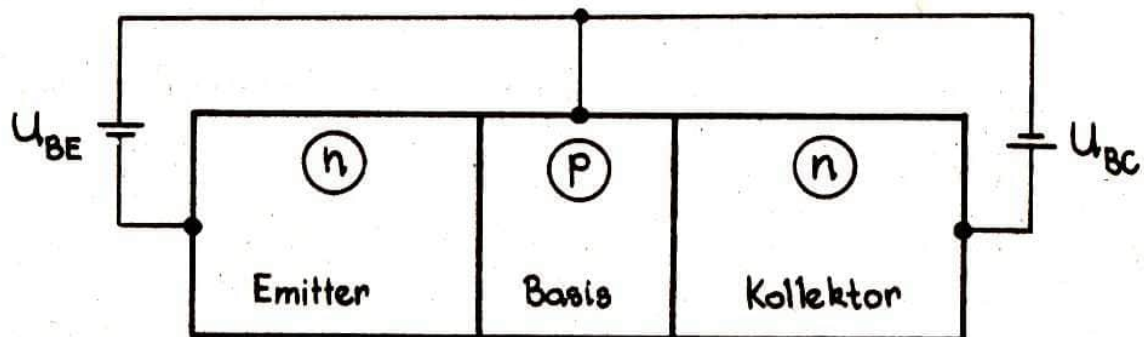


Abb.3 Schematischer Aufbau eines Bipolartransistors
(nnp - Struktur in Stabbauforn)

Die Bezeichnung bipolar resultiert aus der Tatsache, daß die Stromleitung durch beide Ladungsträgertypen (Elektronen und Löcher, siehe Informationskasten 2) erfolgt. Heute werden Bipolartransistoren nur an ausgewählten Stellen eingesetzt, z. B. in den Ansteuerschaltungen von integrierten Speichern.

Einen anderen Grundtyp von Transistoren stellen die Feldeffekttransistoren dar. Dabei handelt es sich um unipolare Elemente, d.h. nur eine Ladungsträgerart (Elektronen oder Löcher) trägt zur Stromleitung bei. Ein Feldeffekttransistor besteht aus einem leitfähigen Kanal zwischen zwei hochdotierten Kontaktgebieten, die als Source (Quelle) und Drain (Senke) bezeichnet werden. Über dem Kanal befindet sich ein dritter Kontakt, der Gate-Kontakt (Tor), durch den der Leitwert des Kanals und damit der Stromfluß von Source nach Drain gesteuert wird. Der Leitwert G des Kanals ist durch

$$G = e \cdot n \cdot \mu \cdot A \cdot \frac{1}{L}$$

gegeben (e : Elementarladung, n : Ladungsträgerkonzentration, μ : Beweglichkeit, A : durchsetzte Fläche quer zum Kanal, L : Länge des Kanals). Je nachdem durch welchen physikalischen Mechanismus die Steuerung des Leitwertes erfolgt, unterscheidet man verschiedene Feldeffekttransistoren. Bei den in der Silicium-Tech-

nologie realisierten MISFET's *) bzw. MOSFET's **) handelt es sich um Feldeffekttransistoren mit isolierter Steuerelektrode, deren prinzipieller Aufbau in Abbildung 4 dargestellt ist. Zwischen dem Gate-Kontakt und dem Kanalgebiet im Halbleiter befindet sich eine Isolierschicht. Die Anordnung Metallelektrode - Isolierschicht - Halbleiter stellt einen Kondensator dar, auf dessen Elektroden (Gate, Halbleiter) sich entsprechend der Größe und Polarität der Spannung Ladungen anhäufen. Wird zum Beispiel zwischen Gate und Source eine positive Spannung angelegt, so werden an der Oberfläche des n-Halbleiters unter dem Gate Ladungen influenziert.

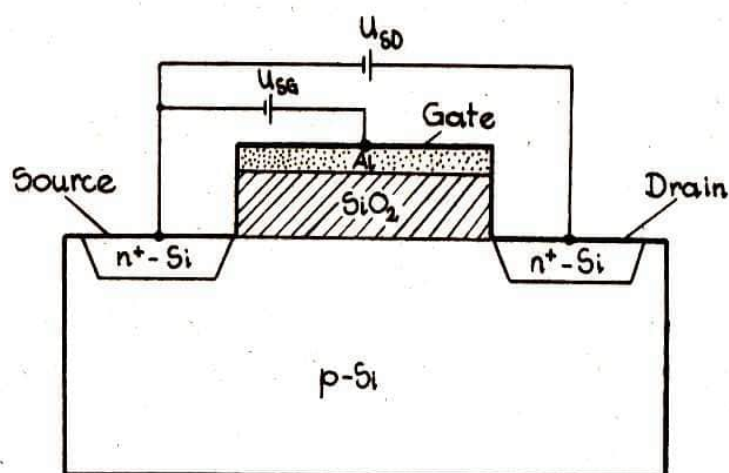


Abb.4 Schematischer Aufbau eines MOSFET's

Das bedeutet, daß sich mit zunehmender Spannung U_{GS} ein stärker n-leitender Kanal bildet ***). Bei negativer Spannung verengt sich der n-Kanal bis hin zur Abschnürung (pinch-off). Dadurch wird der Strom zwischen Source und Drain gesteuert. In der Einleitung (Abschnitt 1) wurde bereits auf einige Vorteile des Halbleiters GaAs gegenüber Silicium hingewiesen (höhere Elektronenbeweglich-

*) metal isolator semiconductor field effect transistor

**) metal oxid semiconductor field effect transistor

(Bei MOSFET wird die Isolierschicht durch das Eigenoxid des Silicium SiO_2 gebildet.)

***)) Der beschriebene MISFET wird als n-Kanal-Anreicherungstyp bezeichnet. Es existieren jedoch noch weitere Typen, auf die hier nicht eingegangen werden soll.

keit, direkte Bandlücke). Hinzu kommt noch die geringe Empfindlichkeit gegenüber Strahlung (z.B. kosmische Strahlung) und gegenüber der Temperatur, die GaAs insbesondere für die Anwendung in der Raumfahrt prädestinieren. MISFET's können jedoch in GaAs nicht hergestellt werden, da an der GaAs-Isolator-Grenzfläche elektronische Oberflächenzustände entstehen, die eine Steuerung der Ladungsträgerinjektion stark einschränken. In GaAs werden Sperrschichtfeldeffekttransistoren realisiert, in denen der Querschnitt A des leitfähigen Kanals elektronisch durch Änderung der Breite einer Verarmungsschicht gesteuert wird. Ein konventioneller GaAs MESFET^{*)} besteht aus einer ca. $2\mu\text{m}$ dicken n-leitenden GaAs-Schicht (Abbildung 5). Diese Schicht bildet den leitenden Kanal zwischen den hochdotierten (n^+) Source- und Drain-Gebieten. Direkt über dem Kanal befindet sich ein Metallkontakt, wobei am Metall-Halbleiter-Übergang eine Schottky-Barriere (Informationskasten 3) realisiert wird.

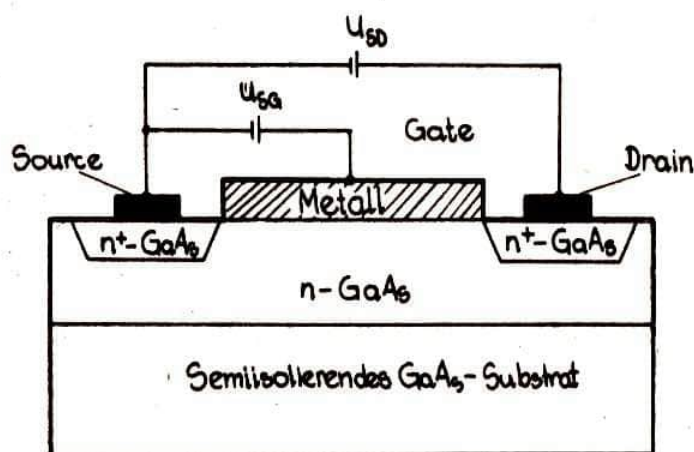


Abb.5 Schematischer Aufbau eines MESFET's

Die Breite der Sperrschicht der Metall - Halbleiter - Schottky - Barriere nimmt mit wachsender Spannung U_{SG} zu und damit verringert sich der tatsächliche Kanalquerschnitt. Es wird also wiederum über die Spannung U_{SG} der Strom zwischen Source und Drain gesteuert.

^{*)} metal electrode semiconductor field effect transistor

Wichtige Parameter zur Charakterisierung eines Feldeffekttransistors sind die Verlustleistung P_v pro Gatter^{*)} und die Schaltzeit. Beide Größen sind nicht vollkommen unabhängig voneinander, so daß oft das Produkt $P_v \cdot \tau$ angegeben wird. Das Ziel der Entwicklung von Feldeffekttransistoren besteht darin, sowohl P_v als auch τ weiter zu verringern. Die Schaltzeit kann durch

$$\tau \approx \frac{l^2}{\mu \cdot U_{SD}}$$

abgeschätzt werden. Diese einfache Abschätzung zeigt, daß wesentlich durch die Kanallänge l und die Ladungsträgerbeweglichkeit μ bestimmt ist. Daraus leiten sich auch die wesentlichen Entwicklungsrichtungen ab:

1. der Übergang zu immer geringeren Kanallängen (sog. Kurzkanaltechnik; siehe dazu auch Tabelle 1 in Abschnitt 1) und
2. Veränderungen im Aufbau bzw. der Übergang zu anderen Materialien, um höhere Beweglichkeiten zu erreichen.

Tabelle 3 gibt einen Überblick über wichtige Parameter für einige Feldeffekttransistoren. Ihr sind die Elektronenbeweglichkeiten für Silicium und die vergleichsweise hohen Werte für GaAs, die materialbedingt sind, zu entnehmen.

Weiterhin wird deutlich, daß durch eine Verbesserung der Materialqualität eine Erhöhung der Beweglichkeit innerhalb gewisser Grenzen erreicht werden kann (vgl. für Silicium und für Silicium, welches mittels MBE^{**)} hergestellt wurde).

Im herkömmlichen GaAs MESFET kann die extrem hohe Elektronenbeweglichkeit, wie sie in hochreinem Material auftritt, nicht erreicht werden (siehe Tabelle 3). Ursache dafür ist die Dosierung (Informationskasten 2) des GaAs, die notwendig ist, um im Kanalgebiet des MESFET die quasi freien Elektronen in genügend hoher Dichte zu erhalten. Jedes Donatoratom (z.B. Te, Si, Se) gibt ein freies Elektron ins Leitungsband ab und die ortsfesten positiv geladenen Donatorrümpfe bleiben zurück. Diese wirken als Stör-

*) Grundelemente eines logischen oder eines Speicherschaltkreises

**) molecular beam epitaxy

(zur Funktionsweise der Molekularstrahlepitaxie siehe Abschnitt 4)

stellen für die Elektronen, d.h. die Elektronen werden durch die Coulomb-Wechselwirkung an den Donatorrümpfen gestreut. Die Folge davon ist eine drastische Verringerung der Beweglichkeit (vgl. μ für GaAs mit $n_e = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ und für hochreines GaAs in Tabelle 3).

	Beweglichkeit μ_e in cm^2/Vs		Verlust- leistung P_v (in mW)	Schalt- zeit τ in s
	für $T=300 \text{ K}$	für $T=77 \text{ K}$		
MESFET (GaAs, $n_e = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)	4500	6000	10	10^{-10}
HEMT (GaAs, hochrein)	9200	200000	1	10^{-11}
MOSFET (Si, $n_e = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)	800	2300	1	10^{-8}
MBE-MOSFET (Si im Kanal- gebiet mittels MBE herge- stellt)	1050	3000	1	10^{-9}
CMOS	800	2300	1	10^{-9}

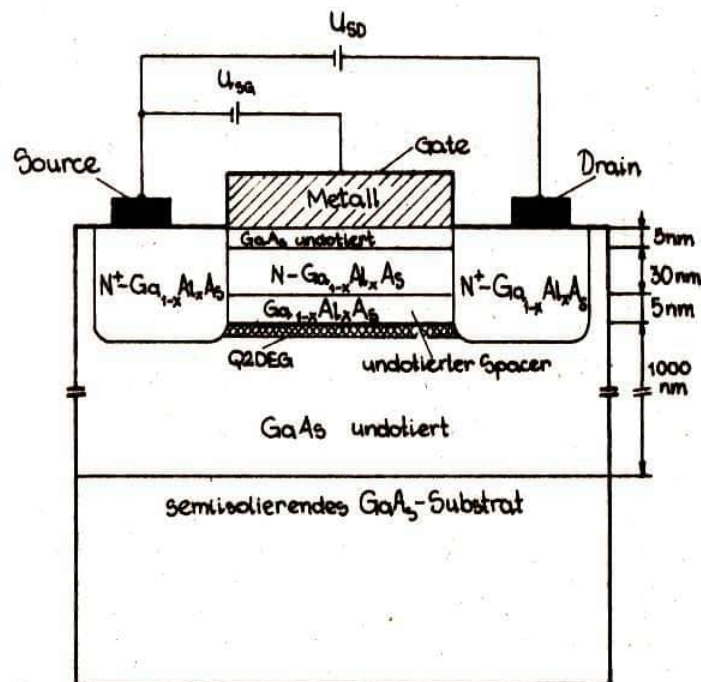
Tabelle 3 Leistungsparameter einiger Transistoren (Die für P_v und τ angegebenen Werte sind nur Mittelwerte, da sie stark vom Aufbau und der Kanallänge der Transistoren abhängen.)

Dieses Problem wird nun beim Hochgeschwindigkeits transistor (HEMT: high electron mobility transistor) überwunden. Der prinzipielle Aufbau eines solchen Transistors entspricht dem eines MESFET's (siehe Abbildung 5 und

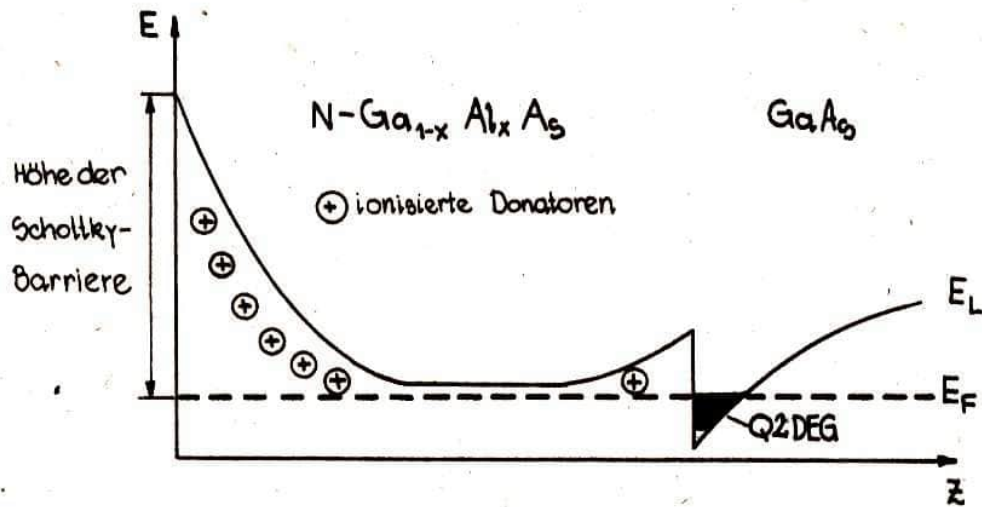
6). Der wesentliche Unterschied besteht darin, daß der HEMT aus einer Heterostruktur besteht(siehe dazu Abschnitt 2), so daß der Elektronenkanal durch das Q2DEG im GaAs an der Heterogrenzfläche zu $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ gebildet wird.

Damit sind die quasi-freien Elektronen räumlich von den ionisierten Donatorrümpfen im $\text{N-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ getrennt. Die undotierte $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ Zwischenschicht (Spacer; siehe Abbildung 6) dient der weiteren Separation der Elektronen vom Einfluß der Donatoren. Die quasi-freien Elektronen bewegen sich also in der undotierten GaAs-Schicht und man erreicht die Elektronenbeweglichkeit des hochreinen GaAs-Kristalls auch für Elektronen hoher Konzentration (siehe Tabelle 3). Bei niedrigen Temperaturen ($T = 4.2\text{K}$) wurden schon Beweglichkeiten von $\mu \approx 5 \times 10^6 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ gemessen. Die räumliche Trennung der quasi-freien Ladungsträger von den ionisierten Donatorrümpfen ist das wesentliche Wirkungsprinzip zur Steigerung der Ladungsträgerbeweglichkeit der auf Heterostrukturen beruhenden Feldeffekttransistoren. Entsprechend der oben angegebenen Beziehung ergeben sich damit sehr kurze Schaltzeiten für den HEMT (siehe Tabelle 3).

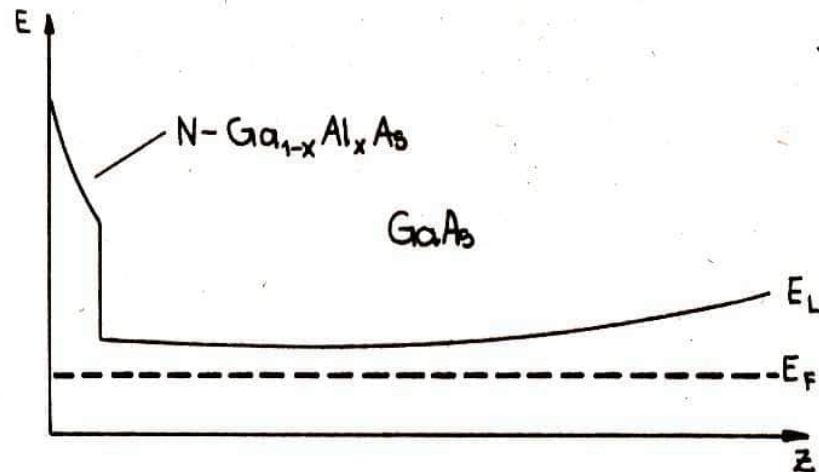
Abb.6 a) Schematischer Aufbau eines HEMT's. Die Spacer-Schicht dient einer Vergrößerung der räumlichen Separation von Elektronen und ionisierten Donatorrümpfen im $\text{N-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$.



b) Leitungsbandkantenverlauf in einem HEMT für einen "normally-on" Transistor (siehe auch Abb.1 und 2)



und einen "normally-off" Transistor



Bei geringer Schichtdicke der $N\text{-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ -Schicht greift die Wirkung der Schottky-Barriere (siehe Informationskasten 3) bis ins Kanalgebiet durch, so daß sich im Gleichgewicht kein Q2DEG ausbildet. In diesem Fall wird das Q2DEG, also der n-Kanal erst durch Anlegen einer positiven Gate-Spannung erzeugt.

Außerdem besitzt der HEMT wesentlich geringere Leistungsverluste als der MESFET und spielt deshalb in der derzeitigen Höchstintegration eine besondere Rolle im Bereich der schnellen Elektronik. Bereits 1984 ist auf der Grundlage von HEMT's von der japanischen Firma Fujitsu ltd. ein 4 kbit sRAM (static random access memory) hergestellt worden.

Es ist heute erwiesen, daß der HEMT in der superschnellen Elektronik sogar den supraleitenden (kryo, $T = 4,2\text{K}$) Bauelementen, die noch vor wenigen Jahren als das große Ziel der Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet galten, gleichwertig ist und ähnlich gute Leistungsparameter schon bei höheren Temperaturen ($T = 77\text{K}$) erreicht. Für den HEMT gibt es noch eine Reihe anderer Bezeichnungen, die von verschiedenen Gruppen von Wissenschaftlern benutzt werden. So sind noch die Kürzel MODFET (modulation doped field effect transistor), TEGFET (two-dimensional electron gas field effect transistor) und SDHT (selectively doped heterostructure transistor) üblich.

Neben der Entwicklung des HEMT's haben die Heterostrukturen auch eine Bedeutung für die Weiterentwicklung von Bipolartransistoren erlangt. Diese als Heterostruktur-Bipolartransistoren (HBT) bezeichneten Strukturen bestehen aus einer $\text{N-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As} / \text{p-GaAs} / \text{n-GaAs}$ Schichtfolge. Das Ziel dieser Entwicklung besteht darin, wesentlich höhere Operationsfrequenzen zu realisieren. Das wird von allem durch eine sehr geringe Schichtdicke und eine höhere Dotierung der Basis erreicht. Heterostrukturbauelemente auf GaAs-Basis bieten damit eine große Vielzahl von Möglichkeiten für eine schnelle und superschnelle Mikroelektronik.

Sie werden jedoch die Vormachtsstellung der Si-Bauelemente im konventionellen Bereich nicht gefährden. Das liegt vor allem daran, daß Silicium ein billiges und verfügbares Material ist und für seine Bearbeitung ausgereifte industrielle Technologien vorhanden sind, so daß Bauelemente auf Si-Basis billig sind. Auch hier gibt es neuere Entwicklungen wie zum Beispiel die komplementäre MOS-Technik (CMOS)*), bei der nur sehr geringe Leistungsverluste auftreten oder die SOI**) Technik, deren Ziel darin be-

*) complementary metal oxid semiconductor
(Grundeinheiten bilden ein p-Kanal - und ein n-Kanaltransistor, deren Gate-Elektroden miteinander verbunden sind)

**) semiconductor on isolator
(Die Anordnung kristalliner Halbleiter - Isolatorschicht-kristalline Halbleiterschicht ermöglicht die Herstellung von Bauelementen in mehreren gegeneinander isolierten Elementen.)

steht, die Bauelemente nicht nur lateral in einer Ebene, sondern auch in mehreren Ebenen übereinander anzuordnen (dreidimensionale (3D) Mikroelektronik).

Superschnelle mikroelektronische Bauelemente auf GaAs-Basis werden wegen ihrer hohen Strahlungsfertigkeit und Temperaturempfindlichkeit vor allem in der Militärtechnik, in der Raumfahrt oder für andere spezielle Anwendungsgebiete eingesetzt, wo diese Anforderungen und nicht ökonomische Bedingungen im Vordergrund stehen.

Bisher wurde gezeigt, welche Eigenschaften Heterostrukturbauelemente besitzen und welche Wirkprinzipien in ihnen ausgenutzt werden. Aus diesen Betrachtungen ist ersichtlich, daß die hervorragenden Eigenschaften nur dann voll zum tragen kommen, wenn die Schicht, in der sich das Q2DEG befindet, eine sehr gute Kristallqualität aufweist. Jegliche Defekte führen zu einer Verringerung ihrer Beweglichkeit. Außerdem befindet sich das Q2DEG gerade an der Grenzfläche zweier unterschiedlicher Halbleiter. Deshalb muß diese Grenzfläche nahezu ideal, d.h. frei von Rauigkeiten oder Mischgebieten sein. Herkömmliche Schichtherstellungsverfahren werden diesen Anforderungen nicht gerecht. Es gibt heute im Wesentlichen zwei Verfahren zur Herstellung von Heterostrukturen: die MBE und die MOCVD^{*)}. Auf Grund der großen Bedeutung wird im folgenden Abschnitt ausführlich auf das Verfahren MBE eingegangen.

^{*)} metal organic chemical vapor deposition
(Metallorganische Gase zersetzen sich an der Oberfläche des auf ca. 600 C erwärmten Substrates und die Metalle z.B. Ga oder As lagern sich ab.)

Informationskasten 2

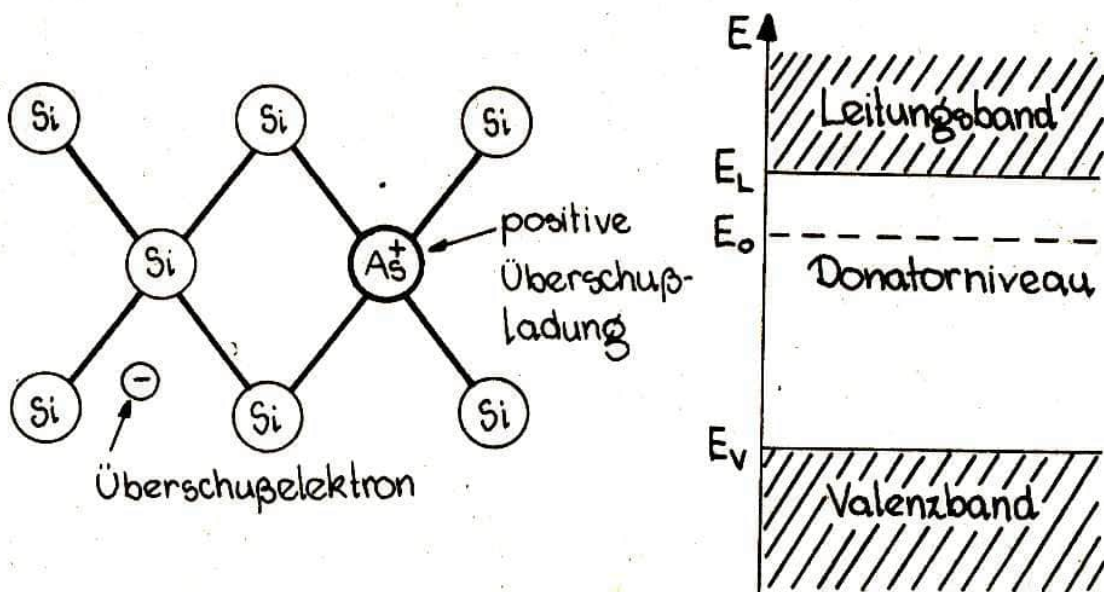
Dotierte Halbleiter

- Unter Dotieren versteht man den kontrollierten Einbau von Fremdionen in einen Halbleiter

- Fremdatome, die ionisiert werden können und dabei ein Elektron in das Leitungsband abgeben, nennt man Donatoren.

BEISPIEL: Einbau von Arsen-Atomen in Silizium zur Erzeugung von n-Leitung

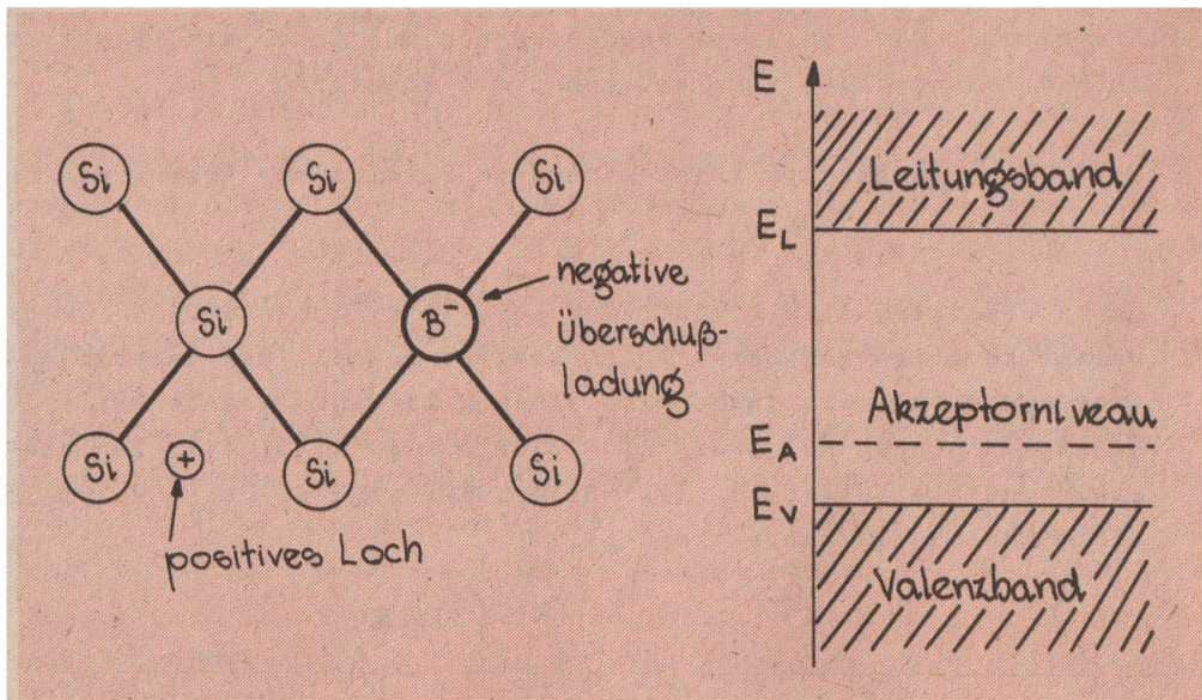
Jedes Silizium-Atom bildet vier kovalente Bindungen mit jedem seiner nächsten Nachbarn. Arsen besitzt jedoch fünf Valenzelektronen, so daß vier davon eine Bindung mit benachbarten Silizium-Atomen eingehen. Das fünfte Elektron geht bei der Ionisierung ins Leitungsband des Siliziumkristalls. Der Kristall bleibt dabei als Ganzes neutral.



Fremdatome, die ionisiert werden können und dabei ein Elektron aus dem Valenzband aufnehmen können, so daß dort ein Loch entsteht, nennt man A k z e p t o r e n.

BEISPIEL: Einbau von Bor-Atomen in Silizium zur Erzeugung von p-Leitung

Bor besitzt nur drei Valenzelektronen. Es kann seine Bindung zu den vier benachbarten Silizium-Atomen nur vervollständigen, wenn es bei der Ionisation ein Elektron aus einer Si-Si Bindung nimmt und so ein Loch im Valenzband des Siliziums erzeugt.

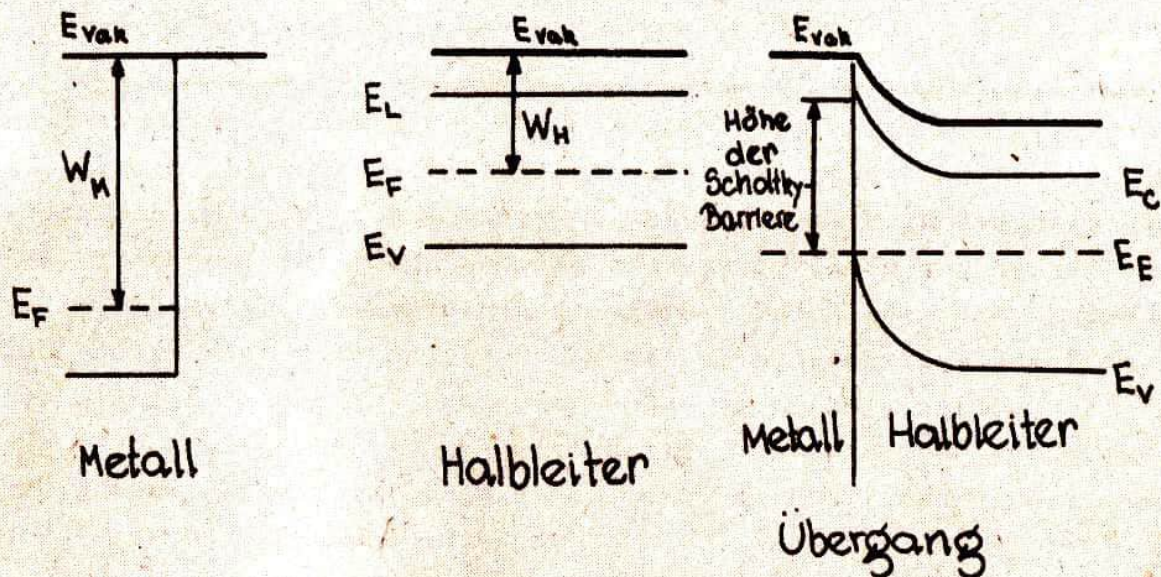


Informationskasten 3

Metall - Halbleiter Übergang mit Verarmungsrandschicht: Schottky-Kontakt

Bringt man einen Halbleiter in Kontakt mit einem Metall, so können Elektronen vom Halbleiter zum Metall bzw. vom Metall zum Halbleiter übergehen. Ist die Austrittsarbeit der Elektronen im Metall W_M größer als im Halbleiter W_H , so gehen mit größerer Wahrscheinlichkeit Elektronen zum Metall über als umgekehrt. Das führt zu einer negativen Aufladung der Metalloberfläche und einer positiven Aufladung der Halbleiterrandschicht, die durch die von Elektronen entblößten ortsfesten Donatorionen hervorgerufen wird. Einen solchen Metall-Halbleiter-Übergang bezeichnet man als **S c h o t t k y - K o n t a k t** (im Unterschied zu einem ohmschen Kontakt, bei dem die Bedingungen genau umgekehrt sind). Bei einem n-Halbleiter (siehe Bänderschema) tritt damit eine Verarmung an Ladungsträgern auf. Legt man an das Metall eine positive Spannung an, so nimmt die Tiefe dieser Verarmungsschicht in Abhängigkeit von der Spannung zu.

BÄNDERSCHEMA



Analog wie bei dem im Abschnitt 2 beschriebenen Heteroübergang entsteht an der Metall-Halbleiter-Grenzfläche eine Potentialbarriere für die Elektronen, die hier als Schottky-Barriere bezeichnet wird.

Berichtigungen zum Artikel "Solitonen" (Heft 3/88)

- S.24 Information 4: Gleichung (6) muß exakt lauten

$$\operatorname{sech} x = 2 / (e^x + e^{-x}) = 1 / \cosh x$$

- Die Information 5 (Dispersion) umfaßt die gesamte Seite 28 (einschließlich Abb.69)
- Literaturangabe auf Seite 48:
J. Scott Russel "Report on waves", Proc.Roy.Soc. Edinburgh, 319-312, 1844.

In unserem nächsten Heft erscheint ein weiterer Artikel zur Thematik der Solitonen. Er wird sich mit einfachen Experimenten beschäftigen.

Tumorerkrankungen sind Ursache für 20 - 25 % der Todesfälle in der DDR, d.h. etwa 40.000 Einwohner sterben jährlich daran. Um die Heilaussichten Krebskranker zu verbessern, ist eine rechtzeitige Erkennung des Tumors (Frühdiagnose) und eine gezielte Behandlung mit möglichst geringen Nebenwirkungen notwendig. Die Suche nach geeigneten spezifischen (es gibt nicht DEN Tumor und DEN Tumorerreger) Diagnose- und Therapieverfahren ist deshalb ein Schwerpunkt medizinischer Forschung.

Eine relativ neue Methode (erste umfassende klinische Behandlungen erfolgten 1976) ist die selektive Photochemotherapie von Tumoren, auch Photodynamische Therapie genannt.

Schematische Darstellung der Photochemotherapie

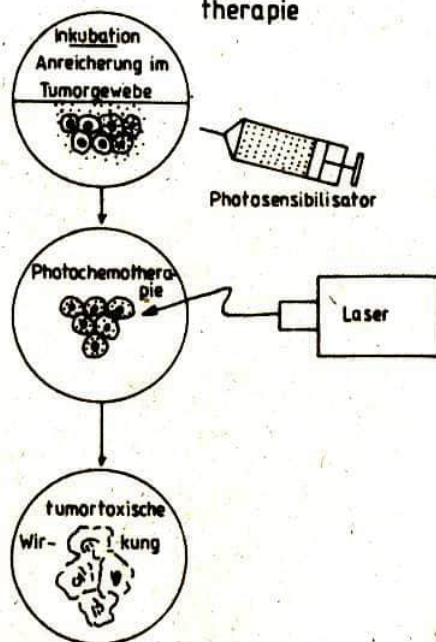


Abb. 1

Die Photochemotherapie beruht auf einer Kombination von Licht- und Photosensibilisator-Applikation

Hierbei werden dem Patienten bestimmte lichtempfindliche Substanzen injiziert, die sich im Gewebe ansammeln. Erfolgt nun eine

Bestrahlung des Gewebes, z.B. des Tumorgewebes, mit Licht, dann zeigen diese Substanzen die Eigenschaft, photochemische Reaktionen auszulösen. Diese führen zu einer Zerstörung der umliegenden Zellen (Abb.1). Man spricht deshalb von einer photodynamischen Wirksamkeit und nennt derartige Stoffe Photosensibilisatoren. Besitzen diese Sensibilisatoren zudem die Eigenschaft, sich bevorzugt im Tumorgewebe anzulagern, d.h. wenn sie in diesem Gewebe in höheren Konzentrationen als im benachbarten Normalgewebe vorliegen, dann ist die Möglichkeit einer gezielten Therapie, die selektive Photochemotherapie (PCT) gegeben (Tab.1).

Tab.1. Eigenschaften der PCT-Substanzen

1. Photodynamische Wirksamkeit
2. Selektive Anlagerung im Tumorgewebe
3. Keine/geringe Nebenwirkungen

Auf der Suche nach einer solchen photodynamisch wirksamen Substanz, hat sich das Hämatoporphyrin-Derivat (HpD) als günstig erwiesen. Mit diesem Präparat sind inzwischen einige 1000 Patienten erfolgreich behandelt worden.

Historischer Überblick

1898 gelang dem Studenten Oskar RAAB eine großartige Entdeckung. Er stellte fest, daß Mikroorganismen bei Anwesenheit bestimmter Farbstoffe abgetötet werden können, wenn sie gleichzeitig einer Einwirkung von Lichtstrahlung unterliegen.

Seine Lehrer setzen die Untersuchungen erfolgreich fort und führen den Begriff der "photodynamischen Wirkung" ein. Bereits 1908 beschreibt HAUSMANN die wirkungsvollen photodynamischen Effekte der Substanz Hämatoporphyrin (HP) bei lichtbestrahlten Mäusen.

Fünf Jahre später erfolgt der berühmt gewordene Versuch von MEYER-BETZ. Er injiziert sich selbst HP und beschreibt die Wirkungen durch das Sonnenlicht. Als er mehrere Wochen danach den Fensterplatz im Abteil eines Zuges einnimmt, erleidet er erneut schwere, sonnenlichtinduzierte Hautverbrennungen.

1960 präpariert LIPSON eine Essigsäure-Schwefelsäure-Derivat des

HP und nennt es HpD. Seine Untersuchungen zum Anlagerungsverhalten in biologischem Gewebe zeigen, daß in nahezu 80 % der untersuchten Fälle eine bevorzugte Anreicherung im Tumorgewebe erfolgt.

Die Bedeutung dieser Untersuchungen wurde jedoch erst in den späteren Jahren voll erkannt. Es begannen die Versuche zur selektiven Tumorthherapie. 1972 gelang dann bei Rattenexperimenten der Nachweis der tumorzerstörenden Eigenschaft von HpD und gleichzeitiger Bestrahlung mit weißem Licht. DOUGHERTY berichtet 1975 über gleiche Wirkungen bei Verwendung von rotem Licht.

Mit der Entwicklung der Laser- und Lichtleittechnik wurde die Möglichkeit gegeben, Tumore auch im Körperinneren, beispielsweise im Bronchial- und Urogenitaltrakt, ohne größeren chirurgischen Eingriff zu behandeln. So fanden 1976 erste klinische Anwendungen der HpD-PCT im Bereich des Bronchialtraktes in Buffalo (USA) statt. 1980 gelang einer japanischen Arbeitsgruppe die vollständige Vernichtung eines speziellen Lungentumors im Frühstadium mittels PCT.

Struktur des HpD

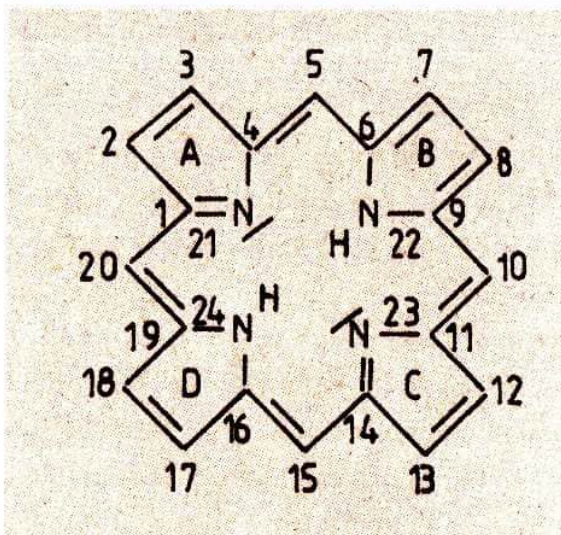


Abb. 2: Grundgerüst der Porphyrine

HpD ist ein Gemisch verschiedener metallfreier Porphyrine, die aus dem Hämoglobin des Blutes gewonnen und dann in einem bestimmten Verfahren präpariert werden. Abb. 2. zeigt das Grundgerüst der Porphyrine. Die Kohlenstoffatome 1 - 24 tragen (je nach Porphyrin) verschiedene Substituenten. Die im HpD enthaltenen Porphyrine besitzen die Fähigkeit zu aggregieren, d.h. mehrere, gleichartige Moleküle binden sich

zusammen. Diese Aggregate scheinen eine wesentliche Rolle bei der Anlagerung an die Tumorzellen zu spielen.

Anlagerungsverhalten

HpD lagert sich selektiv in bestimmten Tumorgeweben an. Konzentrationsunterschiede von maximal 10:1 im Tumorgewebe zum umgebenden Normalgewebe konnten in Abhängigkeit von dem Zeitintervall nach der Injektion bestimmt werden. Damit ist die Möglichkeit einer selektiven Therapie gegeben, d.h. bei einer geeigneten Lichtdosierung ist die schädigende Wirkung auf die Tumorzellen groß, während das umgebene Gewebe nur wenig beeinflusst wird (Ödem, Entzündung).

Die Ursache der tumorselektiven Anlagerung ist noch immer nicht vollständig geklärt. Theorien, wonach der verringerte pH-Wert oder aber die größere Durchblutung des Tumors für das Anlagerungsverhalten verantwortlich sind, konnten nicht bestätigt werden. (Infolge des vermehrten Wachstums der Tumorzellen findet ein erhöhter Stoffwechsel statt, der einen größeren Blutfluß zur Folge hat. Da dennoch das Sauerstoffangebot nicht ausreicht, findet eine zunehmende Versäuerung des Tumorgewebes statt, ähnlich der "Muskelkater-Milchsäure". Der pH-Wert kann dabei auf Werte um 6,5 sinken, normal: 7,4).

Neuerdings wird als Ursache eine enge Bindung des HpD mit bestimmten Blutbestandteilen, den Lipoproteinen angenommen. Tumorgewebe zeigt eine höhere Konzentration an Lipoprotein-Rezeptoren (Stoffe, die andere binden), als das Umgebungsgewebe.

HpD lagert sich in geringen Konzentrationen auch in den oberen Hautschichten an. Dies führt zu einer Lichtsensibilisierung des Patienten. Er muß sich nach der HpD-Injektion für eine Dauer von 4 - 6 Wochen in abgedunkelten Räumen aufhalten oder starke Sonnenschutzcreme benutzen.

Photochemische Reaktionen

Die Art der ablaufenden Reaktionen sind noch weitgehend ungeklärt. Im allgemeinen erfordert die Photosensibilisierung in biologischen Systemen die Anwesenheit von Sauerstoff.

Durch die Lichtaktivierung wird der Sensibilisator in einen energetisch angeregten Zustand (S_1) gehoben ($hf = E$), von dem er in einen energetisch günstigeren Zustand (T_1) übergeht. Die Lebens-

dauer dieses Zustandes beträgt einige ms und ist ausreichend für den Ablauf von photochemischen Reaktionen. Es finden Photooxydationsprozesse statt (Abb.3).

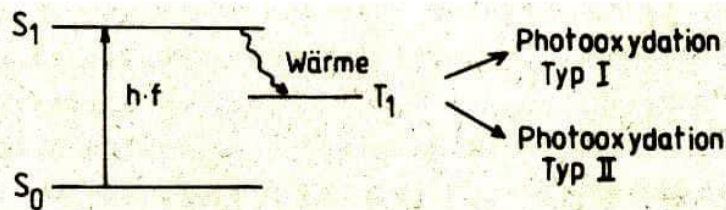


Abb.3 Termschema; Durch Absorption der Laserstrahlung erfolgt zunächst ein Übergang in den angeregten Zustand S_1 ,

dann in den T_1 -Zustand. Dieser ist Ausgangspunkt für die Photooxydationsprozesse.

Bei den Reaktionen des Typ I entstehen aggressive Radikale, bei Typ II der ebenfalls aggressive Singulett-Sauerstoff (energetisch angeregter Sauerstoff). Folgereaktionen, sowohl der Radikale als auch des angeregten Sauerstoffs mit den umgebenen Biomolekülen, führen aber zu deren Zerstörung. Die Zelle stirbt.

Lichtquelle

Um Licht in das Körperinnere zu leiten, werden Lichtleiter verwendet, die in den Arbeitskanal eines Endoskops (Gerät zur Begutachtung des Körperinneren) eingeführt werden.

Aufgrund ihrer geringen Divergenz und geringen Strahlungsdichte werden Laser als Lichtquelle verwendet, die ein nahezu verlustarmes Einkoppeln in die Lichtleiter gewährleisten. Die verwendete Wellenlänge sollte möglichst im "optischen Fenster" von biologischem Gewebe liegen, also in einem Bereich hoher Lichttransmission. Dadurch wird ein Eindringen in tiefere Gewebsschichten möglich und eine Aufheizung und damit thermische Schäden des Gewebes verhindert. Abb.4. zeigt das Absorptionsspektrum von Gewebe. Im kurzwelligen Anteil des Lichtes ist die Gewebeabsorption hoch. Ursache sind die im Gewebe vorhandenen Farbstoffe, insbesondere das Pigment Melanin (für die Hautbräunung verantwortlich) und das Hämoglobin (Träger der roten Blutkörperchen). Es ist ersichtlich, daß im roten Bereich (600 - 700 nm) und nahen Infrarot - Bereich das Gebiet hoher Transmission liegt. Wenn aber

bevorzugt in diesem Bereich eingestrahlt werden soll, muß das Absorptionsvermögen des Photosensibilisators hier aber besonders hoch sein.

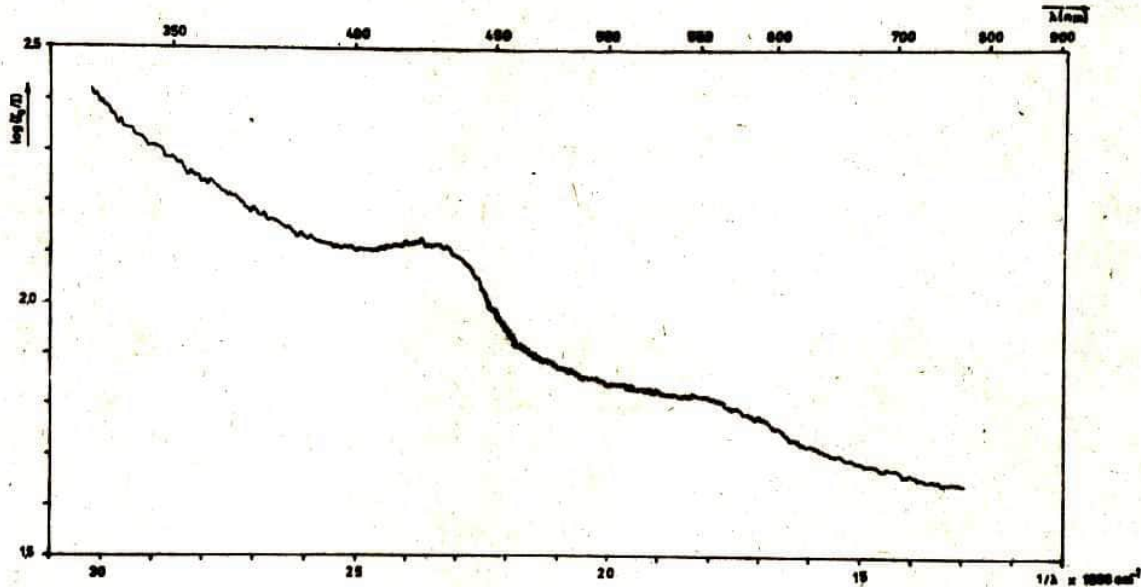


Abb.4 In-vivo Extinktionsspektrum von biologischem Gewebe. Mit zunehmender Wellenlänge (sichtbarer Bereich) wächst demnach die Transmission, bzw. die Eindringtiefe der Strahlung.

HpD besitzt eine Absorptionsbande in diesem Bereich bei ca. 625 - 635 nm. Leider ist die Absorption jedoch gering.

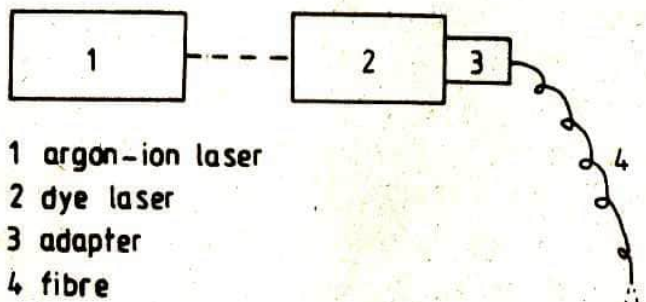


Abb.5 Schematische Darstellung der PCT-Anlage. Ein Argonionenlaser/1/ dient als Pumplaser für den Farbstofflaser/2/. Dieser emittiert Strahlung im roten Spektralbereich, die mittels einem Fasereinkopplungsgerät/3/ durch den Lichtleiter/4/ übertragen wird.

Eine Arbeitswellenlänge von ca 630 nm läßt sich beispielsweise mit einem Farbstofflaser realisieren. Als Pumpquelle für diesen Laser dient ein Argonionen-Laser. Abb.5. zeigt den Aufbau einer

derartigen PCT - Anordnung. Die Leistungsdichten am Bestrahlungs-ort liegen bei ca. 100 mW/cm², die Dauer einer Bestrahlung liegt bei 20 min.

HpD-Alternativen

Die Hautsensibilisierung des Patienten und das geringe Absorptionsvermögen im roten Bereich beschränken den Einsatz und die Wirkung des HpD - Präparates. Man sucht deshalb weltweit nach HpD - Alternativen. In der DDR sind es im wesentlichen zwei Arbeitsgruppen mit derartiger Zielstellung. Eine existiert an der Humboldt-Universität zu Berlin, die andere an der Friedrich-Schiller-Universität in Jena. Letztere untersucht beispielsweise die photodynamische Wirkung des Farbstoffes Methylenblau und seine Verwendung für die Behandlung von Tumoren der Harnblase.

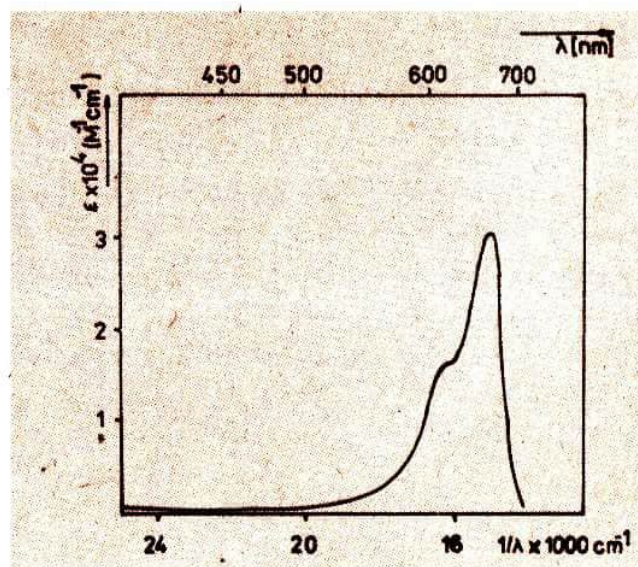


Abb.6: Absorption des Photosensibilisators Methylenblau. Sie ist im Bereich des "optischen Fensters" von biologischem Gewebe sehr hoch

Methylenblau zeigt gegenüber HpD ein wesentlich höheres Absorptionsvermögen (Abb.6). Zudem zeigten japanische Wissenschaftler, daß bei einer Einfüllung des Methylenblau in die Harnblase, sich die Tumoreareale anfärben. Durch diese lokale Verabreichung des Sensibilisators kann eine Hautsensibilisierung vermieden werden. Abb.7 zeigt Ergebnisse, die in Jena bei der Bestrahlung von Tumoren der Maus und Methylenblau-Gabe im Vergleich zu der HpD-PCT am gleichen Tumormodell erzielt wurden. Eine deutliche Reduzierung des Tumorwachstums mit teilweise vollständiger Vernich-

tung mittels Methylenblau-PCT konnte gezeigt werden.

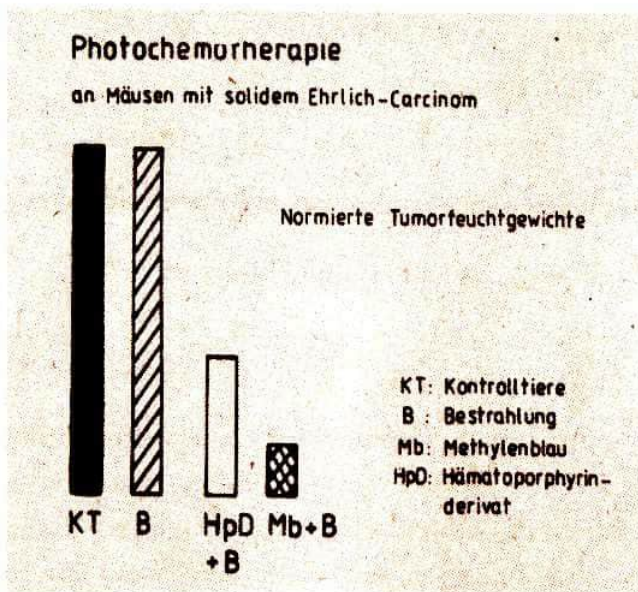


Abb.7: Ergebnisse der PCT-Testexperimente. Werden die Tiere ohne Verabreichung von Photosensibilisatoren bestrahlt (Säule 2), ist kein Effekt zu beobachten. Erst die Kombination von Bestrahlung und Photosensibilisatoren führt zu einer Reduktion des Tumorwachstums, die im Fall der Methylenblau-Verwendung besonders hoch ist.

Derzeit werden an der FSU die technischen Voraussetzungen für die PCT am Patienten mit Harnblasentumoren geschaffen. Zu diesem Zweck wurde eine entsprechende Laser- und Lichtleitertechnik entwickelt, die die Verwendung einer leistungsstarken Arbeitsstrahlung mit einstellbarer Wellenlänge im Spektralbereich 600 - 700 nm gestattet. Diese Strahlung wird in einen Lichtleiter eingekoppelt und von einem Gebäude der Sektion Physik über eine Entfernung von 200 m in den Operationssaal der Urologischen Klinik übertragen. Mittels Fußschaltung ist der Laserbetrieb von dort schaltbar (Abb.8).

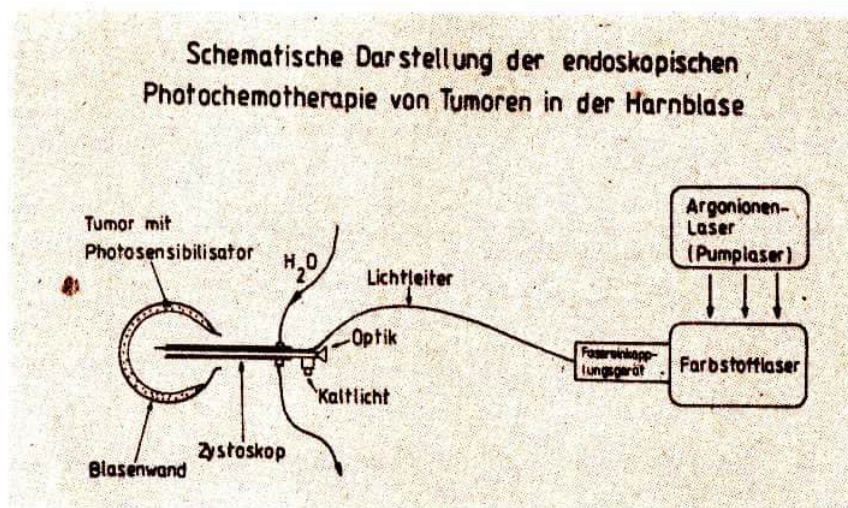


Abb.8

3. Anwendungen der Optischen Phasenkonjugation

3.1. Adaptive Optik in Echtzeit

Adaptiv heißt soviel wie auf Anpassung beruhend. Adaptive optische Systeme werden seit Beginn der 70-er Jahre untersucht, um die Wirkung von Wellenfrontstörungen auszugleichen, die durch Wirbelbildungen, Schwingungen, thermisch bedingte Brechzahländerungen und Fehler in optischen Elementen bei der Transmission, Verarbeitung und Abbildung von Licht auftreten. Solche Systeme werden z.B. in astronomischen Teleskopen, Laserentfernungsmessern und -zielvorrichtungen sowie bei der laserinduzierten Kernfusion eingesetzt. Im Gegensatz zu den im Kapitel 2.1. beschriebenen konventionellen Verfahren zur Erzeugung phasenkonjugierter Signale ermöglicht die Anwendung der Nichtlinearen Optischen Phasenkonjugation in der Adaptiven Optik eine Zusammenfassung von Messung und Korrektur der Wellenfronten innerhalb von Picosekunden.

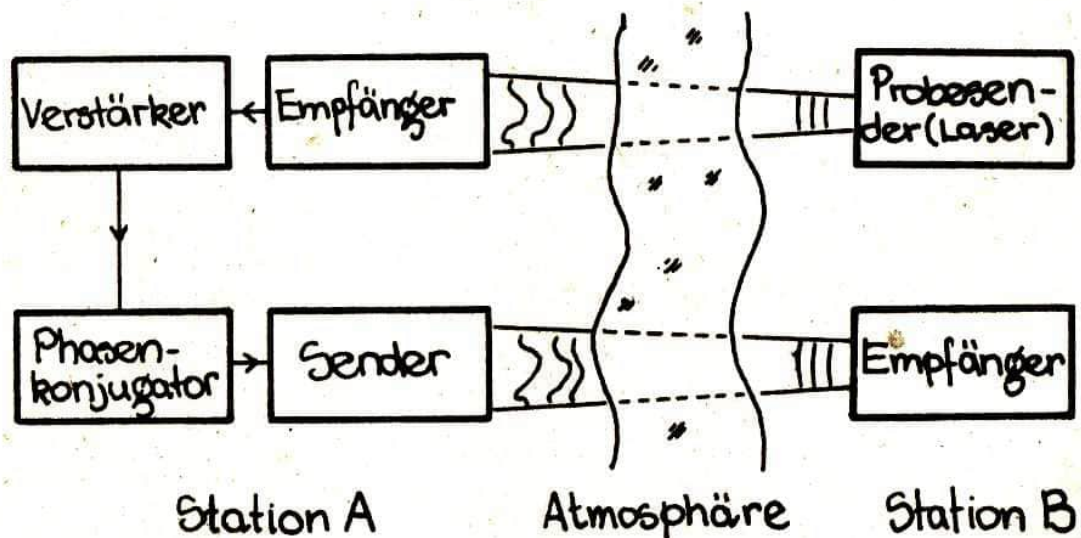


Abb.5 Übertragung eines Laserbündels durch turbulente Luft

Will man z.B. ein Laserbündel möglichst ungestört von der Station A zur Station B (siehe Abb.5) durch turbulente Luft übertragen, kann man die Phasenkongjugation auf Basis der Vierwellenmischung wie folgt einsetzen:

Von B nach A wird ein Probestrahl geschickt, das dort mit Wellenfrontstörungen eintrifft. Diese Störungen sind ein Maß für die Verwirbelung der Luftstrecke. In der Station A wird der Probestrahl verstärkt, phasenkongjugiert und als Sendestrahle zurück nach B geschickt, wo er unverzerrt und gut gebündelt eintrifft. Voraussetzung ist, daß sich die Turbulenz während der zweimaligen Signallaufzeit nicht ändert. Dabei kann der Vierwellenmischungsprozeß gleichzeitig auch für eine Verstärkung sorgen, weil die Stärke der phasenkongjugierten Welle von der Intensität der Pumpwellen abhängt und durchaus größer sein kann als die des Probestrahls.

Vorgeschlagen wird auch, den beschriebenen Kompensations- und Verstärkungsmechanismus für die laserinduzierte Kernfusion und zur Erzeugung von Laserplasmen als Quelle von UV (Ultraviolett)- und Röntgenstrahlen einzusetzen.

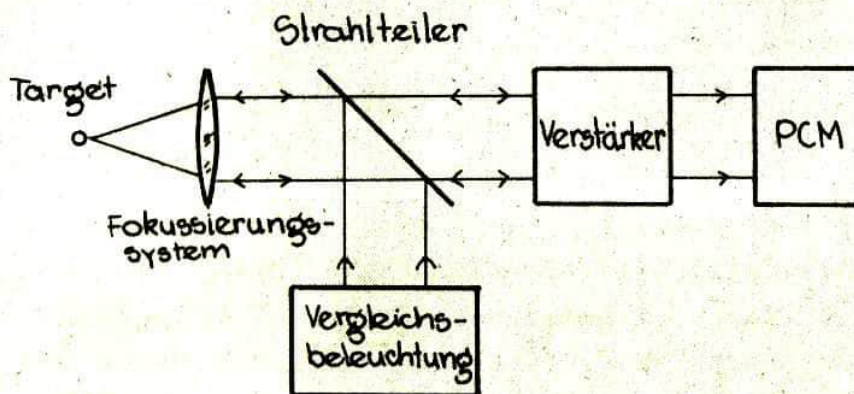


Abb.6 Anwendung eines PCM bei der laserinduzierten Kernfusion

Der erste Schritt bei diesem Prozeß ist die Erzeugung einer Vergleichsstrahlung. Zu diesem Zweck kann man das Fusionskugelnchen beispielsweise mit einem Impulslaser beleuchten. Ein Teil dieser Vergleichsstrahlung wird vom Target reflektiert, fällt in ein Fokussierungssystem (dargestellt durch eine Linse) und wird einem Verstärkersystem zugeführt, das aus einer Vielzahl optischer Elemente und Verstärkermidien (z.B. Rubinstäbe) besteht. Bedingt durch Unvollkommenheiten der Verstärkermidien, durch

fehlerbehaftete optische Elemente und durch Dejustierungen werden sich in der vom Target reflektierten Vergleichswelle mehr oder weniger starke Wellenfrontstörungen auf sammeln. Nach der Konjugation am phasenkonjugierenden Spiegel (PCM) erfährt die Vergleichswelle, wenn sie den ursprünglichen Weg zurückläuft, eine zweite Verstärkung. Bei diesem Rücklauf werden die entstandenen Wellenfrontstörungen in umgekehrter Abfolge ihres Entstehens wieder vernichtet. Im Ergebnis dieses Verstärkungs- und Kompensationsprozesses wird auf das Fusionskugeln (Target) eine hochenergetische, optimal geformte Wellenfront auftreffen.

Ein wesentlicher Vorteil dieser Systeme ist die Fähigkeit zur selbstständigen Zielfindung. Wenn das Vergleichsbündel nur entsprechend breit ist, besteht keine Notwendigkeit, die Position des Targets zu kennen. Die einzige Bedingung ist, daß sich das Target im Gesichtswinkel des phasenkonjugierenden Systems befindet.

Diese Selbstausrichtung läßt sich aber auch auf andere Situationen anwenden. Ersetzt man das Fusionstarget durch einen Satelliten und bestrahlt ihn mit einem Hilfs laser, so gelangt ein Teil des Streulichts in ein phasenkonjugierendes Lasersystem auf der Erdoberfläche. Dieses System verstärkt das Licht und sendet es zum Satelliten zurück. In gleicher Weise wie im vorangegangenen Beispiel werden durch einen PCM die von der Atmosphäre herrührenden Wellenfrontstörungen beseitigt. Somit kann man die Position des Satelliten problemlos verfolgen.

Der Satellit, als eine Art Kampfspiegel ausgebildet, kann allerdings auch das vom Laser verstärkte Strahlenbündel auf eine Rakete lenken und diese zerstören. Solche Systeme sind Bestandteil des von den USA vorangetriebenen SDI-Projektes, dessen Gesamtrealisierungschancen und -wirksamkeit von vielen Wissenschaftlern schon jetzt stark bezweifelt werden.

3.2. Linsenlose Abbildung

Weltweit werden große Anstrengungen unternommen, integrierte Schaltkreise mit Submikrometerstrukturen ökonomisch herzustellen. Dabei erreichen die herkömmlichen Techniken ihre physikalischen Grenzen. Als eine Möglichkeit, die gut beherrschte Technik der Photolithographie beizubehalten und trotzdem zu Strukturbreiten

1 μm zu gelangen, könnte sich in Zukunft in Verbindung mit der Entwicklung geeigneter Laser im UV-Bereich eine Abbildungsmethode erweisen, die auf der nichtlinearen Optischen Phasenkongjugation beruht. (*unter)

Durch eine linsenlose Abbildung, wie sie mit der Phasenkongjugation ermöglicht wird, lassen sich Probleme der Bildfehlerkorrektur, die die Herstellung von Mikroprojektionsobjektiven mit hoher Auflösung und großen Felddurchmessern enorm aufwendig und teuer machen, umgehen.

Bei dieser linsenlosen Abbildung wird durchgängig das Verfahren der Vierwellenmischung verwendet. Das Grundschemata ist in Abb.7 wiedergegeben.

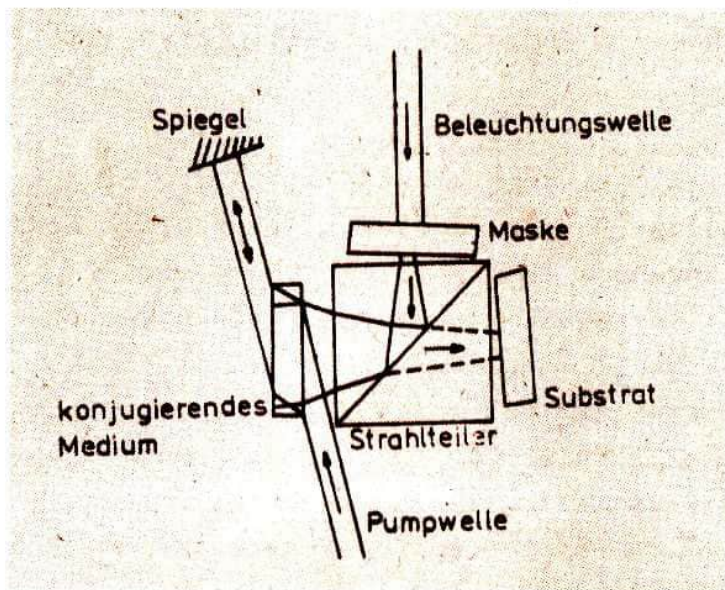


Abb.7

Schema zur linsenlosen Abbildung mit DFWM

Es wird eine Struktur, die in einer Maske enthalten ist, beispielsweise ein elektronischer Schaltkreis, auf ein Halbleiterschicht übertragen, der mit einer lichtempfindlichen Emulsion (Photolack) beschichtet ist. Dabei ist eine direkte Berührung der Maske wegen dabei auftretender Abnutzungen unerwünscht. Das Laserlicht durchstrahlt das in der Maske enthaltene Muster, wird an der wirksamen Schicht des Teilerwürfels reflektiert und gelangt dann auf den phasenkongjugierenden Spiegel (PCM).

Dieser PCM besteht im dargestellten Beispiel aus einer Küvette, die eine nichtlinear reagierende Farbstofflösung enthält. Die für die Vierwellenmischung erforderlichen antiparallelen Pumpwellen werden durch Teilung demselben Laser entnommen, der auch für die Beleuchtungswelle sorgt. Die am PCM reflektierte Beleuchtungswel-

le tritt durch den Teilerwürfel hindurch und belichtet den Wafer. Weil alle Oberflächen, die bei diesem Prozeß eingehen, eben sind, wird der nutzbare Felddurchmesser prinzipiell nur durch die verfügbare Lichtenergie begrenzt. Die für das Auflösungsvermögen wichtige numerische Apertur (Winkelbereich aus dem Wellen in einen Bildpunkt gelangen können) wird durch die Geometrie des Aufbaus bestimmt.

Um möglichst große numerische Aperturen zu erzielen, muß der Abstand zwischen phasenkonjugierendem Medium (Küvette) und Teilerwürfel so klein wie möglich gehalten werden.

Mit einem ähnlichen Aufbau, wie er in Abb.7 dargestellt ist, erreichte Levenson von IBM eine Auflösung von 800 Linienpaaren/mm. Dabei verwendete er Laserlicht einer Wellenlänge von 355 nm und den Farbstoff Rhodamin 6G gelöst in Azeton als nicht-lineares Medium.

Linosenlose Abbildungsverfahren, bei denen Phasenkonjugation eingesetzt wird, sind auch für andere Zwecke nutzbar. Eine Möglichkeit besteht darin, Wellenfrontstörungen in Glasfaserkabeln auszugleichen. Wenn nämlich ein Bild durch eine lange Glasfaser hindurchgeschickt wird, ist es schon nach wenigen Zentimetern nicht mehr zu erkennen. Die Bildinformation verteilt sich auf viele optische Moden. Jede entspricht einem Strahl, der im Zickzackkurs durch die Glasfaser läuft. Da jede Mode einen anderen Winkel relativ zur Glasfaserachse bildet und damit eine andere Wegstrecke durchläuft, sind sie am Ende der Faser aus dem Takt gekommen. Die Phasenbeziehungen sind jetzt andere als am Faseranfang. Eine Glasfaser verschmiert daher ein Bild ganz ähnlich wie eine geätzte Glasplatte.

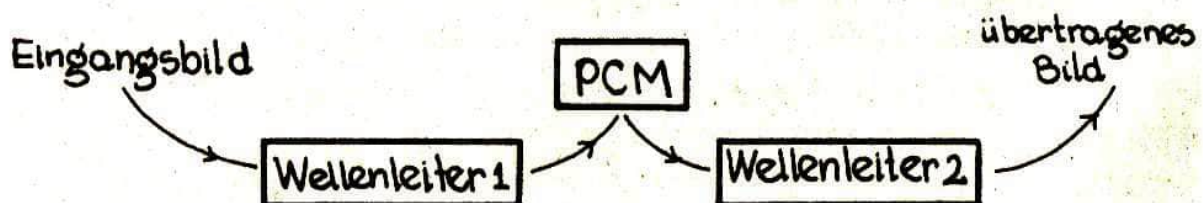


Abb.8

Bildtransformation durch Glasfasern mittels PCM

Die Bildqualität läßt sich jedoch wiederherstellen, wenn das Bild nach dem Durchtritt durch die Glasfaser phasenkonjugiert und dann durch eine zweite Glasfaser mit identischen Eigenschaften zum Empfänger geleitet wird (siehe Abb.8).

3.3. Laser mit phasenkonjugierenden Spiegeln

Eine weitere interessante Anwendung der Phasenkonjugation ergibt sich mit dem Einsatz von phasenkonjugierenden Spiegeln in Resonatoren. Diese Resonatoren bilden neben dem sogenannten aktiven Medium den wichtigsten Bestandteil eines Lasers (siehe Abb.9). Das aktive Medium, welches optisch, elektrisch oder chemisch gepumpt wird, strahlt zunächst Licht in alle Richtungen ab. Ein Teil des abgestrahlten Lichtes trifft auf einen der beiden Resonatorspiegel und durchläuft nach Reflexion an diesem Spiegel das aktive Medium erneut. Hierbei erfolgt über stimulierte Emissionsprozesse eine Verstärkung des Lichtes.

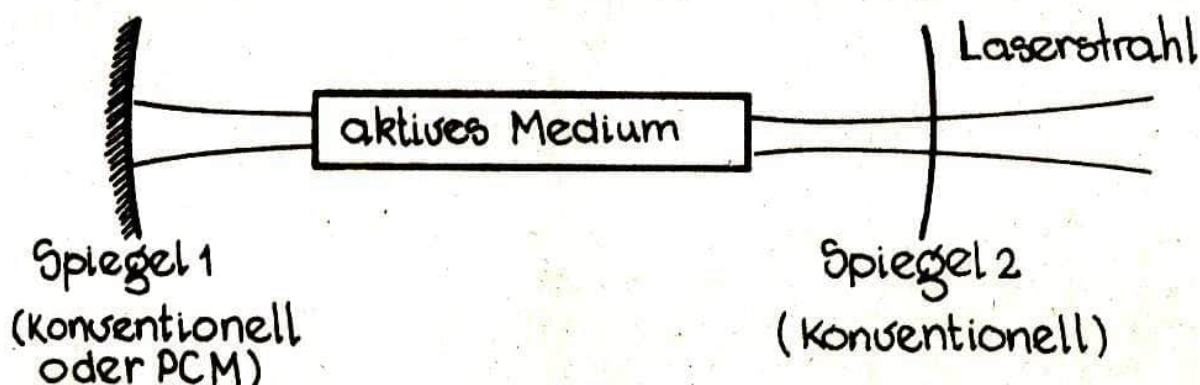


Abb.9 Prinzipieller Aufbau eines Lasers

Ein Teil des ursprünglich in alle Richtungen abgestrahlten Lichtes erfüllt nun die Bedingung, daß es mehrere Male zwischen den Resonatorspiegeln hin und her läuft und dabei wesentlich verstärkt wird. Einer der beiden Resonatorspiegel ist für das Licht teilweise durchlässig. So tritt im Ergebnis des geschilderten Prozesses aus diesem Spiegel ein sehr intensives und wenig divergentes Lichtbündel - der sogenannte Laserstrahl - aus.

Die Form des abgestrahlten Laserbündels hängt bei Verwendung konventioneller Spiegel (als Resonatorspiegel) stark von der

sogenannten Resonatorkonfiguration (Form und Lage der Spiegel) ab. Schon geringe Änderungen dieser Resonatorkonfiguration (z.B. Abstandsänderungen der Spiegel) oder kleine Inhomogenitäten innerhalb des Resonators beeinflussen die Stabilität des Lasers stark. Dies führt dazu, daß bei konventionellen Lasern ein hoher Aufwand bezüglich Justierung und Stabilität der Resonatorspiegel geleistet werden muß.

Wird nun ein Spiegel im Resonator durch einen PCM ersetzt, so ändern sich die Verhältnisse wesentlich. Alles auf den PCM fallende Licht wird wieder in die ursprüngliche Richtung reflektiert. Zusätzlich werden alle Inhomogenitäten innerhalb des Resonators durch den Prozess der Phasenkonjugation kompensiert. Damit ergeben sich wesentlich geringere Anforderungen an Stabilität des Resonators. Auch die Qualität des verwendeten konventionellen Spiegels kann deutlich geringer sein als bei den bisher verwendeten Resonatoren.

Feinberg und Hellwarth von der Universität von Südkalifornien demonstrierten so einen sehr originellen Resonator. Sie verwendeten neben dem PCM einen gewöhnlichen Bratenwender aus Metall als Resonatorspiegel und konnten so einen Laserbetrieb beobachten.

3.4. Optische Meßtechnik und Phasenkonjugation

Auch in der optischen Meßtechnik erschließt der Einsatz phasenkonjugierender Spiegel völlig neue Möglichkeiten. Dies soll hier am Beispiel eines Interferometers mit PCM diskutiert werden.

In Abb.10 sind ein Michelson-Interferometer (MIF) mit zwei konventionellen Spiegeln und ein MIF mit einem PCM dargestellt. Als Eingangswellenfront der Interferometer (E) wird eine sphärische Welle (Kugelwelle) verwendet. Nach Teilung dieser Wellenfront am Strahlteiler und Reflexion beider Teile an den Interferometerspiegeln überlagern sich die so erhaltenen Wellen am Interferometerausgang (A). Auf einem dort angebrachten Beobachtungsschirm (Sc) lassen sich Interferenzen beobachten. Ihre Form entspricht den Schnittflächen der sich überlagernden Wellenfronten.

Wie in Kapitel 1 diskutiert, erhält man bei der Reflexion einer divergierenden sphärischen Welle an einem konventionellen Spiegel eine divergierende Wellenfront. Die Reflexion am PCM dagegen liefert eine umgekehrte, konvergierende Wellenfront.

Im Fall des Interferometers mit zwei konventionellen Spiegeln überlagern sich so in gleicher Richtung gekrümmte Kugelwellen. Auf dem Schirm Sc beobachtet man ein Streifensystem. Daraus lassen sich keine Schlußfolgerungen bezüglich der Form der Eingangswellenfront ziehen. Die Streifen deuten nur auf eine leichte Winkelverkipfung der beiden konventionellen Spiegel hin (Abweichung von 90°).

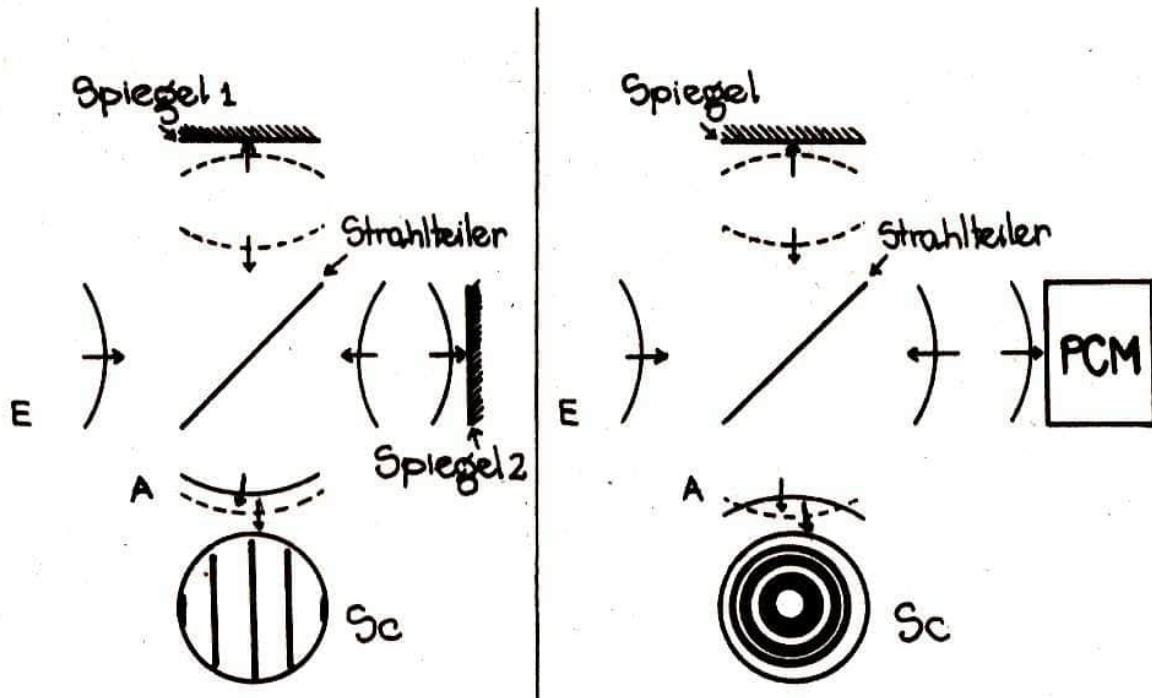


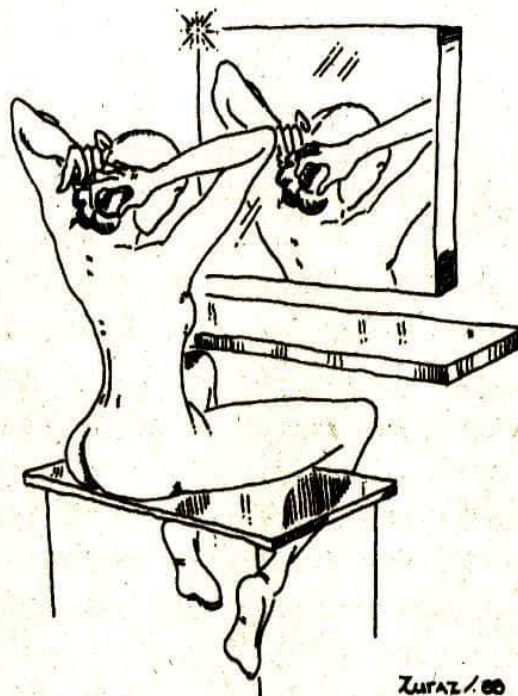
Abb.10 Michelson-Interferometer mit zwei konventionellen Spiegeln (links) bzw. mit PCM (rechts).

Im Fall des MIF mit PCM überlagern sich jedoch entgegengesetzt gekrümmte Wellenfronten. Als Ergebnis dessen sieht man auf dem Schirm Sc ein System von Ringen. Aus dem Abstand der Ringe läßt sich direkt der Krümmungsradius der Eingangswellenfront berechnen.

Im Gegensatz zu allen bisher bekannten interferometrischen Verfahren wird bei der Verwendung eines PCM keine bekannte Vergleichs- oder Referenzwelle zur Vermessung unbekannter Wellenfronten oder Oberflächenprofile benötigt. Dies verbessert die Meßgenauigkeit interferometrischer Verfahren wesentlich.

In der internationalen Fachliteratur wird noch eine Vielzahl von Meßverfahren mittels Phasenkonjugation vorgeschlagen. So werden die PCM beispielsweise für die Kompensation optischer Inhomogenitäten in Meßapparaturen, für die Untersuchung zeitabhängiger Effekte und für die Detektion kleiner Defekte in periodischen Strukturen genutzt.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die Technik der Nichtlinearen Optischen Phasenkonjugation eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten bietet. Es gibt heute kaum ein Gebiet der modernen Optik, in dem der Einsatz eines PCM nicht prinzipiell neue Lösungen für längst bekannte Problemstellungen anbietet. Dabei ist jedoch festzustellen, daß die NOPC eine äußerst komplizierte Technik ist. Es ergeben sich hohe Anforderungen an bereitzustellende nichtlineare Medien sowie entsprechend leistungsstarke Laser. Die bisher entwickelten theoretischen Grundlagen erlauben es noch längst nicht, alle experimentell gefundenen Tatsachen zu erklären. Deshalb sprechen führende Wissenschaftler der Welt auch davon, daß ein industriemäßiger Einsatz von Systemen mit PCM erst in etwa 10 Jahren zu erwarten ist.



Anwendung der NOPC in der Kosmetik

Der Erich-Correns-Schülerpreis – Eine Herausforderung an die Schüler

Die Chemie ist ein für die Volkswirtschaft der DDR Profil bestimmender Industriezweig, die Forschungs- und Produktionsergebnisse auf dem Gebiet der Chemie tragen wesentlich zu hohem Lebensstandard in unserem Lande bei. Fast alle Bereiche des täglichen Lebens werden von chemischen Erzeugnissen beeinflusst. In vielen Fällen sind chemische Produkte entscheidend für das, was gemeinhin als Lebensqualität beschrieben wird. Das betrifft den Bereich der Wohnkultur, der Bekleidung und des Haushaltes ebenso wie die medizinische Versorgung, das Verkehrswesen und die landwirtschaftliche Produktion.

Alle in der Volkswirtschaft erreichten Ergebnisse – der Anteil der Chemie ist sehr hoch einzuschätzen – sind ein überzeugender Ausdruck der Leistungsfähigkeit unserer sozialistischen Gesellschaft.

Grundlage dieser auch im internationalen Vergleich bemerkenswerten Wirtschaftsbilanz ist die erfolgreich verwirklichte Einheit von Wirtschafts- und Sozialpolitik und die konsequente Nutzung der schöpferischen Potenzen der Wissenschaft zur Lösung der durch den XI. Parteitag formulierten anspruchsvollen Aufgaben.

Für uns Chemiker ergibt sich aus der Wirtschafts- und Wissenschaftsstrategie unseres Staates eine besondere Verantwortung.

Die DDR ist ein Land mit nur begrenzten Rohstoffressourcen. Die Chemie, die sich als Wissenschaftsdisziplin mit den Möglichkeiten und den Gesetzmäßigkeiten der Stoffwandlung befaßt, schafft die grundlegenden wissenschaftlichen Voraussetzungen, um die uns verfügbaren Rohstoffe und Zwischenprodukte stoffwirtschaftlich zu veredeln, sie in ihrem Wert zu erhöhen. Durch das Erschließen ganz neuer Stoff- und Verbindungsklassen mit neuen Eigenschaften sowohl für herkömmliche als auch für neue Anwendungsbereiche müssen von unserer Wissenschaftsdisziplin die notwendigen Impulse ausgehen, die es der chemischen Industrie ermöglichen, im internationalen Wettbewerb konkurrieren zu können und auf ausgewählten Gebieten auch führend zu sein. Den synthetisch orientierten Richtungen in der Chemie kommt im Rahmen der Hochveredelungsstrategie

der chemischen Industrie für die Zukunft besonderes Gewicht zu. Die Chemie gewinnt aber auch über den bisherigen Rahmen hinaus für viele weitere Bereiche unserer Volkswirtschaft, insbesondere auf dem Gebiet der Hochtechnologien, stetig wachsende Bedeutung. Die Leistungsfähigkeit der Chemie wird dadurch in immer stärkerem Maße den wissenschaftlich-technischen Fortschritt in unserer Volkswirtschaft insgesamt beeinflussen. Echte Spitzenleistungen erfordern deshalb auch auf dem Gebiet der Chemie Spitzenkräfte /1/. Sie zu entwickeln setzt die umfassende Nutzung aller Potenzen der sozialistischen Gesellschaft voraus. Unser Bildungswesen bietet in Verbindung mit allen Bereichen unserer Gesellschaft gute Voraussetzungen, um auf einem soliden Fundament sozialistischer Allgemeinbildung aufbauend Schüler mit besonderen Interessen, Neigungen und Talenten durch aktive Einbeziehung in die Lösung anspruchsvoller Aufgabenstellungen zu fördern und zu entwickeln /2,3/.

Die Chemische Gesellschaft der Deutschen Demokratischen Republik sieht eine ihrer Aufgaben in der Förderung von besonders talentierten Schülern auf dem Gebiet der Chemie. Dies kommt bereits in zahlreichen Aktivitäten ihrer Mitglieder in Schülergesellschaften, Schülerakademien, Schülerwettbewerben und dgl. zum Ausdruck und spiegelt sich u. a. in Erfolgen unserer Teilnehmer an den internationalen Chemieolympiaden wider. Mit der Ausschreibung des Erich-Correns-Schülerpreises der Chemischen Gesellschaft der Deutschen Demokratischen Republik, der ab 1988 jährlich verliehen wird, ist beabsichtigt, herausragende Leistungen von Schülern auf dem Gebiet der Chemie anzuerkennen.

Damit soll gleichzeitig das Wirken von Erich Correns als Chemiker und Politiker gewürdigt werden. Mit dem Namen des hervorragenden Mitgestalters unserer Gesellschaft ist der Anspruch gekennzeichnet, der an die Kandidaten für die Vergabe dieses Preises gestellt ist.

Als Vorsitzender der Chemischen Gesellschaft der Deutschen Demokratischen Republik wende ich mich an alle Mitglieder und an alle, die mit der Ausbildung von Schülern auf dem Gebiet der Chemie verbunden sind, das Anliegen zu unterstützen, welches mit der Ausschreibung des Erich-Correns-Schülerpreises verknüpft ist.

Alle Schüler, die sich über den obligatorischen Chemieunterricht hinaus mit Chemie befassen, sind aufgerufen, sich den Anforderungen zu stellen und nach auszeichnungswürdigen Ergebnissen zu streben.

Prof. Dr. E. Fanghänel

Literatur:

- /1/ Bericht des ZK der SED an den XI. Parteitag der SED.
Dietz Verlag Berlin 1986
 - /2/ Die Schulpolitik der SED und die wachsenden Anforderungen
an die Lehrer und die Lehrerbildung.
Referat des Ministers für Volksbildung M.Honecker.
Volk und Wissen Volkseigener Verlag Berlin 1986
 - /3/ Deutsche Lehrerzeitung Information 14/87
-

Ausschreibung

zum Erich-Correns-Schülerpreis der Chemischen Gesellschaft der Deutschen Demokratischen Republik

Im Rahmen ihrer Maßnahmen zur Unterstützung der kommunistischen Erziehung der Schuljugend und insbesondere zur Förderung von Begabungen und Talenten verleiht die Chemische Gesellschaft der Deutschen Demokratischen Republik in Abstimmung mit dem Ministerium für Volksbildung anlässlich der Hauptjahrestagung im November 1988 erstmalig den

Erich-Correns-Schülerpreis

für besondere Leistungen von Schülern oberer Klassen auf dem Gebiet der Chemie.

Zugleich werden mit der Stiftung dieses Preises die herausragenden Leistungen von Erich Correns als Chemiker und Politiker gewürdigt.

Die Ausschreibung des Erich-Correns-Schülerpreises erfolgt jährlich zu Beginn eines Schuljahres durch den Vorsitzenden der Chemischen Gesellschaft der DDR nach Abstimmung mit dem Ministe-

rium für Volksbildung und richtet sich vor allem an Schüler der oberen Klassen der zehnklassigen allgemeinbildenden polytechnischen Oberschulen, der Abiturstufe, der Spezialschulen mathematisch-naturwissenschaftlich-technischer Richtung und der Spezialklassen an Universitäten und Hochschulen.

Der Erich-Correns-Schülerpreis wird ab 1989 jährlich im Rahmen der planmäßigen Chemiedozententagung oder der Tagung des Fachverbandes Chemiebildung durch den Vorsitzenden der Chemischen Gesellschaft der DDR verliehen.

Durch den Vorsitzenden der Chemischen Gesellschaft werden jährlich Wettbewerbsaufgaben bzw. -themen für die Verleihung des Erich-Correns-Schülerpreises sowie die Wettbewerbsbedingungen in der pädagogischen und der Fachpresse veröffentlicht. Die Wettbewerbsthemen orientieren sich an aktuellen Forschungsgebieten der Chemie, die in der chemischen Industrie und den wissenschaftlichen Einrichtungen der DDR bearbeitet werden.

Mit den Aufgabenstellungen sollen schöpferische, auf hohem theoretischen und experimentellen Niveau stehende Leistungen der teilnehmenden Schüler sowie wissenschaftliche Phantasie wirksam stimuliert werden.

Auf neue und unkonventionelle Lösungen von Problemen ist in besonderer Weise zu orientieren.

Über die ausgeschriebenen Wettbewerbsaufgaben und -themen hinaus können für die Verleihung des Erich-Correns-Schülerpreises auch Einzel- und Kollektivarbeiten eingereicht werden, die auf Ergebnissen der wissenschaftlich-praktischen Arbeit der Schüler der EOS, des fakultativen Chemieunterrichts der Schüler der 9. und 10. Klassen, der Arbeitsgemeinschaftstätigkeit in schulischen und außerschulischen Einrichtungen und der individuellen Freizeitbeschäftigung beruhen.

Auf Antrag der wissenschaftlichen Betreuer kann der Erich-Correns-Schülerpreis auch an Schüler verliehen werden, die als Teilnehmer an internationalen Chemieolympiaden bei der Lösung einzelner Wettbewerbsaufgaben oder im Rahmen wissenschaftlicher Arbeit unter Anleitung und direkter Betreuung von Wissenschaftlern außergewöhnliche wissenschaftliche Leistungen auf einem Teilgebiet der Chemie nachgewiesen haben.

Teilnahmeberechtigt am Wettbewerb um den Erich-Correns-Schülerpreis sind alle Schüler der zehnklassigen allgemeinbildenden

polytechnischen Oberschulen, der erweiterten Oberschulen, der Klassen Berufsausbildung mit Abitur, der Spezialschulen mathematisch-naturwissenschaftlich-technischer Richtung sowie der Spezialklassen an Universitäten und Hochschulen.

Jeder der am Wettbewerb teilnehmenden Schüler hat das Recht, sich mit der Bitte um Unterstützung und Beratung an die Chemielehrer sowie die Mitglieder der Chemischen Gesellschaft der DDR in Chemie-Sektionen der Universitäten und Hochschulen, in Akademien, Instituten sowie Betrieben der chemischen Industrie zu wenden.

Die Chemielehrer popularisieren und stimulieren die Teilnahme am Wettbewerb um die Verleihung des Erich-Correns-Schülerpreises.

Die Entscheidung über die jährliche Verleihung des Erich-Correns-Schülerpreises trifft eine Jury, die vom Vorsitzenden der Chemischen Gesellschaft der DDR berufen wird. Über die Verleihung des Erich-Correns-Schülerpreises ist der jeweilige Kreis- bzw. Bezirkschulrat zu informieren.

Die Wettbewerbsarbeiten bzw. Anträge auf Verleihung des Erich-Correns-Schülerpreises sind bis zum 1. Juli eines jeden Jahres an folgende Adresse zu senden:

Dr. J. Eick

Technische Hochschule

"Carl Schorlemmer"

Sektion Chemie/ Spezialklassen

Merseburg

4200

Prof. Dr. E. Fanghänel

Vorsitzender der Chemischen
Gesellschaft der DDR

R. Parr

Stellvertretender des
Minister für
Volksbildung.

Aufgabenstellung und Bedingungen zur Teilnahme am Wettbewerb um den Erich-Correns-Schülerpreis der Chemischen Gesellschaft der Deutschen Demokratischen Republik für das Schuljahr 1988/89

1. Aufgabenstellung

1.1. Das Petrolchemische Kombinat Schwedt schreibt folgende Aufgabenstellung aus:

Entwicklung von Möglichkeiten zur Erweiterung der Konsumgüterpalette des Petrolchemischen Kombinats sowie zur Gewährleistung von Umweltschutzmaßnahmen, zum rationellen Umgang und Einsatz von Energie sowie Erdöl und/oder karbochemischen Rohstoffen und zur Nutzung von Sekundärrohstoffen.

Interessenten, die eine Beratung und Unterstützung wünschen, können sich direkt an das Petrolchemische Kombinat Schwedt oder zur Vermittlung an den Fachverband Chemiebildung der Chemischen Gesellschaft der DDR wenden.

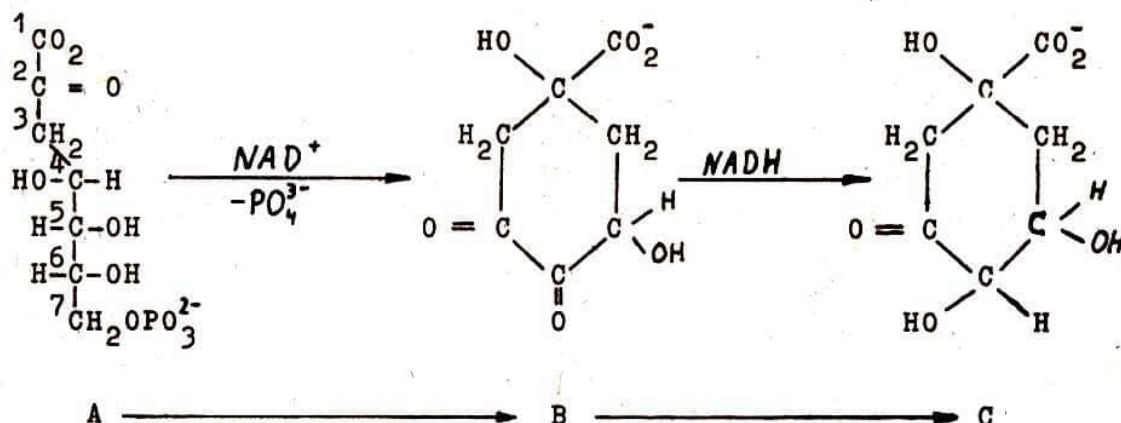
1.2. Theoretische Lösungen zu folgender Aufgabe können im Wettbewerb eingereicht werden:

Bei einer Anzahl von Reaktionen in der lebenden Zelle spielt das Coenzym Nikotinsäureamidadenindinucleotid (NAD^+) eine wichtige Rolle. Dieses Enzym kann (s.u.) über die Aufnahme eines Hydrid-Ions (H^-) in die reduzierte Form NADH umgesetzt werden. Auf diese Weise sind biologische Redoxreaktionen des folgenden Typs möglich:



(B = Base)

Diese Reaktion spielt eine Rolle bei der Umsetzung



- a) An welches Kohlenstoffatom (siehe Numerierung der C-Atome in A) wird in der ersten Stufe die Oxidation



stattfinden? Geben Sie die Strukturformel des gebildeten Produktes an!

- b) Die nächste Reaktionsstufe ist eine basekatalysierte Eliminierung von PO_4^{3-} . Geben Sie die Strukturformel des gebildeten Produktes an!

- c) Geben Sie den Mechanismus der Ringschlußreaktion an, die am Ende zur Bildung von B führt!

- d) Reduktion von B mit NADH ergibt C unter Erhaltung der absoluten Konfiguration am C-Atom Nr. 4. Wenn diese Umsetzung nicht stereospezifisch abliefere, wieviele Stereoisomeren könnten dann gebildet werden?

1.3. Das Thema kann frei gewählt werden. Es sollte einen Beitrag darstellen zur

- Realisierung eines an Aufgaben des Forschungsplanes oder des Planes Wissenschaft und Technik von Kombinat oder des wissenschaftlichen Einrichtungen orientierten Problems zur Erhöhung der Effektivität der chemischen Produktion oder zur Nutzung von Erkenntnissen der Wissenschaft Chemie für die Lösung gesellschaftlicher Aufgaben;

- Weiterentwicklung von Experimenten für den Chemieunterricht.

Jede Arbeit zu einem frei gewählten Thema soll einen theoretischen Teil nach Möglichkeit die Beschreibung praktischer Untersuchungen enthalten, die unter Beachtung gesetzlicher Bestimmungen des Gesundheits-, Arbeits- und Brandschutzes an einer dafür geeigneten Einrichtung durchgeführt wurden.

Der theoretische Teil hat ein vertieftes Verständnis der zugrundeliegenden chemischen Gesetzmässigkeiten auszuweisen. Aus ihm soll ersichtlich werden, daß die Verfasser schöpferisch die chemischen Gesetzmässigkeiten angewendet haben. Die Beschreibung im praktischen Teil soll nachweisen, daß durch die Bearbeiter die experimentelle Seite beherrscht wird.

2. Bedingungen

2.1. Teilnahmeberechtigt am Wettbewerb um den Erich-Correns-Schülerpreis sind Schüler der zehnklassigen allgemeinbildenden polytechnischen Oberschulen, der Klassen Berufsausbildung mit Abitur, der Spezialschulen sowie der Spezialklassen an Universitäten und Hochschulen.

2.2. Die Arbeiten zu frei gewählten Themen sind handschriftlich oder mit Schreibmaschine anzufertigen (30 Zeilen mit 60 Anschlägen je Seite). Der Umfang von 10 Seiten sollte nicht überschritten werden. Jede Arbeit ist in doppelter Ausführung einzureichen. Die Arbeit soll übersichtlich gegliedert sein. Experimentieranordnungen können vom Autor vorgestellt werden, Übersichten, Berechnungen, Fotografien sind zweckmäßig in die Arbeit einzufügen. Skizzen und Diagramme sind nach den Normen des Technischen Zeichnens auszuführen.

2.3. Jede Arbeit ist mit einer Erklärung darüber zu versehen, daß sie vom Autor (Autorenkollektiv) selbständig angefertigt wurde.

2.4. Fachlehrer, Mitarbeiter wissenschaftlicher Einrichtungen des Hochschulwesens, der Industrie oder der Akademie der Wissenschaften können Wettbewerbsteilnehmer unterstützen, z. B. durch Bereitstellung von Experimentiermöglichkeiten, Meßeinrichtungen oder von Literatur. Der Arbeit ist beizufügen, durch wen sie betreut wurde.

BUCHERMARKT

I.A.Resanow

Die Entstehung der Ozeane

Verlag MIR, Moskau/B.G.Teubener Verlagsgesellschaft, Leipzig 1987

Kleine Naturwissenschaftliche Bibliothek, Bd. 62

222 S., 50 Abb., brosch., 12 Mark

Die Ozeane bedecken nahezu 70% der Erdoberfläche mit riesigen Massen von Salzwasser. Sie bergen in ihren Tiefen Geheimnisse und Schätze und bilden zweifellos die Vorratskammer der Menschheit als Energie-, Rohstoff- und Ernährungsquelle der Zukunft.

Von der Schwierigkeit des Erschließens dieser Quellen zeugt der Umstand, daß noch vor wenigen Jahrzehnten unsere Kenntnisse über den Bau der ozeanischen Erdkruste sehr gering waren und somit auch viele das Festland betreffende geologische Fragen nicht geklärt werden konnten, weil über zwei Drittel der Erdkruste so gut wie nicht erforscht waren.

I.A.Resanow gibt mit der hier vorgestellten Publikation in der Reihe der Kleinen Naturwissenschaftlichen Bibliothek umfassende, fachlich-tiefgründige Auskunft ueber die aktuellen Probleme der Ozeanologie als einer noch relativ jungen - erst 50 Jahre alten Wissenschaftsdisziplin -, die sich mit Aufbau und Entstehung der ozeanischen Erdkruste befaßt. Sein Ziel ist es, die im Ergebnis der anhaltenden, intensiven geologischen und geophysikalischen Meeresbodenuntersuchungen der letzten Jahrzehnte gewonnenen Erkenntnisse der modernen Ozeanologie anschaulich darzustellen.

Nach einer kurzen historischen Einleitung zur Entstehungsgeschichte der Wasser- und Salzmassen der Weltmeere gliedert sich die Abhandlung in die drei Teile "Geologie des Meeresbodens", "Geophysik des Meeresbodens" und "Ursachen für die Entstehung der Ozeane". Der Autor beginnt mit der Beschreibung des Reliefs und der strukturellen Baueinheiten des Meeresbodens wie Sedimente, Basalte und magmatische Gesteine, sowie der Formation der Kontinentalränder, welche er am Beispiel des Nordatlantiks, des Mittelmeeres und der fernöstlichen Meere diskutiert.

Dies 8800 4022 8760 TSEM 1/5401

Erkun-
dung Verhal-

tens, Registrierung geophysikalischer Felder (Schwerefeld, Magnetfeld, Wärmefeld) dargestellt, mit deren Hilfe die Informationen über den Aufbau der ozeanischen Kruste gewonnen werden.

Durchgehend belegt Resanow seine wissenschaftlichen Aussagen mit einer Vielzahl von Profilzeichnungen und schematischen Abbildungen, so daß die Lektüre trotz des gebotenen umfangreichen Faktenmaterials nicht trocken erscheint.

So wird beispielsweise die Darlegung über geophysikalische Felder und deren Zusammenhang mit den seismischen Aktivitäten anhand zahlreicher Beispiele geführt. Anschließend wird die Frage, ob der Unterschied zwischen kontinentaler und ozeanischer Erdkruste von prinzipieller Natur ist, aufgegriffen und geklärt.

Den Abschluß des Buches bildet die Diskussion der verschiedenen Ursachen und Mechanismen der Ozeanisierung, der Entstehung der Tiefseebecken sowie der Natur der Unterwasserrücken, wiederum mit zahlreichen Schemata versehen.

Eine Arbeit, die fachlich fundierten Einblick in das gesamte Gebiet der Ozeanologie, ihre gesicherten Erkenntnisse und ihre Hypothesen ermöglicht.

Matthias Müller

impuls

68

Schülerzeitschrift für
Physik, Chemie und Biologie 6/88

(22. Jg.) Preis 60 Pf.
INDEX 322004 ISSN 0232-9220



Albert Schweitzer



Dr. E. Wendler	Quantum-Wells und Supergitter	3
Dr. L. Wendler	neue Halbleiterstrukturen für Mikro- und Optoelektronik (Teil 3)	7
	WISSENSWERTES	9
	In eigener Sache	11
Dr. A. Kießling	Fotolithografie und Halbleiterelektronik	18
	WISSENSWERTES	20
E. Mey	Das Naturhistorische Museum Rudolstadt	25
S. Rex	Runges Musterbilder	34
A. Niehardt	Schülerpreis der physikalischen Gesellschaft der DDR 1988	39
J. Pittelkow	Zur Anwendbarkeit von Ergebnissen der Urgeschichtsforschung	44
	BÜCHERMARKT	

impuls 68 – SCHÜLERZEITSCHRIFT FÜR PHYSIK, CHEMIE UND BIOLOGIE

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

Die Zeitschrift erscheint im Eigenverlag der Redaktion „impuls 68“

Anschrift der Redaktion: Max-Wien-Platz 1, Jena, 6900, Telefon 271 22/2 17

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

Erscheinungsweise: zweimonatlich

Heftpreis: –,60 M

Bezugsmöglichkeiten: durch den Postzeitungsvertrieb

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

Chefredakteur: Andreas Erdmann, stellv. Chefredakteur: Karsten König

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

Gestaltung: Erdmann, Rodriguez

Redaktionsschluß: 15. 9. 1988

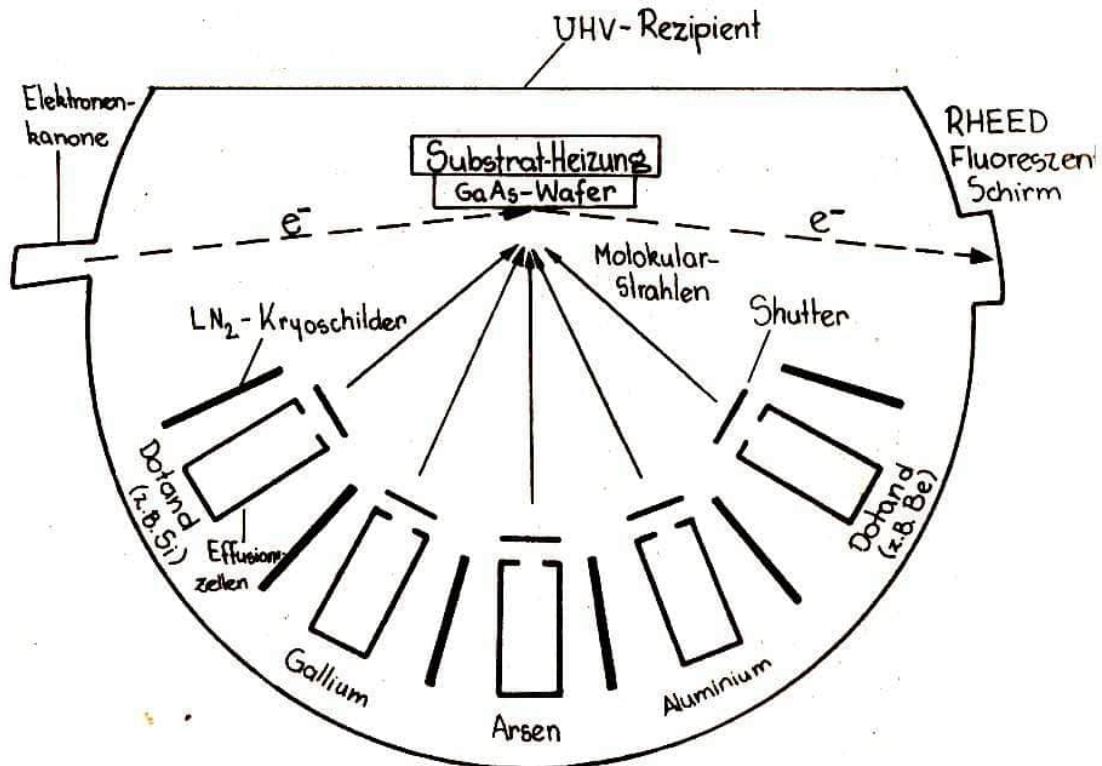
Titelbild: Albert Schweitzer

4. Molekularstrahlepitaxie

Unter Molekularstrahlepitaxie (MBE: molecular beam epitaxy) versteht man einen Verdampfungsprozeß zur Erzeugung von Atom- bzw. Molekularstrahlen und deren Abscheidung auf einem einkristallinen Substrat unter Ultrahochvakuumbedingungen. Die MBE ist heute das Schichtherstellungsverfahren, welches mit der höchsten Güte arbeitet und die größten Anwendungsmöglichkeiten bietet. Dieses Verfahren wurde Ende der 60er Jahre durch die amerikanischen Physiker Cho und Arthur entwickelt und seither ständig vervollkommenet.

In Abbildung 7 ist eine MBE-Anlage, wie sie üblicherweise für die III-V Systeme verwendet wird, schematisch dargestellt. Sie besteht aus einem Stahlgefäß, dem Rezipienten, in dem ein Ultrahochvakuum (UHV) mit einem Druck kleiner als 10^{-8} Pa stabil erzeugt werden kann. Die Beherrschung dieses extremen Ultrahochvakuums unter routinemäßigen Laborbedingungen ist entscheidend für die Güte der herzustellenden Schichtstrukturen. In die Vakuumkammer ragen die Effusionszellen, die sogenannten Knudsen-Zellen, hinein. In ihnen werden die verschiedenen Materialien verdampft und es entstehen die Atom- bzw. Molekularstrahlen. Für die Herstellung von GaAs- $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ - Heterostrukturbauelementen benötigt man gewöhnlich fünf Knudsen-Zellen: je eine für Gallium, Arsen und Aluminium, eine für die n-Dotierung (z.B. Si) und eine für die p-Dotierung (z.B. Be). Die Molekularstrahlen werden auf einem einkristallinen Substrat abgeschieden, welches auf einer bestimmten Temperatur gehalten wird. Die Stärke der Strahlen kann kontinuierlich über die Temperatur in den Knudsen-Zellen geregelt werden: Vor den Knudsen-Zellen befinden sich mechanische Schieber, die sogenannten Shutter, mit deren Hilfe die Molekularstrah-

len abrupt unterbrochen bzw. gestartet werden können.



Schematische Anordnung einer MBE- Anlage für die Herstellung von Heterostrukturen aus III-V Halbleitern

Während des MBE-Prozesses werden solche Bedingungen realisiert, daß das Schichtwachstum auf dem Substrat zweidimensional erfolgt, d.h. es wird erst eine Atomlage vollständig fertiggestellt, bevor die nächste Atomlage aufwächst. Die Aufwachsrate beim MBE-Prozess ist sehr niedrig; sie beträgt $0,1 \dots 5 \mu\text{m/h}$, d.h. pro Sekunde wächst etwa eine Atomlage auf. Da man mit den Shuttern die Molekularstrahlen in viel kürzeren Zeiten unterbrechen kann, ist man in der Lage, im atomaren Maßstab genaue Schichten herzustellen.

Die niedrigen Aufwachsrate sind im wesentlichen durch die im Vergleich zu anderen Epitaxieverfahren relativ niedrigen Substrattemperaturen ($500 \dots 700^\circ\text{C}$) während des Wachstums bedingt. Neben der guten Steuerbarkeit des Prozesses hat dies den weiteren Vorteil, daß die abgeschiedenen Atome nicht in die Tiefe "diffun-

dieren". Dadurch sind die bereits erwähnten abrupten Übergänge z.B. zwischen GaAs und $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ erst möglich und es entstehen keine Mischgebiete. Andererseits führt die Langsamkeit des Wachstumsprozesses zu den hohen Anforderungen an das Vakuum. In einer MBE-Anlage existieren Drücke von 10^{-8} Pa, das heißt, im Volumen eines Würfels von 100 Mikrometer Kantenlänge dürfen sich nur etwa drei Gasmoleküle befinden, während bei normalem atmosphärischem Luftdruck 30 Billionen (3×10^{13}) Gasmoleküle vorhanden sind. In Abhängigkeit vom Druck in der Beschichtungskammer scheiden sich auf der Substratoberfläche Restgasatome ab, was als Kontamination bezeichnet wird. Die Zahl der pro Sekunde auf einer Fläche von 1 mm^2 auftreffenden Teilchen beträgt bei Zimmertemperatur und einem Druck von 10^{-8} Pa etwa 3×10^8 . Das ist sehr wenig im Vergleich zu den Bedingungen bei normalem Luftdruck ($\sim 10^5$ Pa), wo etwa 3×10^{21} Teilchen pro Sekunde und Quadratmillimeter auftreffen. Die Folge von Kontaminationen während des Schichtwachstums ist nicht nur eine Verunreinigung der Schichten, sondern durch den Verlust der exakten Kristallgitterinformation sind die aufwachsenden Schichten stark defekthaltig. Zur weiteren Vermeidung von Kontaminationen sind im UHV-Rezipienten sogenannte Kryoschilder enthalten, die auf $T=77\text{K}$, der Temperatur des flüssigen Stickstoffs, gehalten werden. Dort erfolgt dann bevorzugt die Kontamination von Restgasatomen und nicht auf dem zu beschichteten Substrat.

In der Praxis werden die gewünschten Schichtparameter über einen Rechner eingegeben, der dann über die Shutter die Reihenfolge der verschiedenen Elemente sowie die entsprechenden Schichtdicken und über die Temperatur der Knudsen-Zellen den Volumenanteil des jeweiligen Elements, d.h. beispielsweise den Mischungsparameter x im $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ oder die Dotandenkonzentration steuert. Die Kontrolle und die rechnergestützte Steuerung des Wachstumsprozesses im MBE-Regime sind die Grundlage für die enormen Möglichkeiten, die diese Methode hinsichtlich Genauigkeit und Variabilität des Schichtaufbaus bietet. Man kann sozusagen Schichtfolgen nach Wunsch, d.h. Bauelemente nach Maß mit vorherbestimmbaren Kompositions- und Dotierungsprofilen herstellen.

Die Kontrolle der aufwachsenden Schichten erfolgt während der Abscheidung mittels dem Festkörperanalyseverfahren RHEED (reflection high mery electron diffraction, Beugung hochenergetischer

Elektronen in Reflexion). Bei diesem Verfahren werden Elektronen mit einer Energie von 5...20 keV unter einem flachen Glanzwinkel von $1..3^\circ$ auf die Probe gestrahlt. Das Beugungsbild der reflektierten Elektronen wird auf einem Fluoreszenzschirm sichtbar. Daraus erhält man Aussagen über die Kristallstruktur und die Rauigkeit der Oberfläche.

Eine weitere Methode, die auch während des Schichtwachstums angewendet wird, ist die Auger-Elektronen-Spektroskopie (AES). Dabei wird die Oberfläche ebenfalls mit Elektronen bestrahlt, wodurch die Atome angeregt werden. Beim Auger-Effekt wird die Anregungsenergie nicht in Form eines Lichtquants abgegeben, sondern sie dient zur Abtrennung eines Elektrons aus dem Atomverband, also zur Selbstionisation der Atome. Die Energie der emittierten Auger-Elektronen wird registriert. Sie entspricht bestimmten Elektronenübergängen im Atom, kennzeichnet also in erster Linie die Atomart. In Verbindung mit der Intensität der bei den jeweiligen Energien gemessenen Elektronen kann man damit die chemische Zusammensetzung der Oberfläche ermitteln.

Die Informationstiefe der beiden Oberflächenanalyseverfahren RHEED und AES ist durch die Eindringtiefe der Elektronen bestimmt und beträgt etwa 5 nm.

Bisher wurde nur auf die prinzipiellen anlagentechnischen Möglichkeiten der MBE eingegangen, ohne den Einfluß der konkreten Materialien zu diskutieren. Um jedoch zwei Halbleiter epitaktisch aufeinander ohne Störstellen aufwachsen zu lassen, müssen vor allem zwei Bedingungen erfüllt sein: beide Halbleiter müssen die gleiche Kristallstruktur besitzen und ihre Gitterkonstanten dürfen sich nur wenig unterscheiden. Die experimentellen Erfahrungen zeigen, daß die Gitterfehlpassung

$$f = (a_{\text{Schicht}} - a_{\text{Substrat}}) / a_{\text{Substrat}}$$

kleiner sein muß als $3...4 \times 10^{-4}$. Für das System $\text{Ga}_{0.75}\text{Al}_{0.25}$ erhält man unter Verwendung der im Abschnitt 2 angegebenen Formel für die Gitterkonstante des Mischkristalls einen Wert von $f = 3,4 \times 10^{-4}$ für die Gitterfehlpassung (Daten siehe Abschnitt 2), d.h. $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ wächst für nicht zu große x sehr gut auf GaAs auf.

Damit lassen sich die Vorteile der MBE folgendermaßen zusammenfassen:

- eine hohe Reinheit des Prozesses durch Ultrahochvakuumbedingungen,
- eine niedrige Aufwuchsrate ($1 \mu\text{m/h}$) und damit nahezu defektfreie einkristalline Schichten,
- eine niedrige Wachstumstemperatur,
- eine individuelle Kontrolle und Steuerung der einzelnen Effusionszellen und
- eine umfangreiche Meßtechnik zur Analyse der Schichten während des Wachstums und zur rechnergestützten Steuerung des Prozesses.

Wissenswertes:

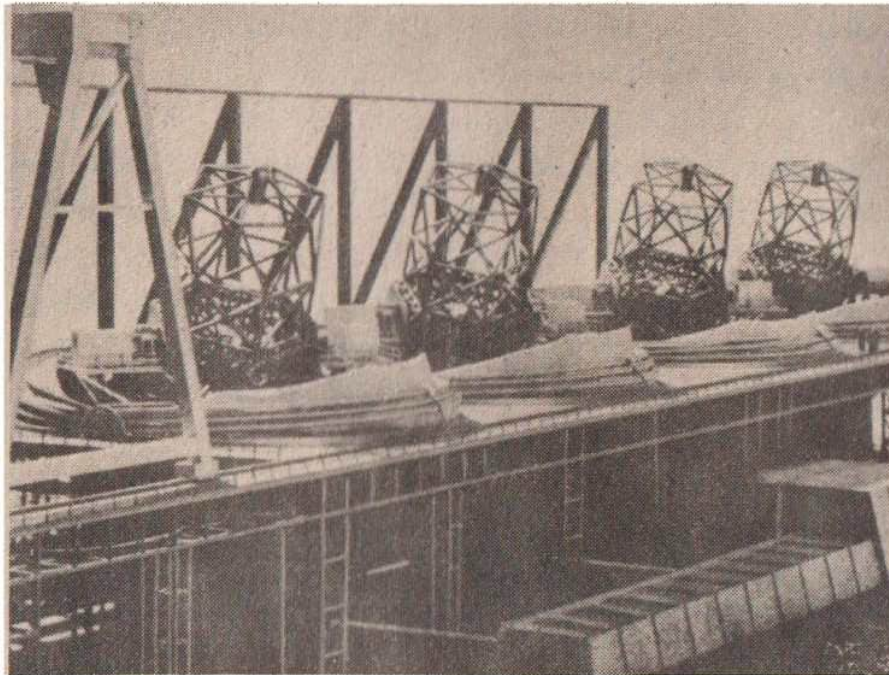
Ein neues Riesenteleskop in Aussicht

Es wird nur noch wenige Jahre dauern, bis das 6-Meter-Teleskop der UdSSR in Selentschuk nicht mehr das größte Fernrohr der Welt ist. Zahlreiche neue Projekte in den USA, in der Sowjetunion und in den westeuropäischen Ländern für die 90er Jahre und über das Jahr 2000 hinaus lassen eine Vielzahl von Großteleskopen erwarten.

Recht konkrete Gestalt nimmt in den nächsten Jahren ein Vorhaben der ESO (Europäisches Südobservatorium) an. Diese Sternwarte "La Silla" - in den Bergen der Atacama-Wüste in Chile gelegen - wird gemeinschaftlich von 8 europäischen Ländern betrieben: Belgien, BRD, Dänemark, Frankreich, Italien, Niederlande, Schweden und Schweiz. Sie wurde 1965 gebaut und besitzt seit 1976 mit einem 3.6-m-Spiegel bereits ein beachtliches Instrument.

Für das neue Großteleskop wurde in den Jahren 1984-87 eine Reihe von Detailstudien erarbeitet. Da die Finanzierungsfragen nun geklärt sind - immerhin kostet das Teleskop 382 Millionen DM - kann der Bau beginnen. Die Teilinbetriebnahme ist bereits 1994/95 vorgesehen.

Das Instrument wird aus 4 Teleskopen von je 8 m Durchmesser bestehen. Die Gesamtfläche entspricht also der eines 16-m-Spiegels.



Die vier Teleskope können dabei einzeln oder auch zusammengesaltet benutzt werden, so daß die Beobachtung sehr effektiv und flexibel gestaltet werden kann. Anstelle der üblichen soliden Kuppeln werden die Teleskope mit aufblasbaren Schutzhüllen ausgerüstet. Die Spiegel werden aus Zerodur bestehen, mit nur wenigen 10 cm Dicke im Vergleich zu gegenwärtigen Teleskopen sehr dünn sein, wodurch vor allem ihre Masse sinkt. Da dünne Spiegel andererseits problematisch in der stabilen Lagerung sind, wird bei dem Großteleskop das neuartige Prinzip der "aktiven Optik" angewandt. Das bedeutet, daß die Lagerung des Spiegels während der Beobachtung über einen Computer korrigiert werden kann. Die Steuerung des gesamten Komplexes wird von der ESO-Zentrale in Garching bei München möglich sein. Diese Beobachtung über Kontinente hinweg ist bereits bei zwei Teleskopen der ESO möglich. Wie schon beim 6-m-Teleskop der Sowjetunion werden auch die vier Einzelteleskope azimutal gelagert.

Neben dieser Mammut-Technik, die erfolgreich nur noch ein Computer beherrschen kann, werden auch eine Reihe hochmoderne Empfänger eingesetzt werden, so Kameras und Spektrographen verschiedener Auflösung im optischen und infraroten Spektralbereich.

Von dem Einsatz dieses Teleskopes erwarten die Fachleute eine Reihe von Entdeckungen, kann man doch mit diesem Gerät Sterne beobachten, die mehr als 1 Milliarde Mal schwächer leuchten, als die gerade noch mit bloßem Auge erkennbaren Sterne.

In eigener Sache

Spende für das Albert-Schweitzer-Werk

Die Redaktion der Zeitschrift "Impuls 68" erhielt für die Anfertigung eines Sonderheftes (in Zusammenarbeit mit der mathematischen Schülerzeitschrift "Wurzel") für das Pioniertreffen in Karl-Marx-Stadt eine Prämie, wovon 500,-- Mark auf das Spendenkonto für das Albert-Schweitzer-Werk überwiesen wurden (Staatsbank Konto-Nummer 5161-31-161, konstant 329, variabel 1 oder Postscheckamt Dresden 8299-51-777). Damit möchte die Redaktion dazu beitragen, die Hilfssendungen für das Urwaldhospital in Lambarene (Gabun, Westafrika) zu finanzieren. Das 1963 gegründete Albert-Schweitzer-Komitee des DRK der DDR stellt jährlich ein bis zwei solcher Hilfssendungen, bestehend aus Medikamenten, medizinischen Instrumenten und Wäsche, zusammen.

Das Urwaldhospital am Ufer des Flusses Ogowe wurde vor 75 Jahren durch Albert Schweitzer (1875 - 1965) und seine Frau Helene Schweitzer-Bresslau (1879 - 1957) begründet. Sie begannen dieses großartige humanistische Werk unter vielen Schwierigkeiten und gaben dabei gleichzeitig eine in jeder Hinsicht gesicherte Zukunft in der zivilisierten Welt auf. So war Albert Schweitzer, der in Straßburg, Berlin und Paris studierte, ein geachteter Theologe und Philosoph. Auch als Kenner des Orgelbaus sowie als Künstler im Orgelspiel wurde er in der ganzen Welt hoch geschätzt. Mit 30 Jahren begann er noch ein 8-jähriges Medizinstudium, schon mit der Motivation, als Arzt den afrikanischen Menschen zu helfen.

Der Schlüssel zum geistigen Verständnis von Albert Schweitzer bildet seine "Ethik der Ehrfurcht vor dem Leben". In seinem autobiographischen Werk "Aus meinem Leben und Denken" schreibt er z.B.: "Dem wahrhaft ethischen Menschen ist alles Leben heilig, auch das, das uns vom Menschenstandpunkt aus als tiefer stehend vorkommt. ... Ist er von der Ethik der Ehrfurcht vor dem Leben berührt, so schädigt und vernichtet er Leben nur aus Notwendigkeit, der er nicht entrinnen kann, niemals aus Gedankenlosigkeit. Wo er ein Freier ist, sucht er nach Gelegenheit, die Seligkeit zu kosten, Leben beistehen zu können und Leid und Vernichtung von ihm abzuwenden." (zitiert aus "Albert Schweitzer, ausgewählte Werke in fünf Bänden", Berlin 1971, Band 1, S. 242/243).

Albert Schweitzer, der sich auch durch eine Übereinstimmung von Wort und Tat, von selbständigem Denken und konsequenter Durchsetzung der sich daraus als notwendig ergebenden Handlungen auszeichnete, zählt zu den großen deutschen Menschen, deren humanistisches Erbe bewahrt werden muß. Die geistige Auseinandersetzung mit seinen philosophischen und ethischen Gedanken kann auch heute noch für viele Menschen eine Quelle neuer Erkenntnisse sein. Seine Gedanken zur Ehrfurcht vor dem Leben besitzen in Anbetracht der zunehmenden Umweltbelastungen durch die Industrie, des weiterhin drohenden Hungertodes für jährlich mehrere Millionen Menschen in den Entwicklungsländern sowie der Tatsache, daß sich immer noch Menschen in Kriegen gegenseitig morden, höchste Aktualität. Auch für den persönlichen Bereich der zwischenmenschlichen Beziehungen, kann das Leben von Helene und Albert Schweitzer Impulse geben, eigene Lebenshaltungen, Moral- und Wertvorstellungen zu überdenken.

Leider wissen viele Menschen nur, daß Albert Schweitzer eben der Urwalddoktor irgendwo in Afrika war. Wer aber mehr über diesen außergewöhnlichen Menschen erfahren möchte, der lese als Einführung die Biographie von Boris M. Nossik "Albert Schweitzer" (erschienen in der Reihe "Humanisten der Tat") oder besuche die Albert-Schweitzer-Gedenkstätte in Weimar (Kegelplatz 4; Dienstag bis Sonnabend von 9.00 - 12.00 Uhr und von 13.00 - 16.00 Uhr geöffnet). Dort kann man auch Einzelheiten über das heutige Hospital erfahren, dessen finanzielle Kosten zu rund drei Viertel durch Spenden und zu einem Viertel durch den Staat Gabun abgedeckt werden.

Unter Fotolithografie versteht man im allgemeinen ein Vervielfältigungsverfahren für den Zink- und Offsetdruck.

Mit der stürmischen Entwicklung der Halbleiterelektronik wird dieses Verfahren, welches die Reproduktion, das heißt die verzeichnisfreie Abbildung von flächenhaften Vorlagen gestattet, auch für die Vorbereitung der selektiven Diffusion in Halbleitermaterialien eingesetzt.

Seit der Erfindung des Transistors und mit Beginn seiner massenhaften Fertigung, zuerst auf Germanium, später auf Silizium basierend, wurden die notwendigen Strukturen mit Hilfe der Fotolithografie auf das Halbleitermaterial aufgebracht.

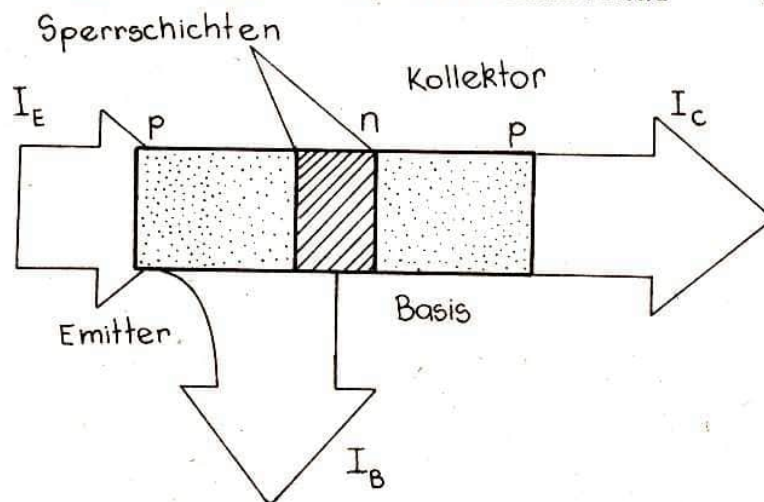


Bild 1: Prinzipieller Aufbau eines Transistors

Ein einzelner bipolarer Transistor z.B. besitzt 3 Anschlüsse - Emitter, Kollektor und Basis - die an den 2 dicht beeinanderliegenden pn-Übergängen des Halbleitermaterials kontaktiert sind.

Die in den Emitter injizierten Minoritätsträger werden durch eine an der Basis anliegende Vorspannung derart beschleunigt, daß sie das sehr dünne Basisgebiet "durchfliegen" und am Kollektor abgesaugt werden können.

Diese Struktur im Halbleiter (Silizium) wird durch unterschiedliche Dotierung der Bereiche erreicht. Dabei erfolgt die Dotierung z.B. mit der Diffusion von entsprechenden Fremdatomen (also z.B. Arsen, Gallium, Phosphor u.s.w.). Um nun die oben dargestellte Struktur zu erhalten, wird eine Maske auf der Halbleiterfläche benötigt, welche das Eindringen der Diffusionsatome nur in den benötigten Gebieten gestattet. Bereits bei einer so einfachen Struktur werden teilweise sehr kleine Abmessungen der Maskenöffnungen erforderlich, die im μm -Bereich liegen.

Die erwähnte Maske, die aus diffusionshemmenden und durchlässigen Gebieten besteht, kann durch Ätzen einer Oxidschicht (SiO_2) oder einer Si_3N_4 -Schicht direkt auf der Halbleiteroberfläche erzeugt werden, wobei für den Ätzprozeß abermals eine Schablone notwendig ist. Die Herstellung dieser Schablonen ist Aufgabe der Fotolithografie.

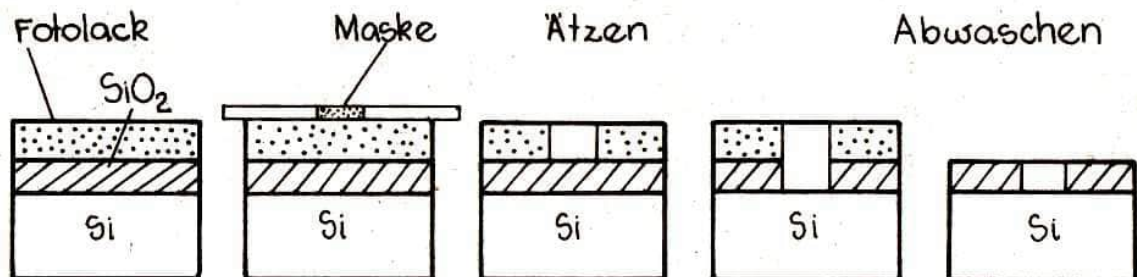


Bild 2: Schrittfolge zur Herstellung einer Struktur im Halbleiter

Ein lichtempfindlicher Fotolack wird mit einem Bild der gewünschten Struktur beleuchtet (UV-Licht) und härtet an den hellen Stellen aus. Eine nachfolgende Behandlung entfernt den an den dunklen Stellen des Bildes nicht ausgehärteten Lack und schafft somit die Schablone, die beim nachfolgenden Ätzprozeß die darunterliegende Oxidmaske zu bilden erlaubt. Durch die nicht mehr oxidierten Bereiche kann nun die gewünschte Dotierung erfolgen. Anschließend wird der Chip gereinigt, neu oxidiert, mit Fotolack beschichtet und ein weiterer Belichtungsschritt kann erfolgen. Sollen mehrere Transistoren auf einem Chip zu einer Schaltungsanordnung verbunden werden, so benötigt man noch Leiterbahnen,

Widerstände und vielleicht auch Kondensatoren, die sich alle in Form unterschiedlich dotierter pn-Übergänge (Widerstände und aktive Bauelemente), durch metallische Beschichtung und durch isolierte Gebiete (Kondensatoren) herstellen lassen.

Für die unterschiedlichen Diffusionsprozesse werden natürlich unterschiedliche Masken benötigt, so daß für komplizierte hochintegrierte Schaltkreise mehr als 10 solcher Schablonen eingesetzt werden. Am augenfälligsten ist dabei die immer stärkere Miniaturisierung der Einzelstrukturen bei Anwachsen ihrer Anzahl auf einem Chip. Waren es zu Beginn der 60iger Jahre nur wenige Funktionen, die in Analogie zur gedruckten Schaltungstechnik auf einem Chip realisiert wurden, so wuchs in den folgenden Jahren ihre Zahl rasch an. Je nach Komplexität enthielten die ersten Logikgatter und Analogschaltkreise einige 10 bis einige 100 Transistoren. Mit der weiteren Entwicklung der Rechenelektronik und insbesondere mit der Erfindung des Mikroprozessors stieg der Bedarf an hochintegrierten Schaltkreisen (Speicher, Interfacebausteine) sprunghaft an und immer mehr Transistoren wurden auf einem Chip integriert.

Der 1 kbit Baustein U 253 (1977) hatte bereits etwa 4 500 Transistoren, der U 2164 140 000 und der nunmehr durch das Kombinat Mikroelektronik Erfurt produzierte Speicher U 61 256 D besitzt etwa 550 000 Transistoren auf einem Chip. Die weitere Entwicklung ist bereits abgesteckt. Die japanische Firma NEC produziert seit 1987 einen 4 Mbit Speicher mit ca. 8 Millionen Transistoren und der erste 16 Mbit Schaltkreis mit 40 Millionen Transistoren wurde ebenfalls schon vorgestellt. Zur Herstellung dieser Speicher sind Masken mit minimalen Strukturbreiten von $0,7 \mu\text{m}$ erforderlich, die einzelne Speicherzelle belegt eine Fläche von $1,5 \mu\text{m} \times 3,25 \mu\text{m}$ und die Leistungsaufnahme des gesamten Speicherschaltkreises beträgt ca. 0,5 W.

So "einfach" der oben geschilderte Prozeß zur Strukturierung des Halbleitermaterials erscheinen mag, so sind doch zum Erreichen der genannten kleinen Strukturen einige Bedingungen zu beachten. Die Strukturen für die Ätzmaske werden, nachdem sie bereits in einem vorhergehenden Abbildungsprozeß von einer großen, gezeichneten Vorlage verkleinert wurden, mit einem Linsensystem auf den Chip abgebildet.

Im Gegensatz zur geometrischen Optik, die eine strenge Punkt zu Punkt - Abbildung annimmt, ist jedoch der Einfluß verschiedener Faktoren auf die Bildqualität zu berücksichtigen. Infolge der Beugung an den Randbegrenzungen des abbildenden Linsensystems wird ein Objektpunkt nicht in einen Punkt abgebildet sondern anstelle des (dimensionslosen) Punktes entsteht eine räumlich ausgedehnte Intensitätsverteilung.

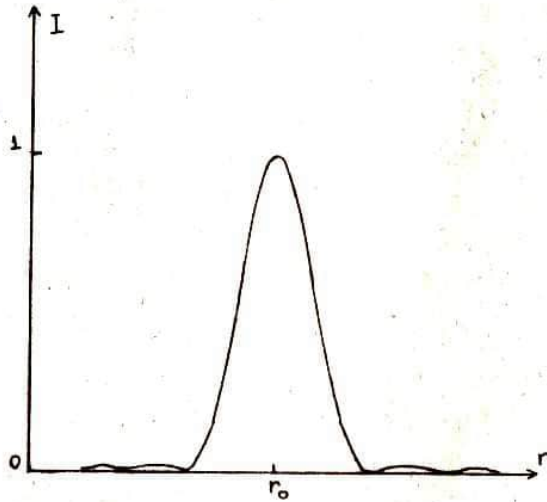


Bild 3:

Theoretische Intensitätsverteilung in der Bildebene für einen Bildpunkt

Die Breite des zentralen Maximums, welches ca. 84% der gesamten Intensität enthält, hängt von der sogenannten numerischen Apertur A des Objektives und von der Wellenlänge des verwendeten Lichtes ab ($A = \text{nutzbarer Durchmesser} / \text{Brennweite}$). Im Bild erscheint ein Objektpunkt also mehr oder weniger verwaschen.

Zwei benachbarte Objektpunkte können im Bild noch unterschieden werden, wenn das Maximum der Intensitätsverteilung des ersten Bildpunktes mindestens einen Abstand von $0,61 \cdot \lambda / A$ vom Maximum der zweiten Intensitätsverteilung hat. Dieses Kriterium, das aber nur für aberrationsfreie (fehlerlose) Linsensysteme gilt, ist für die Fotolithografie von außerordentlicher Bedeutung, wenn man bedenkt, daß die Strukturbreiten bei modernen mikroelektronischen Schaltkreisen nur $0,7 - 2 \mu\text{m}$ betragen und eine weitere Miniaturisierung angestrebt wird.

Da moderne fotolithografische Objektive Aperturen von etwa $0,3$ realisieren (das theoretische Maximum ist 1), erreicht man mit grünem Licht (550 nm) eine Auflösung von ca. $1 \mu\text{m}$. Hier wird deutlich, daß für kleinere Strukturabmessungen entweder eine wesentliche Vergrößerung der numerischen Apertur und/oder die Verwendung kürzerer Wellenlängen anzustreben ist. Beides ist mit

einer Reihe von Problemen verbunden, die ihren Ursprung in der Notwendigkeit haben, die Linsensysteme so zu konstruieren, daß sie außer den Beugungserscheinungen nicht noch andere Bildfehler - Aberrationen - hervorrufen. Die Korrektur aber gerade dieser Aberrationen hängt wiederum von der verwendeten Wellenlänge ab und vermindert im allgemeinen die erreichbare Apertur.

Aberrationen

Die bei Beleuchtung mit einer Punktlichtquelle aus dem Objektiv austretende Wellenfront ist in der Realität keine Kugelfläche mehr, sondern weicht mehr oder weniger von der Idealform ab. Ziel der Konstruktion von Hochleistungsoptiken ist es, diese Aberrationen zu minimieren. Im folgenden sind einige dieser Aberrationen kurz beschrieben.

Sphärische Aberrationen

Als sphärische Aberrationen werden diejenigen Abweichungen bezeichnet, die für von der optischen Achse weiter entfernte Lichtstrahlen unterschiedliche Schnittpunkte nach Durchgang durch das optische System verursachen.

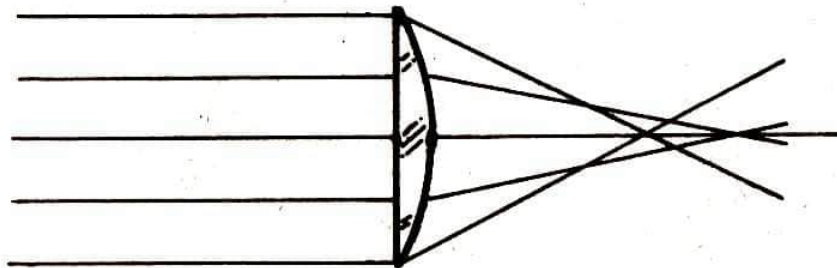


Bild 4: Auswirkung der sphärischen Aberration.
Unterschiedlich von der optischen Achse entfernte Lichtstrahlen im parallelen Lichtbündel besitzen unterschiedliche Brennpunkte

Anstelle eines Bildpunktes erhält man wiederum ein Scheibchen, das besonders bei Objektiven mit großen Eintrittsöffnungen wesentlich größer als das durch die Beugung hervorgerufene Scheibchen sein kann. Während es für Bildpunkte, die auf der optischen Achse liegen, zu einer symmetrischen Verwaschung des Punktes kommt, erfahren Punkte außerhalb der optischen Achse darüberhinaus eine unsymmetrische Verzerrung. Dieser Effekt wird als Koma bezeichnet.

Bildfeldwölbung und Astigmatismus

Die in einer Ebene liegenden Objektpunkte werden im allgemeinen nicht in eine Ebene sondern auf eine gekrümmte Fläche scharf abgebildet. Den Grad der Krümmung dieser Fläche nennt man Bildfeldwölbung. Da die Chipoberflächen in der Regel eben sind, kommt es durch diesen Effekt zu einem Bildschärfeverlust nach dem Bildrand hin. Darüberhinaus werden die beiden zueinander senkrechten Achsen eines Kreuzes durch eine einfache Linse nicht auf die gleiche Fläche abgebildet. Diese Erscheinung bewirkt eine weitere Zunahme der Unschärfe im Bild und wird Astigmatismus genannt.

Verzeichnung

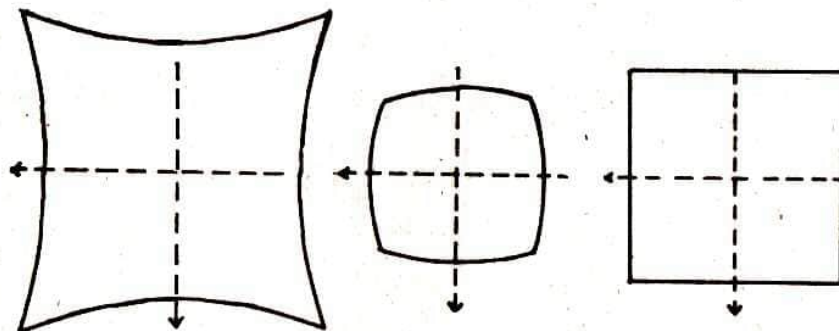


Bild 5: Die Auswirkung der Verzeichnung eines optischen Systems bei der Abbildung eines Quadrates

Der mit der geometrischen Optik berechnete Abbildungsmaßstab ist im allgemeinen nicht über die gesamte Bildfläche konstant. Mit zunehmender radialer Entfernung von der optischen Achse wird er entweder größer (positive Verzeichnung) oder kleiner (negative Verzeichnung). Ein Quadrat wird demzufolge entweder als Kissen mit konkaven Seiten oder als Tonne mit konvexen Berandungen abgebildet.

Durch eine entsprechende Kombination unterschiedlicher Linsen aus unterschiedlich brechenden Gläsern lassen sich all diese Bildfehler und Aberrationen minimieren, was aber mit beträchtlichem Aufwand erkauft wird. So bestehen moderne fotolithografische Objektive bei einem Abbildungsmaßstab von 5:1 und einer numerischen Apertur von 0,3 aus bis zu 20 Einzellinsen. Die erreichbare Auflösung liegt dabei bei ca. $1\text{ }\mu\text{m}$.

Angesichts dieses Aufwandes ist es verständlich, wenn man bestrebt ist, andere Verfahren zur Herstellung der Strukturmasken zu entwickeln. Dabei sind Bildfeldgröße, Auflösungsvermögen und auch eine hohe Produktivität bei der Belichtung der lackbeschichteten Chips von ausschlaggebender Bedeutung.

Wenn z.B. die Elektronenstrahlolithografie, die Elektronenstrahlen zur Herstellung der Masken verwendet, auch eine sehr hohe Auflösung erreicht, so ist sie jedoch nicht in der Lage, die Anforderungen bezüglich einer Massenfertigung bei vertretbarem ökonomischen Aufwand zu erfüllen. Deshalb findet sie gegenwärtig verbreitet nur Anwendung bei der Herstellung der Muttermasken, die dann ihrerseits fotolithografisch auf die Chips übertragen werden.

Verwendet man anstelle des Lichtes elektromagnetische Wellen mit beträchtlich kürzeren Wellenlängen - Röntgenstrahlen -, die z.B. in einem Synchrotron, einem speziellen Elementarteilchenbeschleuniger, erzeugt werden, hofft man Strukturen bis herunter zu $0,2\text{ }\mu\text{m}$ beherrschen zu können. Doch auch dieses Verfahren ist zur Zeit noch sehr aufwendig und für die Massenproduktion kaum geeignet.

Eine mögliche Lösung wäre die Verwendung der nichtlinearen optischen Phasenkongjugation /vgl.:impuls 68 1988 Heft 4 und 5/. Der wesentliche Vorteil dieser Technik liegt darin, daß prinzipiell keine Linsensysteme für die Erzeugung einer Abbildung benötigt werden und daher die oben diskutierten Abbildungsfehler entfallen. Außerdem lassen sich mit vergleichsweise geringem Aufwand

relativ große numerische Aperturen erzielen, was die Auflösung des Systems bei Verwendung kurzer Wellenlängen in den Submikrometerbereich bringt. Voraussetzung ist allerdings eine geeignete Laserlichtquelle und ein geeignetes Medium, in dem der nichtlineare Wechselwirkungsprozeß ablaufen kann.

Es wird eingeschätzt, daß dabei Aperturen von ca. 0,4 und Bildfeldgrößen bis zu 4 cm^2 erreicht werden, wobei die Auflösung bei einer Wellenlänge von 550 nm $1 \text{ }\mu\text{m}$ betragen kann. Eine Verringerung der Wellenlänge in den ultravioletten Bereich (z.B. durch die Verdopplung der Laserfrequenz - 275 nm) erhöht dementsprechend das Auflösungsvermögen auf $0,5 \text{ }\mu\text{m}$.

Wissenswertes:

Frage: Wie kam der Adamsapfel zu seinem Namen?

Antwort: zitiert nach "Taschenbuch der Anatomie"

von Hermann Voss und Robert Herrlinger Band II

Unveränderter Nachdruck der 15. Auflage

Walther Graumann

Universität Tübingen

VEB Gustav Fischer Verlag Jena 1976

Anmerkung 1 im Abschnitt 2.2. auf Seite 123

"2.2. Kehlkopf, Larynx

Die biologische Hauptfunktion des Kehlkopfes ist seine Fähigkeit zum reflektorischen Verschuß der Atemwege. Die Bedeutung dieser lebenswichtigen Sicherung gegen das Eindringen von Fremdkörpern kommt darin zum Ausdruck, daß dieser Reflex bei der Narkose besonders spät erlischt. Der Verschußapparat des Kehlkopfes wird - und darin liegt eine zweite wichtige Aufgabe - zur regulierbaren Stimmbildung (durch Anblasen schwingungsfähiger Lippen durch die Expirationsluft) verwendet. Er hat auch Bedeutung für die Bauchpresse.

An der Oberfläche des Halses ist der Kehlkopf, besonders bei Männern, ein auffallendes gestaltendes Merkmal: Prominentia larynea (sog. Adamsapfel)¹⁾.

- 1) Der Name Adamsapfel ist nach HYRTL das Ergebnis eines Übersetzungsfehlers aus dem Arabischen. Ursprünglich nannten Araber den beim Manne sichtbaren Vorsprung am Halse "Apfel des Mannes", und da Mann im Arabischen adam heißt, machten die Übersetzenden Mönche aus dem Pomum viri ein Pomum adami. Die Schöpfungsgeschichte, nach welcher Adam auf den Ruf Gottes: Wo bist du? ein Teil der verbotenen Frucht im Halse stecken blieb - eben der Adamsapfel -, war die Ursache für den Irrtum der mittelalterlichen Übersetzer."

(bezüglich der Schöpfungsgeschichte mit dem Sündenfall vergleiche mit dem Alten Testament, das erste Buch Mose, Kapitel 1 bis 3)



Zu den ältesten naturkundlichen Museen Thüringens gehört das Naturhistorische Museum im Verband der Staatlichen Museen Heidecksburg in Rudolstadt. Es ist aus dem am Fürstenhofe zu Schwarzburg-Rudolstadt vom Erbprinzen Friedrich Carl 1757 begründeten Naturalienkabinett hervorgegangen. 162 Jahre befand es sich im Rudolstädter Stadtschloß "Ludwigsburg". 1919 sind seine umfangreichen Sammlungsbestände in das Schloß Heidecksburg umgelagert worden. Dort wurde zuletzt (von 1953) bis 1983 der überwiegende Teil der naturkundlichen Sammlungen in einer großen Dauerausstellung der Öffentlichkeit gezeigt. Seither ist die Ausstellung geschlossen, und viele der Exponate bleiben bis zur Fertigstellung einer neuen Schau magaziniert.*

Ein neugestaltetes Museum soll entstehen

Das Naturhistorische Museum wird in einem eigens dafür vorgesehenen Gebäude, dem ehemaligen Reithaus am Schloßgarten, eine neue Heimstatt finden. Dort sollen in einer geräumigen Halle eine moderne naturkundliche Dauerausstellung und im ersten Obergeschoß Magazin-, Funktions- und Arbeitsräume entstehen. Mit diesem Vorhaben erfährt das Naturhistorische Museum einen tiefgreifenden

* Im Sommer 1988 erschien die wissenschaftliche Veröffentlichung "Rudolstädter Naturhistorische Schriften 1". Darin wird in allgemeinverständlicher Form u.a. über die Geschichte der Sammlungen des Naturhistorischen Museums Rudolstadt und über die Aufgaben biologischer Museen berichtet. Die Broschüre kostet 9,70 Mark und kann durch die Staatlichen Museen Heidecksburg, PF 48/51, Rudolstadt, 6820, bezogen werden.

Wandel, und es wird zu einer neuen Etappe in seiner langen Geschichte führen. Einerseits ist das Ziel zu erreichen, das denkmalgeschützte Gebäude aus dem 16. Jahrhundert für eine moderne museale Nutzung bautechnisch und innenarchitektonisch vorzubereiten und andererseits einen wissenschaftlich und kulturpolitisch leistungsfähigen "Betrieb" in Gang zu setzen, was nichts anderes bedeutet, als daß hier eine Stätte fruchtbarer biologisch-geologischer Forschungsarbeit wie gleichwohl eine Stätte der Erholung und der unaufdringlichen Belehrung für den Besucher, insbesondere für den jugendlichen, geschaffen wird.

Wir halten diesen Anspruch für real und zeitgemäß und wissen, daß er ohne maßgebliche Förderung eines sich damit angelegenen und engagiert wie zielstrebig arbeitenden Teams für Rudolstadt (vor-erst) ein Traum bleiben müßte. Gegenwärtig besteht es nur aus einem Zoologen und zwei Zoologischen Präparatoren.

Eine Reihe von wichtigen museumstechnischen Vorarbeiten sind allerdings schon geleistet worden. Durch den Architekturstudenten im 4. Studienjahr, Steffen Wilting, von der Hochschule für Architektur und Bauwesen in Weimar ist im Frühjahr 1988 ein Projekt für das Reithaus ausgearbeitet und vorgelegt worden, zu dem ein Modell gehört, aus dem die beabsichtigte Raumaufteilung (Anordnung der Vitrinen) für die Dauerausstellung ersichtlich ist. Zugrundegelegt wurde dafür eine 1985 erarbeitete Grobkonzeption, die sich thematisch in drei Komplexe gliedern läßt: 1. Die Geschichte des Naturhistorischen Museums Rudolstadt und die Erforschung der Fauna, Flora und Gaea (geologische Verhältnisse) Ostthüringens, 2. die Rekonstruktion eines Naturalienkabinetts aus der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts und 3. die naturräumlichen Gegebenheiten um Rudolstadt (Schiefergebirge, Saaleaue, Muschelkalk- und Buntsandsteingebiet) anhand von "Lebensbildern" und anderer detaillierter Darstellungen ihrer Ausstattung.

Weitere konzeptionelle Arbeiten werden soweit führen müssen, daß man, ehe mit dem Aufbau der Ausstellung begonnen wird, weiß, in welcher Vitrine welches Thema mit welchen Objekten (Sachzeugen) gestaltet werden soll. Erst nach einer ausgewogenen, oft nach Diskussionen mit Fachkollegen und Museumspädagogen gereiften Themenbearbeitung wird der Museumsgestalter und -graphiker das Ergebnis in eine geschmackvolle und anschauliche Darstellung umsetzen können. Seine Aufgabe kann es aber nicht sein, die dazu

erforderlichen Naturalien (Pflanzen, Tiere sowie auch Gesteine und Mineralien) bereitzustellen. Hier ist die Leistung des Zoologischen Präparators, der wesentlichen Anteil an der Ausstellungsgestaltung nimmt, gefragt. Er greift auf in der Museumssammlung Vorhandenes oder, in geringerem Maße, erst auf zu Beschaffendes zurück. Durch ihn sind z. B. Vögel oder Säugetiere, die für Ausstellungen vorgesehen sind, so zu präparieren, daß sie nicht nur für längere Zeit haltbar bleiben, sondern auch lebensnah wirken. Ein Mäusebussard beispielsweise sollte so auf einem Ast sitzen, daß man auf den ersten Blick den Eindruck gewinnen könnte, als sei er lebendig.

Eine hohe Anforderung an das Können des Präparators bedeutet auf der anderen Seite auch die Erneuerung von historischen Präparaten. Das Rudolstädter Museum verfügt über eine Vielzahl von Tierpräparaten, die aus dem 19., einige sogar aus der 2. Hälfte des 18. Jahrhunderts stammen. Sie sind, in die Jahre gekommen, meist durch Staub verschmutzt, oft infolge längerer intensiver Lichteinwirkung ausgebleichen oder durch Museumsschädlinge, wie Speckkäfer, beschädigt. Dies kann vom Zoologischen Präparator (ähnliches gilt bei Fossilien für den Geologisch-paläontologischen Präparator) beinahe ungeschehen gemacht werden. An der äußeren Gestalt, die bei alten Stücken meist wenig Lebensnähe offenbart, darf allerdings keine Veränderung vorgenommen werden. Sonst dürfte man ja auch nicht von einer Restaurierung sprechen.

Die Sammlung ist die Grundlage der Museumsarbeit

Wie bereits angedeutet, befindet sich im Naturhistorischen Museum Rudolstadt ein relativ umfangreicher Sammlungsbestand. Er umfaßt insgesamt nahezu 125 000 Sachzeugen aus dem Stein-, Pflanzen- und Tierreich. So gehört dazu eine Sammlung gepreßter Pflanzen, wie Algen, Moose, Farne und Blütenpflanzen, mit wertvollen Belegen aus unserer thüringischen Heimat und ein "Kräuterbuch" von 1664, in dem heimische Heilpflanzen aufgeklebt sind.

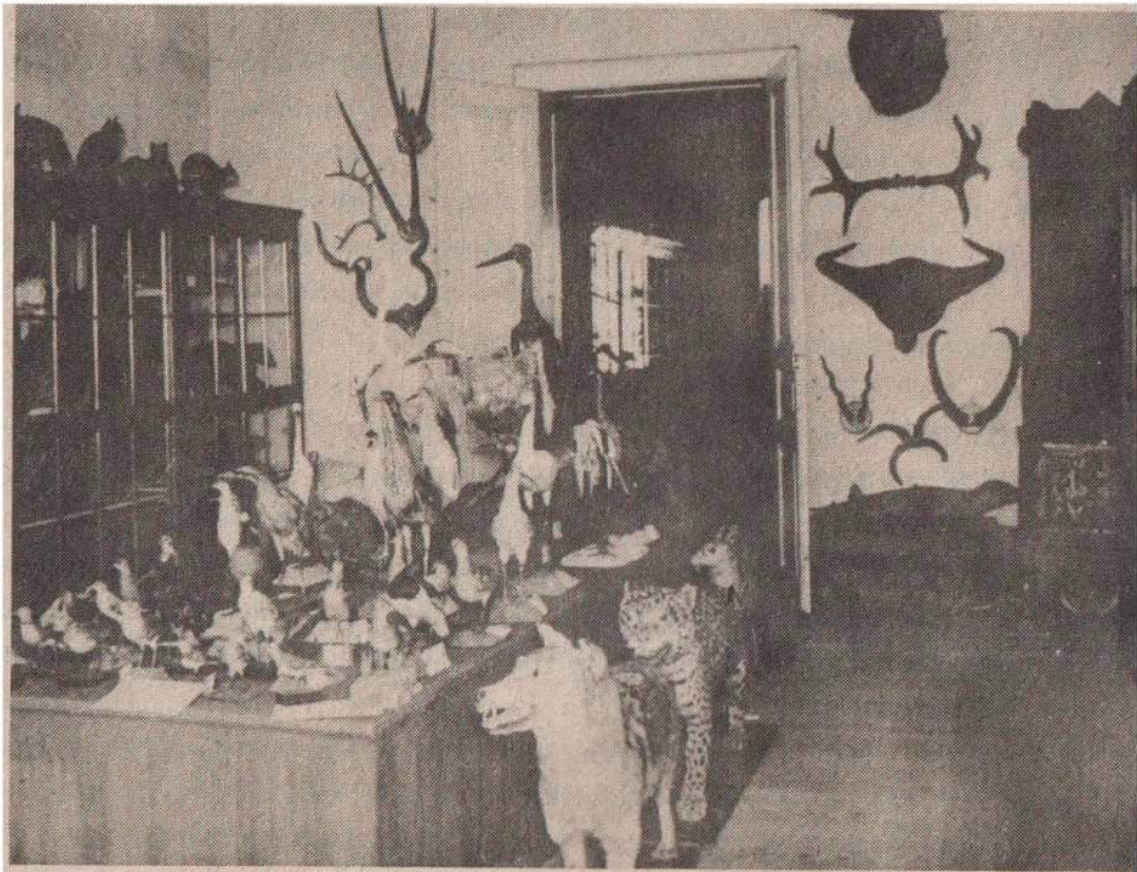
Minerale, Gesteine, dazu einige Meteorite, und tierische und pflanzliche Fossilien bilden einen weiteren, insgesamt ca. 20 000 Stücke zählenden Sammlungsbereich. Wissenschaftshistorisch wertvoll wie bemerkenswert ist u. a. der erhalten gebliebene Teil der Sammlung von Schnecken- und Muschelgehäusen (Konchylien oder Schalen der Weichtiere) aus dem ehemaligen Naturalienkabinett.

Unter den Gehäusen aus dem 18. Jahrhundert befinden sich solche, die seinerzeit der Erstbeschreibung neuer Arten zugrundelagen und die man in der Wissenschaft als Typen bezeichnet. Von einem Naturalienhändler in London hatte der Erbprinz Friedrich Carl um 1780 verschiedene Konchylien für sein Naturalienkabinett erworben, die James Cook von seinen Weltreisen mitgebracht hatte. Nicht minder wertvoll ist ein Teil der ca. 40 000 Exemplare umfassenden Insektensammlung. Insbesondere die 1919 von dem Entomologen Prof. Dr. O. Schmiedeknecht eingebrachte Schlupfwespen- und Bienensammlung und die seit 1983 stetig wachsende Mallophagensammlung* enthalten interessante Typen.

All diese Kollektionen erfordern beständige Pflege. Sie sind in dafür geeignete Kästen und Schränke geordnet unterzubringen, vor zu hoher Luftfeuchtigkeit (70 %), Verstaubung, dauernder Lichteinwirkung und vor allem vor Schädlingsbefall zu schützen und in sogenannten Magazinen, den Schatzkammern der Museen, zu verwahren. Das Sammlungsmaterial ist die Grundlage für die von der Gesellschaft geforderte wissenschaftliche Arbeit, sei es nun für die des eigenen Hauses oder für die von auswärtigen Spezialisten. Wie auch immer führt das Ergebnis dieser auf Museumsmaterial fußenden Untersuchungen letztlich zu einer besseren Kenntnis über die Natur. Wir erfahren nämlich, wie sich mitunter sehr ähnlich aussehende Tier- oder Pflanzenarten voneinander unterscheiden lassen, wo sie vorkommen und oft auch, welche Lebensansprüche sie haben. Mit diesem Wissen wird effektiver Naturschutz möglich gemacht, und wir sind in der Lage beizutragen, die Vieltätigkeit aber auch die Verletzbarkeit unserer Umwelt bewußter zu erleben und uns mit dafür einzusetzen, sie zu erhalten. Das ist eine Grundmotivation der naturkundlichen Museumsarbeit, die in modernen Ausstellungen immer wieder zum Ausdruck gebracht

* Mallophagen (Federlinge und Haarlinge) sind im Gefieder der Vögel und im Haarkleid mancher Säugetiere lebende, durchschnittlich ca. 3 - 4 mm große ungeflügelte Insekten. Diese Parasiten zu untersuchen, ist meist nur nach Anfertigung von Mikorpräparaten und mittels eines Durchlichtmikroskops möglich. Erst kürzlich konnte eine auf der Kohlmeise lebende, der Wissenschaft bislang unbekannt gebliebene Federlingsart entdeckt und beschrieben werden.

wird. Eigene und fremde museumsspezifische Forschungsarbeit und die eingetragenen und dauerhaft gemachten Objekte selbst werden so unmittelbar öffentlichkeitswirksam. Darin erfüllt sich auch die Arbeit des Naturhistorischen Museums Rudolstadt: seine Sammlungen zu erhalten, sie zu pflegen, sie wissenschaftlich zu erschließen (Bestimmen, Ordnen, Veröffentlichen), sie zu vermehren und sie alsbald für Bildungs- und Erholungszwecke, meist in Form von Sonder- und Dauerausstellungen, der Öffentlichkeit zugänglich zu machen.



Blick in das ehemalige "Fürstliche Naturalienkabinett Rudolstadt" im Schloß Heidecksburg 1930. Diese Art der Zurschaustellung der Sammlungen reicht bis zu den Anfängen der naturhistorischen Museen in 16./17. Jahrhundert zurück.

Auf dem Bild sind u. a. gut zu erkennen: Wolf, Jaguar, Moschustier, Seehund, Kaffernbüffelgehörn, Flamingo, Schwarzstorch, Kranich und Rohrdommel.

Foto: Archiv Naturhist. Mus. Rudolstadt.

Schlägt man in einem allgemeinen Lexikon unter dem Namen "Friedlieb Ferdinand Runge" nach, so findet man dort: "geboren 1794, gestorben 1867; deutscher Chemiker, begründete die technische Verwertung des Steinkohleteers, entdeckte 1834 darin das Anilin und stellte die ersten Farbstoffe aus Teerprodukten her". Runge regte damit die Schaffung einer Teerfarbenindustrie an, die eine neue Epoche in die chemisch-technische Industrie einleitete. Sein Interesse galt hauptsächlich der Anwendung der Chemie im gewerblichen Leben, wie auch der technischen, der Pflanzen- und Farbchemie. So promovierte er 1822 mit einer Arbeit über Indigo, ab 1824 arbeitete er auf dem Gebiet der Pflanzenfarbstoffe und untersuchte viele Pflanzenarten. Es gelangen ihm bedeutende Entdeckungen, wie z. B. die des Coffeins und des Atropins. Ab 1831 war er als technischer Chemiker in Oranienburg tätig, wo er bis zu seinem Tode blieb. Zu seinen Lebzeiten wenig anerkannt, zählt Runge heute durch seine große Begabung und Originalität zur Spitze der Naturwissenschaftler des 19. Jahrhunderts.

Einen Namen machte er sich auch durch seine Musterbilder, kurz Runge-Bilder genannt.

Der Gedanke, eine chemische Reaktion nicht nur in ihrem Anfangs- und Endzustand zu erfassen, sondern im gesamten "Lebenslauf" der Umsetzung zu erforschen, brachte Runge darauf, den Verlauf einer chemischen Reaktion auf Fließpapier festzuhalten. Die Reaktion sollte verzögert und in ihrer Vielfalt durch eine Art Streckung und Aufzeichnung ihres Ablaufes sichtbar gemacht werden. Im Reagenzglas einen umstrukturierten Niederschlag erhaltend, entstand dagegen auf Filterpapier ein bizarres farbiges und ästhetisch reizvolles Formenspiel, ein sogenanntes Musterbild. Runge selbst bezeichnete diese Bilder als sein "chemisches Wappen".

Da das Verfahren zur Herstellung solcher Strukturen und Muster einfach zu handhaben ist, habe ich dies selbst ausprobiert und möchte es hiermit weiter empfehlen. Dabei bin ich folgendermaßen vorgegangen:

Die benötigten Hilfsmittel sind

- gut saugfähiges Filterpapier (ca. 12x12 cm oder kleiner)
- Plaste- oder Glasröhrchen zum Austropfen der Lösungen

ALLGEMEINES PRINZIP DES VERSUCHSABLAUFES (nach [3])

1. Tränkung des Papiers

Ein horizontal gelegtes Stück Filterpapier wird mit einer Salzlösung A durch tropfenweises Ausgeben und Einsaugenlassen getränkt. Nach dem Aufsaugen läßt man das Papier an der Luft trocknen (ca. 2-3 Stunden)

2. Erzeugung des Bildes

Auf das nach 1. imprägnierte und getrocknete Papier wird eine zweite Flüssigkeit, Lösung B, ebenfalls tropfenweise aufgegeben. Die Tropfen werden immer an ein und derselben Stelle des Papiers aufgesetzt. Mit dem Aufgeben neuer Lösung wartet man jeweils, bis die vorhergehenden Tropfen vom Papier aufgesaugt sind.

Es gibt folgende 2 Möglichkeiten Rungebilder zu erzeugen:

a) Verdrängungsfigur

durch Verdrängung der A-Lösung durch die B-Lösung ohne gleichzeitig chemische Umsetzung und eventuelle Weiterbehandlung

b) Niederschlagsfigur

durch sofortige chemische Reaktion von A- und B-Lösung und Bildung eines farbigen Niederschlages (sogenannte Fällungsreaktion)

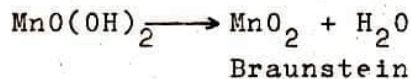
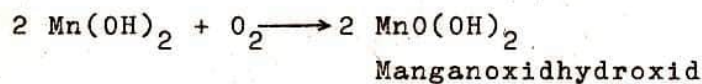
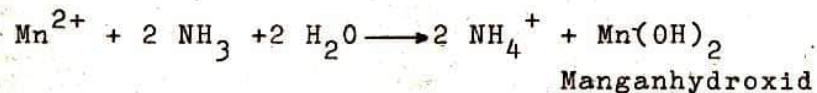
Beispiele zur Herstellung von Verdrängungsfiguren

1. A-Lösung: MnSO_4 (12 g zu 100 ml H_2O gelöst)

B-Lösung: H_2O

Kurz nach dem Einsaugen von ein paar Tropfen Wasser legt man das Papier in eine Ammoniakatmosphäre (z.B. über eine Schale mit konzentriertem NH_3); je länger, desto farbtensiver wird das Bild.

Man kann die entstehenden Bilder variieren, indem man erneut H_2O zutropft, das Papier wieder dem NH_3 aussetzt und dies mehrmals wiederholt (siehe Abb. 1). Es ist anzunehmen, daß dabei folgende Reaktionen ablaufen:



2. A-Lösung: MnSO_4 (12 g zu 100 ml H_2O gelöst)

B-Lösung: $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (10 g zu 100 ml H_2O gelöst)

Man läßt die B-Lösung vollständig einsaugen und behandelt das Papier danach mit konzentriertem NH_3 . Auch hier kann man die Bilder verschieden gestalten, wenn nach dieser Behandlung nochmal B-Lösung in bestimmten Zeitabständen aufgetropft wird (ohne aber das Papier wieder dem NH_3 auszusetzen). Man erhält dann Musterbilder wie in Abb. 2.

Chemische Gleichungen, die den Reaktionsablauf eindeutig beschreiben, waren in der Literatur nicht zu finden. Man vermutet, daß sich Braunstein MnO_2 , Chrom (VI)-oxid CrO_3 oder Chrom(III)-Verbindungen bilden.

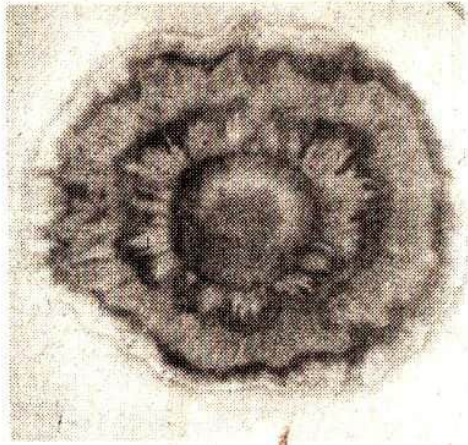


Abb. 1

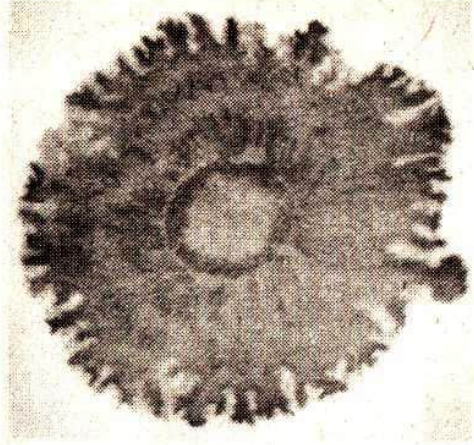


Abb. 2

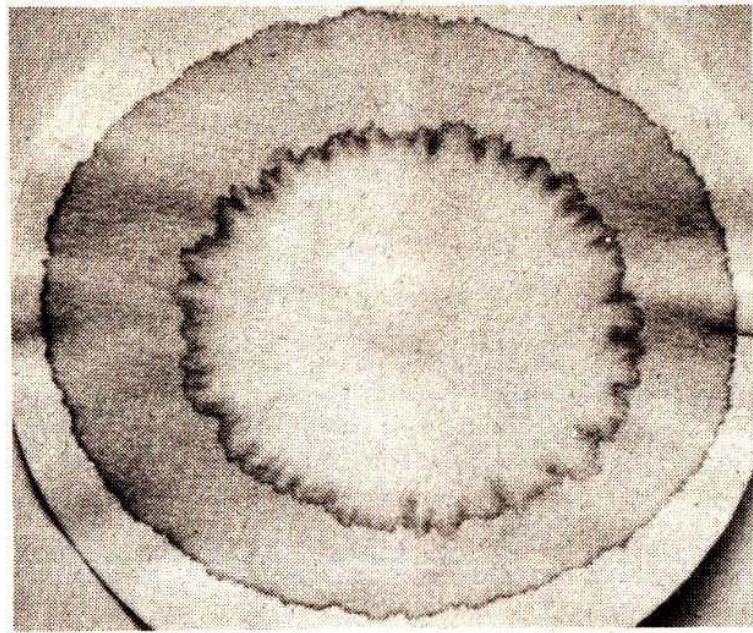


Abb. 3

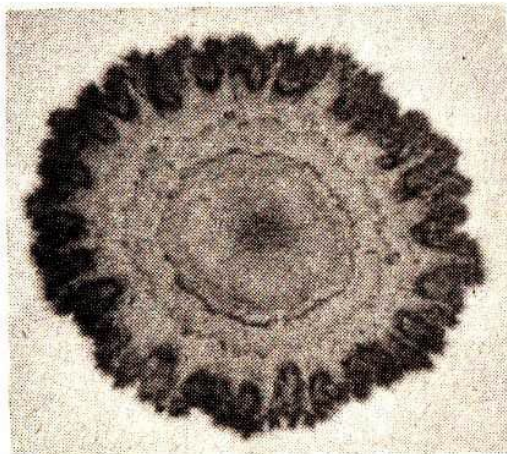


Abb. 4

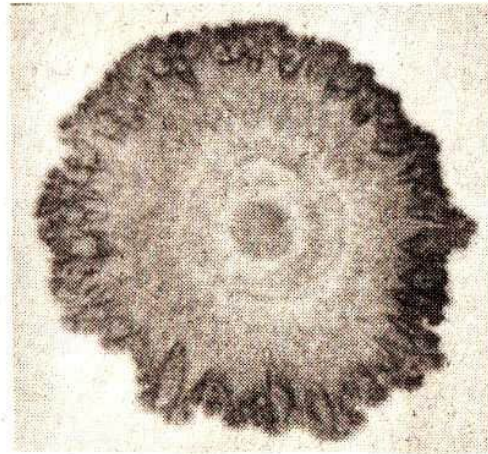


Abb. 5

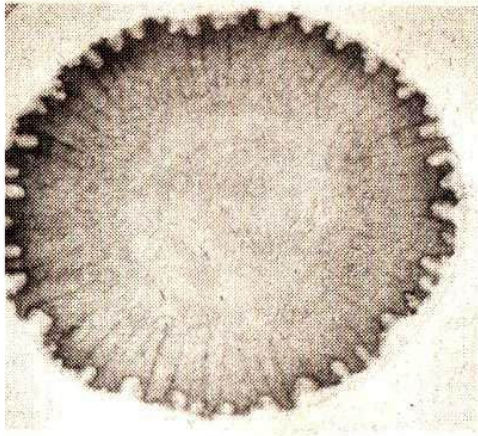


Abb. 6

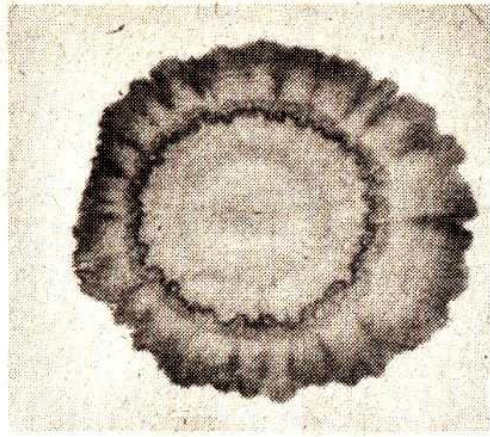


Abb. 7

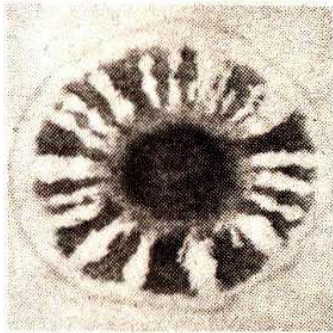


Abb. 8

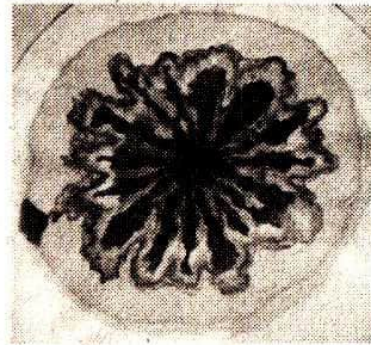


Abb. 9

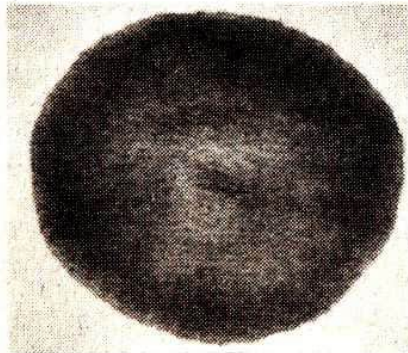


Abb. 10

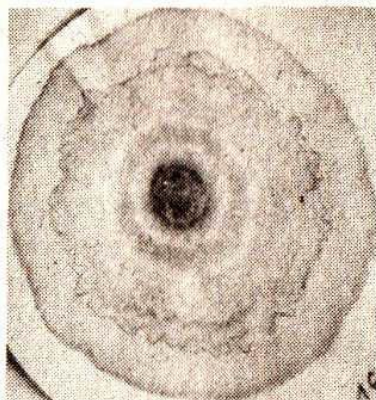


Abb. 11

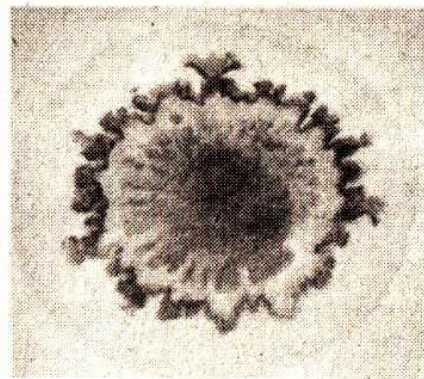
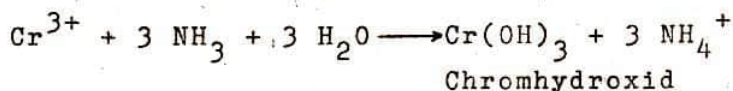


Abb. 12

3. A-Lösung: $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ (15 g zu 100 ml H_2O gelöst)
B-Lösung: H_2O

Man gibt das Wasser tropfenweise auf das mit A-Lösung imprägnierte Papier und läßt es einziehen. Setzt man das Bild sofort konzentriertem NH_3 aus, so sind die Ränder der Verdrängungsfigur stärker zerklüftet (siehe Abb. 3) als ohne NH_3 -Behandlung. Im ersten Fall läuft folgende chemische Reaktion ab:



Beispiele zur Erzeugung von Niederschlagsfiguren

4. A-Lösung: MnSO_4 (12 g zu 100 ml H_2O gelöst)
B-Lösung: K_2CrO_4 (10 g zu 100 ml H_2O gelöst)

In Abhängigkeit von der Zeit, die man bis zur Zugabe des nächsten Tropfens der B-Lösung verstreichen läßt, bilden sich mehr oder weniger dunkelfarbige Ringe aus. Gibt man die Tropfen recht zügig nacheinander auf das Papier, so wird kaum eine Ringbildung zu erkennen sein. Wartet man dagegen nach dem Einsaugen des Tropfens 1-2 min, werden Bilder wie in Abb. 4 erhalten.

Verändert man die Konzentration der B-Lösung (13,6 g zu 100 ml H_2O gelöst) und verfährt genauso wie oben beschrieben, dann ist die mittlere Zone intensiver (rot-braun) gefärbt (siehe Abb. 5), egal ob die Zugabe der B-Lösung schnell oder langsam erfolgte. Auch hier konnte ich keine Angaben über den genauen Reaktionsablauf finden. Die Reaktionsprodukte werden ähnlich denen bei Versuch 2 sein.

5. A-Lösung: $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ (15 g zu 100 ml H_2O gelöst)
B-Lösung: K_2CrO_4 (10 g zu 100 ml H_2O gelöst)

Hier erweist es sich als günstig mehrere Tropfen (B-Lösung) auf einmal zuzugeben, dann aber bis zur nächsten Tropfenzugabe ca. 3-5 min. zu warten. In Abhängigkeit von der Auftropfgeschwindigkeit

und Flüssigkeitsmenge kommen Bilder wie in Abb. 6 und 7 zustande. Zur Erzeugung von Abb. 6 wurde in regelmäßigen Abständen nach entsprechendem Warten B-Lösung zugegeben, bei Abb. 7 war dagegen die Zugabe unregelmäßig.

Chemische Gleichungen, die den Verlauf der Reaktion erklären, waren der Literatur nicht zu entnehmen.

6. A-Lösung: $K_4[Fe(CN)_6]$ - gelbes Blutlaugensalz

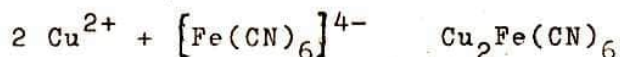
(übersättigte Lösung: 32-35 g zu 100 ml H_2O gelöst)

B-Lösung: $CuSO_4$ (10 g zu 100 ml H_2O gelöst)

An diesem Beispiel läßt sich besonders gut zeigen, daß auch die Reihenfolge der Zugabe der Substanzen für die Strukturbildung von Bedeutung ist. Malt man die Bilder mit den oben angeführten Lösungen, so entstehen Muster wie sie in Abb. 8 und 9 zu sehen sind. Kehrt man dagegen bei Konstanthaltung der Konzentrationen die Reihenfolge der Substanzen um, d.h. $CuSO_4$ ist A-Lösung und $K_4[Fe(CN)_6]$ sei die B-Lösung, so bilden sich keine Strukturen (siehe Abb. 10).

Bei gleicher Reihenfolge wie oben und schwächerer $CuSO_4$ -Lösung (2,5 g zu 100 ml gelöst; siehe Abb. 11) bzw. schwächerer Blutlaugensalzlösung (17,5 g zu 100 ml H_2O gelöst; siehe Abb. 12) ist die Musterbildung weniger stark ausgeprägt.

Die bei der Bildentstehung ablaufende Reaktion ist folgende:



Zusammenfassend möchte ich hier die Größen aufführen, die nach meinen Beobachtungen die Strukturbildung beeinflussen:

- Konzentrationen der Lösungen A und B
- Reihenfolge der Zugabe der Lösungen
- zugetropfte Flüssigkeitsmenge
- Tropfgeschwindigkeit
- Beschaffenheit des Filterpapiers
- Lage des Papiers (wodurch Abweichungen von einer angenähert runden Form der Bilder entstehen können)

Was die Durchführung der Experimente betrifft, so ist es ratsam, sie in der Schule, in einem Labor oder einem speziellen Raum mit Abzug (wegen des konzentrierten Ammoniaks) durchzuführen. Als Hausversuch würde sich nur Experiment 6 eignen, da die Substanzen aus dem Chemiebaukasten erhältlich sind. Mit dem Beschaffen der anderen Substanzen im Handel wird es sicher Schwierigkeiten geben, so daß man einen Lehrer oder Assistenten danach fragen müßte.

Beim Umgang mit den Chemiekalien ist zu beachten, daß CuSO_4 , Kaliumchromat K_2CrO_4 , Kaliumdichromat $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ und konzentriertes NH_3 zu den Giften gehören!

Eine umfassende wissenschaftliche Deutung der Rungebilder ist immer noch nicht vollständig gelungen. In der heutigen Begriffswelt sind sie als Ergebnis von Reaktions-Transportvorgängen zu interpretieren. Folgende Teilprozesse müßten nach 1 bei einer strengen wissenschaftlichen Analyse mindestens berücksichtigt werden:

- a) Kapillartransport, eventuell Diffusionstransport
- b) chromatographische Trenneffekte, Adsorption
- c) hydrodynamische Instabilität
- d) Keimbildungsvorgänge
- e) Ostwaldreifung
- f) Elektrolyteinfluß auf chemische Reaktionsvorgänge, Ostwaldreifung, Transporterscheinungen

Die unter c), d) und e) aufgeführten Prozesse rechtfertigen die Einordnung der Rungebilder als frühe Vorläufer der dissipativen Selbstorganisation.

Mit ein wenig Geschick und Übung kann man die schönsten Musterbilder entstehen lassen, die hervorzubringen "kein Maler, selbst die Sonne nicht, imstande ist." [Runge]

Für weitere Anregungen und Hinweise wäre die Autorin sehr dankbar.

Literatur

- [1] "Selbstorganisation chemischer Strukturen"
Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Bd 272
Verlag Geest & Portig, Leipzig, 1987
 - [2] Anft, Berthold:
F.F.Runge - sein Leben und Werk
Verlag Kraus Reprint, Nendem/Liechtenstein, 1977
 - [3] Deiß, Eugen:
Über Rungebilder und Liesegangringe auf Filterpapier
Kolloidzeitschrift, Steinkopff, Darmstadt, Bd. 89, 1939,
Heft 2, S. 146 ff.
 - [4] Niedersen, Uwe (Hrsg);
Komplexität - Zeit - Methode (II)
"Gestalt und Selbstorganisation".
wiss. Beiträge der M.-Luther-Universität Halle, 1988
-

Die Redaktion bedankt sich bei Sybille für diesen unserer Meinung nach sehr gelungenen Beitrag. Er sollte auch für andere Leser eine Herausforderung darstellen, eigene Beiträge für "impuls 68" zu verfassen. Wir sind gespannt, mit welchen naturwissenschaftlichen Fragestellungen Ihr Euch noch in der Freizeit beschäftigt! Nur der Pessimist ist der Meinung:



Wenn ein Experiment funktioniert, ist vorher etwas schiefgegangen

Wie in jedem Jahr möchte ich Euch die Preisträger des Wettbewerbs um den Schülerpreis vorstellen:

Thomas Grüning
Volker Haß und
Carsten Jandura

von der Spezialschule mathematisch-naturwissenschaftlicher
Richtung "M.A. Nexö" in Dresden.

Im Juli 1986 begann für diese Schüler im Rahmen der Talentförderung der Spezialschule an der Pädagogischen Hochschule "K.F.W. Wander" in Dresden die Beschäftigung mit Fragen der Werkstoffprüfung. Diese, in ihrer Freizeit durchgeführte Tätigkeit, wurde im Februar 1987 in ein Thema der wissenschaftlich-praktischen Arbeit überführt. Betreut wurden die Schüler dabei von Prof.Dr. C. Holste, Dr. H. Schorrig und Diplomlehrer S. Steidten von der Sektion Physik der Pädagogischen Hochschule. Durch die Hochschule wurde auch die Experimentiertechnik zur Verfügung gestellt.

Der Nutzeffekt der Arbeiten von Volker, Carsten und Thomas ist vor allem unter zwei Aspekten zu sehen. Zum einen liefern die Ergebnisse der Versuche Beiträge für ein gemeinsames Kontrollexperiment der Mitgliedsländer des RGW. Ziel dieses Experimentes ist die Festlegung neuer technischer Standards für die Werkstoffprüfung. Andererseits wurde im Rahmen der Arbeit eine Teilleistung zur Software-Entwicklung für rechnergestützte Werkstoffprüfmaschinen im Wert von 20000,- M erbracht.

Bevor wir im folgenden näher auf Inhalte und Anliegen der Arbeit eingehen, wollen wir uns in drei Informationskästen kurz mit einigen Grundlagen der Werkstofftechnik vertraut machen. Damit wird ein besseres Verständnis der Leistung der drei Spezialschüler aus Dresden ermöglicht.

INFORMATIONSKASTEN 1

Das Verformungsverhalten von Metallen ist abhängig von:

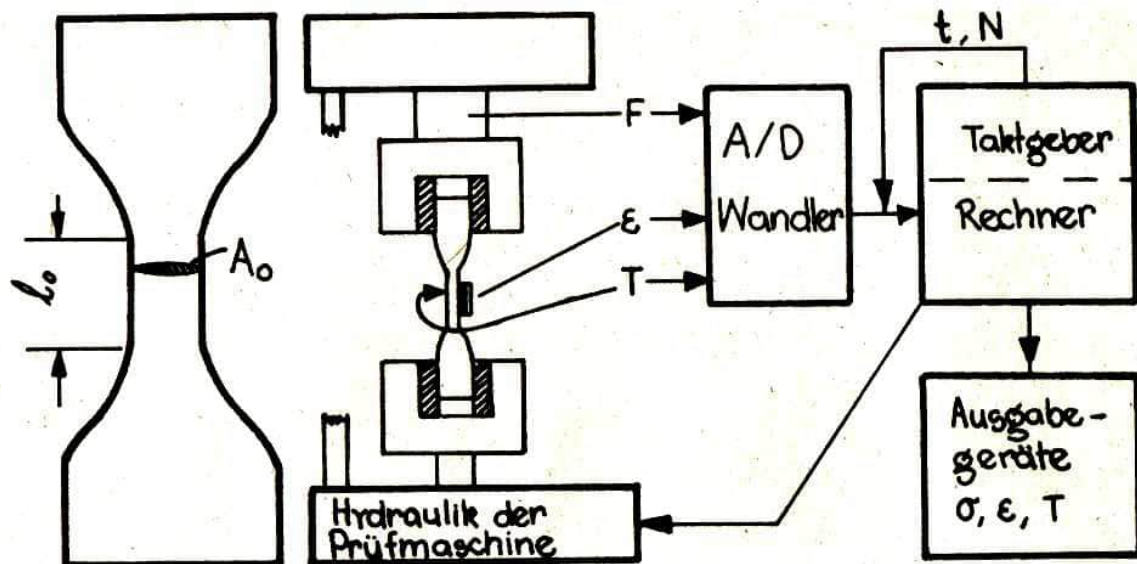
- der chemischen Zusammensetzung (reines Element oder Legierung, Zuschlagstoffe, Verunreinigungen)
- dem mikroskopischen Aufbau (Einkristall oder Kristallite, Größe der Kristallite -Körnigkeit-, Verteilung von Zuschlagstoffen und Verunreinigungen, Poren, Blasen)
- der Form und Größe der Probenquerschnittsfläche
- den Oberflächeneigenschaften der Probe (glatte oder rauhe, rissige Oberfläche)
- den Tiefeneigenschaften der Probe (Spannung im Material)
- der Größe der Spannung (Maß für die an der Probe angreifende Kraft - bezogen auf Fläche)
- der Elastizitätsgrenze der Probe (plastische oder elastische Verformung)
- der Spannungsart (Zug, Druck, Torsion) oder deren Kombination bzw. Wechsel
- der Zeitdauer der Spannungseinwirkung (Dauerbelastung oder zyklische Belastung)
- weiteren Parametern wie der Probentemperatur, der Dehnungsamplitude, der Belastungsfrequenz und der Dehnungsgeschwindigkeit

Bei bestimmten Metallen ist das Verformungsverhalten auch vorgeschichteabhängig, dies bedeutet, es ist von eventuell vorausgegangenen Verformungen des betreffenden Werkstücks abhängig.

INFORMATIONSKASTEN 2

Wechselformversuche

Eine Probe mit runder Querschnittsfläche wird in drei Schritten behandelt. Zunächst werden mittels Normal- und Weichglühen innere Spannungen und Gefügestörungen (sogenannte Zwangszustände) beseitigt. Die sich dabei an der Oberfläche bildenden zahlreichen Rissquellen beseitigt man im zweiten Schritt durch Schleifen. Schließlich wird mit metallografischen Verfahren der mittlere Korndurchmesser (Körnigkeit) der Probe bestimmt.



Die so vorbehandelte Probe (Meßlänge l_0 ; Meßquerschnitt A_0) spannt man in eine elektronisch geregelte servohydraulische Prüfmaschine und setzt sie dort einer vom Rechner kontrollierten zyklischen Zug-Druck-Spannung über die Elastizitätsgrenze hinaus aus. Damit wird eine Kaltverformung der Probe erreicht.

Die Signale aus der Kraftmessdose (Kraft F), dem Dehnungsaufnehmer (Dehnung ϵ) und dem Temperaturmeßfühler (Temperatur T) gelangen über den Analog-Digital-Wandler zum Rechner, welcher sie mit einer Taktfrequenz von 1 kHz abfordert. In Abhängigkeit von der Zyklenzahl N kann der Rechner damit die Spannungsamplitude σ_a , die Dehnungsamplitude ϵ_a und die Dehnungsamplitude der plastischen Verformung ϵ_{pa} ermitteln.

INFORMATIONSKASTEN 3

Zur Auswertung von Wechselverformungsversuchen werden aus den Meßwerten folgende physikalischen Größen ermittelt:

Spannungs-
amplitude $\sigma = \frac{F}{A_0}$

Dehnungs-
amplitude $\epsilon_a = \frac{l - l_0}{l_0}$

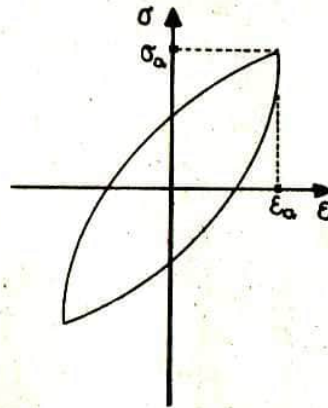
Verformungs-
frequenz $f = \frac{N}{t}$

mittlere Geschwindig-
keit der plastischen
Dehnung $\bar{\dot{\epsilon}}_{pa} = \frac{4 \cdot \epsilon_{pa}}{t}$

(dabei sind: l - Länge der Probe im belasteten Zustand; t - Zeit)

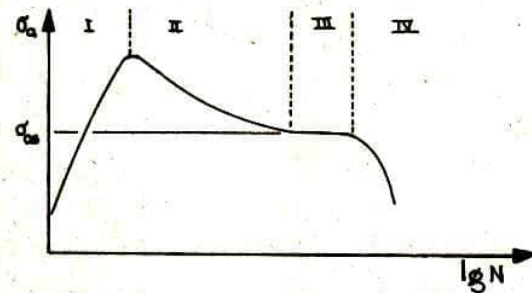
Aus diesen Größen lassen sich verschiedene charakteristische Kurven gewinnen:

Hystereseschleife



Beim Durchlaufen vieler Hystereseschleifen bezüglich einer konstanten Dehnungsamplitude ϵ_a kann man

σ_a als Funktion von N auftragen. Es entsteht die Wechselformungskurve (WVK). Abgebildet ist eine typische WVK für Stahl. Man erkennt charakteristische Gebiete:



I- Verfestigung II- Entfestigung III- Sättigung IV- Bruch

Die zyklische Spannungs- Dehnungs- Kurve (ZSD) erhält man, indem die Sättigungsspannungsamplitude σ_{as} über der Amplitude der plastischen Dehnung ϵ_{pa} aufträgt. Diese ZSD gibt das Verformungsverhalten der Metallprobe während eines großen Teils ihrer Lebensdauer wieder.

Bei der Verarbeitung metallischer Halbfabrikate (Drähte, Rohre, Profile) werden Informationen über deren Belastbarkeit benötigt. Produzenten der Halbfabrikate geben in der Regel entsprechende Daten an. Bisher übliche Standards der Werkstoffprüfung lassen jedoch für die Bedingungen, unter denen diese Daten ermittelt werden, einen erheblichen Spielraum (siehe Informationskasten 1). Belastbarkeitsanforderungen aus fremden Konstruktionsunterlagen können somit nicht ohne weiteres auf die eigenen Verhältnisse übertragen werden. Die Angaben zur Belastbarkeit eingekaufter Halbfabrikate bedürfen einer nochmaligen Überprüfung unter defi-

nierten Bedingungen. Eine wesentlich strengere Standardisierung von Wechselverformungsversuchen erfordert Kenntnisse darüber, ob und wie stark sich Variationen in den Versuchsbedingungen im Ergebnis - der ZSD (siehe Informationskasten 3) - niederschlagen.

Grundlage gegenwärtiger Standards bildet die technisch sehr leicht zu realisierende Versuchsdurchführung bei konstanter Verformungsfrequenz f . Thomas, Volker und Carsten wiesen mit ihren Experimenten nach, daß der Anstieg der ZSD wesentlich von der Frequenz f abhängt. Ursache dafür ist, daß sich bei hohen Frequenzen die Metallprobe stark erwärmt und deshalb zur Erzeugung einer bestimmten Dehnungsamplitude nicht so große Spannungsamplituden benötigt werden, wie im Fall nahezu konstanter oder nahezu konstanter Temperatur (Kaltverformung). Hieraus leiteten die drei Schüler den Hinweis ab, bei Wechselverformungsversuchen mit konstanter Verformungsfrequenz f den Ergebnissen immer die Angabe von f beizufügen.

Außerdem zeigten die Preisträger, daß bei einer Versuchsdurchführung mit konstanter mittlerer Geschwindigkeit der plastischen Dehnung $\bar{\epsilon}_{pa}$ (siehe Informationskasten 3) die Temperaturänderung vernachlässigbar klein ist. Deshalb empfahlen sie die geschilderte Versuchsdurchführung unter Angabe der entsprechenden Versuchsbedingungen als Grundlage entsprechender neuer Standards.

Für die Untersuchung des Einflusses des Erwärmungsverhaltens auf das Spannungs-Dehnungsverhalten von Metallen entwickelten die Spezialschüler eine Schaltung, die im Bereich von 0° bis 100° C stabil mit einer Auflösung von 0,2 K arbeitet. Als Temperatursensor wurde ein Siliziumsensor verwendet.

Zur Automatisierung des Versuchsablaufes entwickelten Carsten, Thomas und Volker Software-Prozeduren, welche es gestatten, bedienerfrei eine Wechselverformungskurve aufzunehmen und eine zyklische Spannungs-Dehnungs-Kurve zusammenzustellen. Der Bediener wird über Bediener- und Graphikdisplay bzw. Drucker über das Probenverhalten informiert.

Eine solide Leistung der drei Schüler, zu der auch wir von der Redaktion "impuls 68" recht herzlich gratulieren!

Setzt man sich derzeit mit der Wissenschaft auseinander, sind zwei Aspekte von besonderer Bedeutung: Die Interdisziplinarität der Forschung und die Anwendbarkeit der Ergebnisse. Ist die Anwendbarkeit von Resultaten der naturwissenschaftlichen und technischen Forschung noch recht gut vorstellbar, fällt dies hinsichtlich der sogenannten humanistischen Disziplinen jedoch schwerer. Hier soll versucht werden, die Bedeutung der Ergebnisse der Urgeschichtsforschung für andere Wissenschaftsrichtungen zu umreißen.

1. Aussagen zur Anthropogeneseforschung

Gegenstand der Anthropogeneseforschung, die den wesentlichen Teil der Urgeschichtsforschung ausmacht, ist die Menschwerdung, deren Prozesse und Etappen. Die Menschwerdung bzw. Anthropogenese beinhaltet die Entstehung des Menschen der Art *Homo sapiens sapiens* aus hochentwickelten Hominidenformen sowie die gleichzeitige Ausbildung der Gesellschaft.

Die Forschung zeichnet sich durch große Interdisziplinarität aus. Neben die klassischen Teildisziplinen Anthropologie, Archäologie, Paläontologie und Geologie sind Verhaltensforschung, Völkerkunde, Sprachwissenschaft, Paläobotanik, Genetik, Physik, Chemie und Informatik getreten. Durch deren Zusammenwirken wird an der Lösung folgender drei Problemkomplexe gearbeitet/1/:

1. Wie verlief der Prozeß der Herausbildung der menschlichen Vorfahren und der ersten als Menschen bezeichneten Lebewesen? Welchen Inhalt hat dieser Prozeß und in welchen zeitlichen Stufen lief er ab?

2. Wie "erwarb" der werdende Mensch die Arbeit, welche Bedeutung für den Verlauf des Evolutionsprozesses kam dieser Form der Naturaneignung zu?
3. Unter welchen Bedingungen entstanden der rezente Mensch und die Gesellschaft?

Dem Anthropogenese-konzept liegen zwei Erkenntnisse zugrunde/2/:

1. Der Mensch stammt als Gattungswesen vor allem in physischer, psychischer, verhaltensbiologischer und sozialer Hinsicht von tierischen Vorfahren ab, die gesellig und in sozial strukturierten Verbänden lebten. Es gab kontinuierliche Momente beim Übergang vom Tier zum Menschen, von der Tierhorde zur menschlichen Urhorde.
2. Das spezifisch gesellschaftliche Beziehungsgefüge von Produktionstätigkeit, Produktivkräften, Produktionsverhältnissen, gesellschaftlichen Bewußtseinsformen und ihnen entsprechenden Institutionen hat sich mit der Entstehung des Menschen und der Gesellschaft als qualitativ neue Daseinsweise der Materie herausgebildet.

2. Anwendung der Ergebnisse der Urgeschichtsforschung

2.1. Bedeutung für die Philosophie

Die materialistisch-dialektische Anthropogenesetheorie gibt eine konsequent wissenschaftliche Teilantwort auf die Frage nach dem Wesen des Menschen und seiner Stellung in der Welt. Die in Wechselwirkung von Natur- und Gesellschaftswissenschaften gewonnenen neuen Erkenntnisse konkretisieren so philosophische Grundaussagen, wie z.B. die Entwicklungstheorie und das Prinzip von der materiellen Einheit der Welt.

Außerdem tauchen viele, Urgeschichtsforschung und Philosophie gleichermaßen berührende Fragen auf/3/: Wie entwickelte sich der Mensch von seiner Entstehung bis zur Gegenwart? Worin besteht die Kontinuität bzw. Diskontinuität dieses Prozesses? Stammt der Mensch vom Mörderaffen ab? Beruht das Wesen des Menschen in seiner Sozietät auf friedlichem Zusammenwirken und gegenseitiger

Unterstützung oder auf Egoismus, Aggressivität und Krieg? Ist der Mensch ein Raubtier oder ein vernunftbegabtes Wesen, dessen Handlungsweisen, von gesellschaftlichen Faktoren bestimmt, sich in Richtung Humanität entwickeln? Führen Massenvernichtungswaffen, Umweltverschmutzung, Erschöpfung der Rohstoff- und Energievorräte sowie Bevölkerungsexplosion zum allgemeinen Zusammenbruch? In Verbindung mit Erkenntnissen anderer Fachrichtungen lassen sich diese und ähnliche Fragen mit Hilfe von Resultaten der Urgeschichtsforschung zumindestens teilweise beantworten.

2.2. Die Dialektik von Biotischem und Gesellschaftlichem

Der Mensch bildet ein biopsychosoziale Einheit. Viele seiner wesentlichen Eigenschaften, wie z.B. der aufrechte Gang oder die Sprache, sind biotisch determiniert, existieren als Möglichkeit bedürfen aber zu ihrer Realisierung des sozialen Einflusses, wie ihn beispielsweise die Mutter ausübt.

Der Erwerb der spezifisch menschlichen Fähigkeiten erfolgt nur gering durch Prägung, sondern vor allem durch Lernen, wodurch sie ein quasi offenes System bilden. Zu diesen Fähigkeiten gehört die Auseinandersetzung mit der Natur vermittelt bewußter Arbeit, durch die der Mensch in unterschiedlichen Ökologischen Nischen zu leben vermag, ohne sich körperlich anzupassen. Seine Spezialisierung liegt in der universellen Gebrauchsfähigkeit der Hand und der Kreativität. Durch die bewußte Naturaneignung unterscheidet sich der Mensch vom Tier.

Die Grundansprüche, die die Eckpunkte des tierischen Verhaltens bilden, wurden im Verlauf der Anthropogenese modifiziert und wandelten sich in Bedürfnisse, deren Befriedigung einem wesentlichen Antrieb der gesellschaftlichen Entwicklung wurde.

Welch große Bedeutung der Sprache in der Anthropogenese zukommt, läßt sich daraus ermessen, daß bei Schädigung der Sprachzentren deren Aufgabe von anderen Großhirnarealen übernommen werden kann. Mit Hilfe der Verhaltensforschung und der Völkerkunde wurden wesentliche Erkenntnisse über die Entstehung und Entwicklung der Sprachen gewonnen, was wertvolle Hinweise für die Sprachwissenschaft brachte.

In ähnlicher Weise konnten die Wurzeln einiger geistiger Vorstellungen bis in die Steinzeit zurückverfolgt werden, bis in eine Zeit also, in der Kunst und religiöse Vorstellungen ihren Anfang nahmen. Die materielle und geistige Kultur des Menschen ist letztlich so alt wie er selbst, denn beide gehören zu seinem Wesen, d.h. der Mensch ist nicht traditionslos.

2.3. Anwendung der Erkenntnisse bei der Gesellschaftsgestaltung

Wenn wir soeben feststellten, daß der Mensch nicht traditionslos ist, bedeutet das wohl auch, daß sich in den von der Urgeschichtsforschung erbrachten Ergebnissen Ansatzpunkte zur Erklärung gegenwärtiger soziologischer Phänomene finden lassen. Ebenso macht die Urgeschichtsforschung weitgehende Aussagen über die Herausbildung sozial-ökonomischer Verhältnisse, die für die zwischenindividuellen Beziehungen bestimmend sind und deren ursprüngliche Formen sich teilweise drastisch gewandelt haben. Um die Gesellschaft optimal gestalten zu können, ist die Berücksichtigung der Erkenntnisse über das biotisch bedingte Verhaltensspektrum (welches eine große Plastizität besitzt), über Grundbedürfnisse, über physische und psychische Leistungsgrenzen von großer Bedeutung. Die einzelnen hier genannten Faktoren sind selbst noch sehr komplex und wirken insgesamt in enger Rückkopplung, so daß quantitative Aussagen zur Gesellschaftsgestaltung nicht zu treffen sind. Jedoch zeichnen sich deutliche Trends ab, die weiterhin beachtet werden müssen.

Die Verhaltensforschung verweist auf deutliche Orientierung menschlichen Verhaltens auf Altruismus (durch Rücksicht auf die anderen bzw. auf die Menschheit bestimmte Denk- und Handlungsweise) und engen Sozialkontakt sowie ein Leben in kleinen Verbänden. Dies muß bei der Stadtplanung ebenso berücksichtigt werden wie bei der Säuglingspflege und Kindererziehung. Komplexe Probleme bedürfen entsprechender komplexer Lösungen.

Große Aufmerksamkeit muß sogenannten zivilisationbedingten Degenerationerscheinungen, wie Augenkrankheiten, Wirbelsäulenschäden, Managerkrankheiten, psychischen Erkrankungen und Schwächungen des Immunsystems geschenkt werden.

Die in Zusammenarbeit von Verhaltensbiologie und Urgeschichtsforschung gewonnenen Indizien ermöglichen der Ernährungswissenschaft die Ausarbeitung einer an im Laufe der Evolution entstandenen natürlichen Bedürfnissen orientierten Ernährungsstrategie. Die Urgeschichtsforschung macht weiterhin Aussagen über die biotischen Veränderungen seit dem Entstehen des Homo sapiens sapiens, nämlich Rassenentstehung, Verstärkung der individuellen Unterschiede, Verringerung des Geschlechtsdimorphismus und Akzeleration. Zu beachten ist auch hier immer die Wechselwirkung zwischen Biotischem und Gesellschaftlichem.

3. Schlußfolgerungen

Durch die Interdisziplinarität der Forschung sind sowohl die Erklärung der Prozesse der Anthropogenese als auch das Erkennen der Art und Weise der stammesgeschichtlichen Herausbildung bestimmter menschlicher Eigenschaften und Verhaltensweisen möglich. So können bedingt Aussagen zu diesen menschlichen Verhaltensweisen, deren Veränderbarkeit und deren Berücksichtigung bei der bewußten Gesellschaftsgestaltung gemacht werden.

Biologie und Philosophie erhalten reichlich empirisches Material, bestehend aus Daten und Prozeßvorstellungen, welches dem Ausbau fachspezifischer Theorien dient.

- /1/ J. Herrmann; Die Menschwerdung; Berlin 1984
- /2/ S. Kirschke; Anthropogenese und Urgesellschaft; in: Der Mensch - neue Wortmeldungen zu einem alten Thema; Berlin 1982
- /3/ R. Feustel; Die Abstammung des Menschen; Jena 1983

BÜCHERMARKT

Kant, Horst: J. Robert Oppenheimer; Leipzig: BSB G.T. Teubner Verlagsgesellschaft, 1985; 176 S., 26 Abb., Preis: 8,80M

Alljährlich im August gedenken wir der Opfer der amerikanischen Atombombenabwürfe über Hiroshima und Nagasaki. Wer sich näher mit der Geschichte dieser schrecklichen Ereignisse vertraut machen möchte, dem sei die Biographie Robert Oppenheimers empfohlen, die Horst Kant verfaßte und bei der Teubner-Verlagsgesellschaft herausgegeben ließ.

Nachgezeichnet wird das Leben des Mannes, der als "Vater der amerikanischen Atombombe" gilt. Robert Oppenheimer, 1904 als Sohn deutscher Einwanderer in New York City geboren, studierte 1922-29 Chemie und Physik an mehreren Hochschulen der USA und Europas und wurde anschließend Professor in Berkeley. Diese Periode des Lebens von Oppenheimer stellt Horst Kant anhand einiger markanter Episoden dar.

Der weitaus größte Teil des Buches ist der Vorgeschichte der Atombombe und Oppenheimers Wirken als Leiter des Bombenprojekts gewidmet. Nach einer kurzen Übersicht über die Kernforschung in den dreißiger Jahren wird detailliert dargelegt, auf welche Weise die damalige US-Regierung zu ihrem Beschluß des Baus von Atombomben gelangte. Ebenso ausführlich wird die Arbeit Oppenheimers und seiner Kollegen in den Laboratorien von Los Alamos beschrieben. Dabei hinterfragt Kant auch sehr realistisch die Gründe, die diese Physiker bewegten, so enthusiastisch an der Konstruktion der schrecklichsten Vernichtungswaffe zu arbeiten.

Oppenheimer, der sogar die Einsatzentscheidung der Atombomben mit gefällt hatte, bekam jedoch bald nach dem Kriege Bedenken über die Skrupellosigkeit des Mißbrauchs der Atomenergie für die Welt-herrschaftspläne der USA. So wandte er sich 1949 öffentlich gegen das Atom- und Wasserstoffbomben-Programm seiner Regierung. Dieser Schritt brachte ihm Verfolgung durch das FBI, Verhöre und den Verlust seiner staatlichen Funktionen ein. Der geniale, humanistisch denkende, bürgerliche Naturwissenschaftler zerbrach an den

Schranken des gesellschaftlichen Systems, in dem er lebte. Horst Kant gelingt es, Oppenheimers in gewissem Sinne tragischen Lebensweg anhand vieler Originalmitteilungen lebendig und sachlich darzustellen. Eine Zeittafel sowie kurze Exkurse über das Leben und Wirken der Physiker Szilard, Lawrence und Teller ergänzen das Buch, ein Buch, welches anregt zum Nachdenken über die ganz persönliche Verantwortung jedes einzelnen für die Erhaltung des Lebens auf der Erde.

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

L.W. Tarassow, A.N. Tarassowa, Der gebrochene Lichtstrahl, Verlag MIR Moskau/ BSB B.G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1988, Kleine Naturwissenschaftliche Bibliothek, Band 63 168 S., 120 Abb., brosch., 9.10 Mark

Wie kann man eine "Fata Morgana" wissenschaftlich deuten? Warum scheinen die Sterne am abendlichem Himmel zu flimmern? Wie entsteht ein Regenbogen? Das sind Fragen, mehr oder weniger aus unserer unmittelbaren Umgebung gegriffen, wie sie in diesem unterhaltsam geschriebenen Buch aus der Reihe "Kleine Naturwissenschaftliche Bibliothek" beantwortet werden. Fast im Plauderton tasten sich die Autoren von den elementaren Vorgängen bei der Brechung und Reflexion von Licht über Begriffe wie Dispersion und Polarisation bis hin zu neusten Gebieten der Optik vor. Eine große Verständlichkeit des Buches haben die Autoren vor allem dadurch erreicht, daß sie sich im wesentlichen auf das Gebiet der geometrischen Optik beschränkten. Der Begriff der Lichtwelle wird nur dann gebraucht, wenn es unumgänglich ist.

Im Rahmen des Buches werden auch solch relativ komplizierte Fragen wie die der optischen Abbildung, der Funktionsweise des menschlichen Auges als "vollkommene optische Einrichtung" und der Doppelbrechung des Lichtes allgemein verständlich abgehandelt. Am Ende des Buches gehen die Autoren kurz auf die interessante Frage der Beeinflussung von "Brechungseigenschaften der Stoffe" ein. Hiermit und mit dem Kapitel zur Faseroptik werden dem Leser auch Einblicke in aktuelle Probleme der modernen Optik gewährt.

Für den aufmerksamen und mathematisch interessierten Leser sind in die einzelnen Kapitel kleine Übungsaufgaben nebst Lösungen eingestreut.

Als besonders wertvoll ist an diesem Buch einzuschätzen, daß die Autoren sich stets bemühen, den historischen Gang der Erkenntnis der Gesetzmäßigkeiten der Optik nachzuvollziehen. Anhand zahlreicher Zitate kann der Leser sich mit den Ideen von Galilei, Descartes, Newton und vielen anderen bekannten Forscherpersönlichkeiten vertraut machen. Auch dem Streit zwischen Newton und Goethe zur Theorie der Farbentstehung ist ein Kapitel des Buches gewidmet.

Ein Buch, das allen zu empfehlen ist, die ohne große Vorkenntnisse einen kleinen Einblick in die Welt der Optik erhalten möchten!

Andreas Erdmann

Klaus Richter;

"Der Physiker des Romantikerkreises Johann Wilhelm Ritter in seinen Briefen an den Verleger Carl Friedrich Ernst Frommann"; Hermann Böhlhaus Nachfolger Weimar; 1988; 1. Auflage; Preis 24,- M

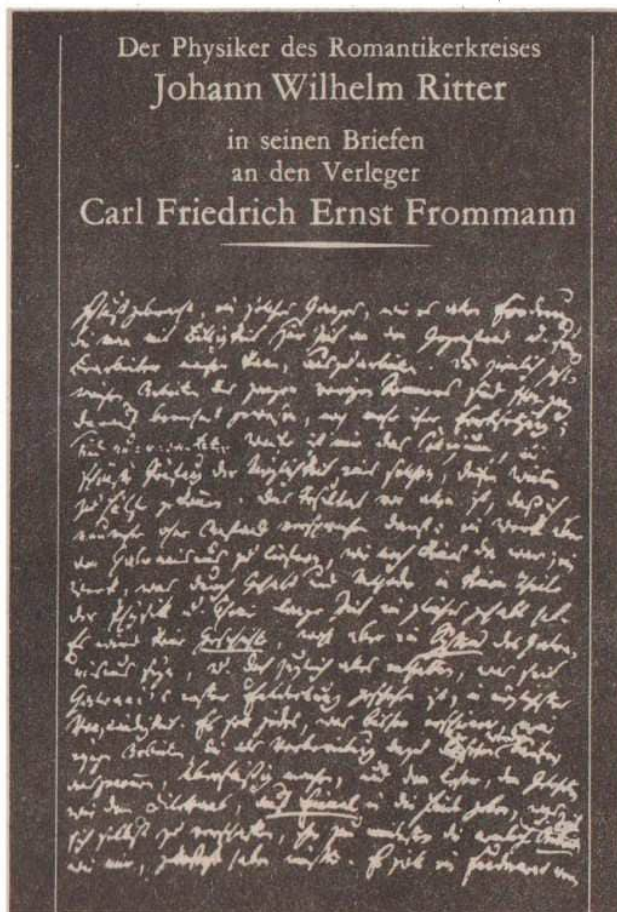
Nur wenige Publikationen erschienen über Ritter. Im wenig bekannten Böhlhaus Verlag erschienen dieses Jahr die bis dahin ungedruckten 33 Briefe Ritters an den Buchhändler C.F.E. Frommann. Herausgeber ist der Jenaer Naturwissenschaftler Dr. Klaus Richter, der die Schriftstücke mit Kommentaren versehen hat und auf den ersten 80 Seiten den außergewöhnlichen, beschwerlichen Lebensweg des Wissenschaftlers schildert.

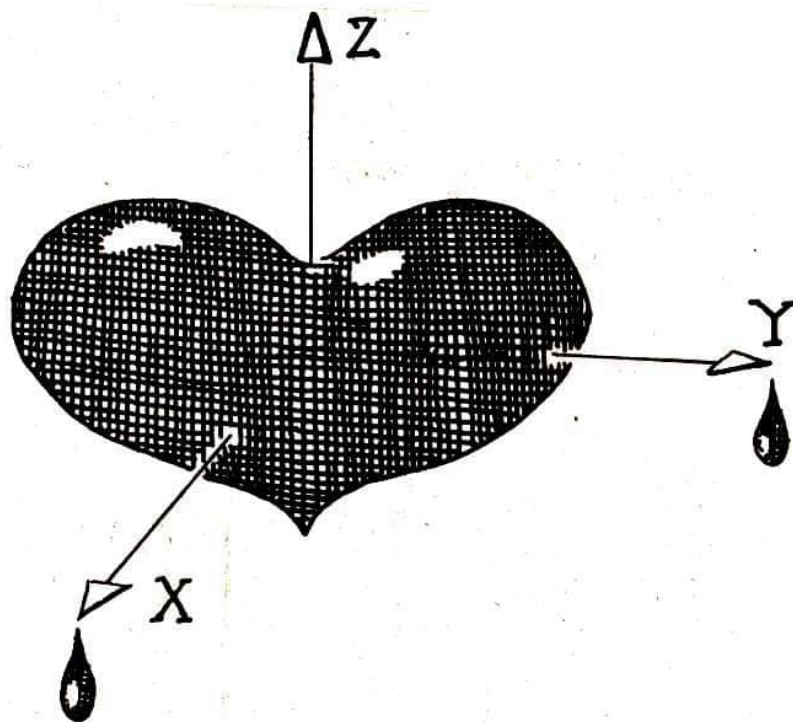
J.W. Ritter gilt als Begründer der wissenschaftlichen Elektrochemie. Zudem entdeckte er im Alter von 24 Jahren die ultraviolette Strahlung. Sein guter Ruf als genialer Physiker geriet in den letzten Lebensjahren jedoch zunehmend in das Kreuzfeuer der Kritik. Erst viele Jahre nach seinem frühen Tod (er starb 33-jährig) wurden seine Leistungen gebührend gewürdigt.

Eine kurze Darstellung des Lebensweges ist auch in "Impuls 68" Heft 6/86 enthalten.

Das Lesen der 171 Seiten umfassenden und 18 Abbildungen enthaltenden Publikation des Weimarer Verlages, die in ausgezeichneter Aufmachung vorliegt, dürfte allen Ritter-Freunden einen Genuß bereiten.

Karsten König





Liebe in drei
Dimensionen