

68

# Impuls

Schülerzeitschrift für

PHYSIK · CHEMIE · BIOLOGIE

1/87 INDEX 322004 ISSN 0232-9220 PREIS 60 Pf. 21. Jg.

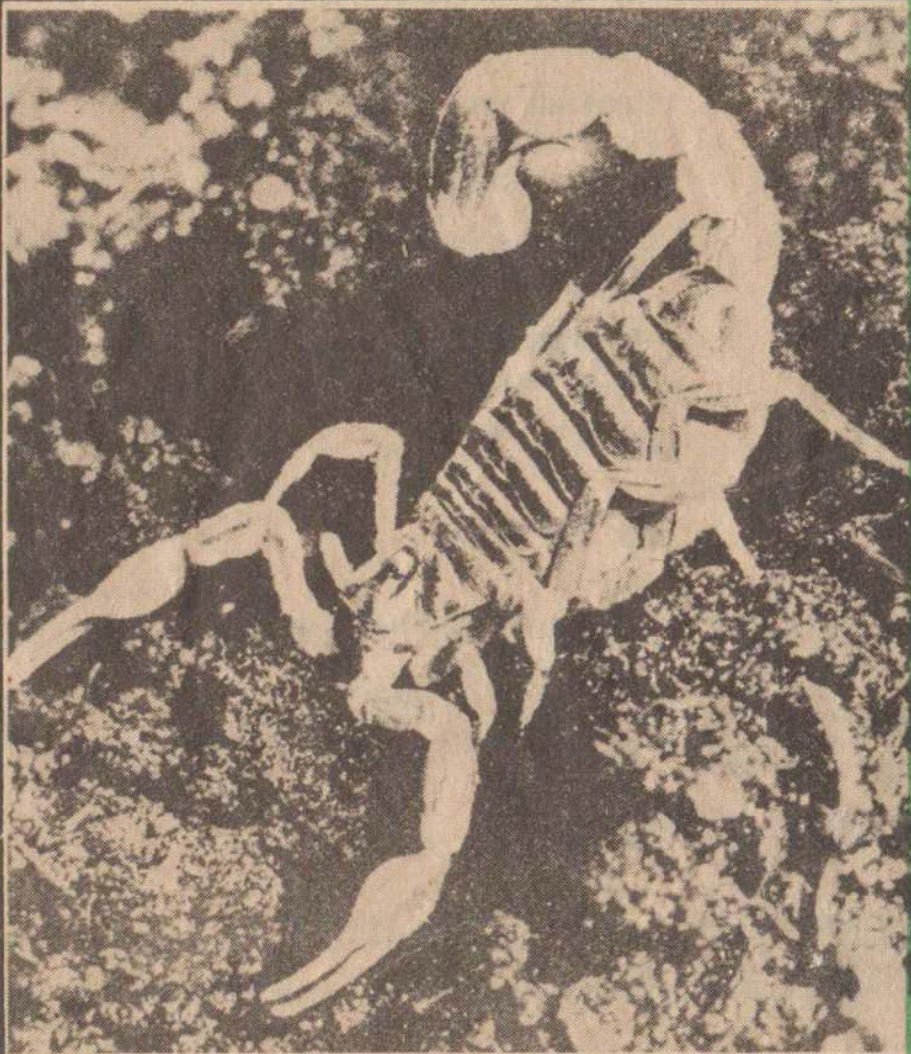
Kernkraft: Ja  
oder Nein,  
danke?

★

Das wellen-  
mechanische  
Atommodell  
(Teil 2)

★

BASIC-  
EXTRA



AIDS

★

Grundlagen  
des Farbfern-  
sehens

## Die Gifte der Spinnentiere

von Dr. D. Martinetz

Repro: Huonker



Siegfried Oertel	Das wellenmechanische Atommodell (Teil 2): Von Atomen zu Molekülen	PHY	3
Dr. Dieter Martinetz	Die Gifte der Spinnentiere	BIO	11
Peter Kroll	Kernkraft: Ja oder Nein, danke? (Teil 1): Die Weltenergiesituation heute und morgen	PHY	19
Dr. Tobias Damm	Die Grundlagen des Farbfernsehens (Teil 1): Einführung	PHY	26
Wolfgang König	„Medaille der Furchtlosigkeit“ für D. I. Mendelejew	GE	35
Alexander Niehardt, Karsten König	AIDS (Teil 1)	BIO	40
	BASIC-EXTRA		48

### 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 27122/217

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: Dr. Roland Colditz, Sylvia Kaschke, Antje Schlegel, Petra Richter, Peter Kroll,  
Alexander Niehardt, Ralph Huonker, Rainer Strobel

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

Gestaltung: Richter, Stecklum

Redaktionsschluß: 23. 11. 1986

OL Siegfried Oertel  
EOS „Karl Marx“  
Leipzig

Das wellenmechanische  
Atommodell (Teil 2):  
Von Atomen zu Molekülen

Nachdem im ersten Teil dieser Folge die Grundlagen des wellenmechanischen Atommodells (Orbitalmodell) erlegt worden sind, soll mit dessen Hilfe an einigen Beispielen die Verbindung von Atomen zu Molekülen gedeutet werden.

Jeder Schüler unserer Republik lernt im Chemieunterricht der 8. Klasse, daß die Atombindung durch ein gemeinsames Elektronenpaar bewirkt wird, wobei sich - wie bei jeder chemischen Bindung - stabile Elektronenanordnungen ausbilden.

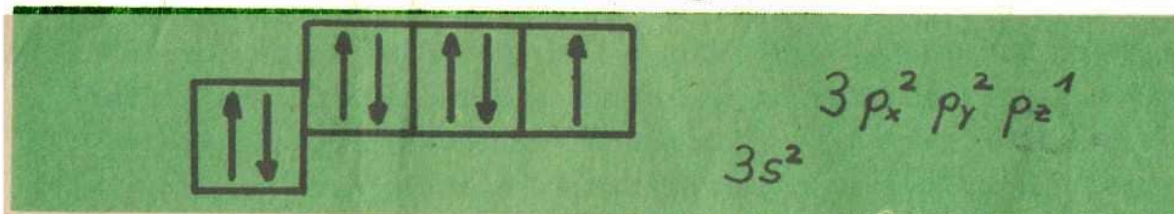
Solche liegen in den Atomen der Edelgase vor; jedes Atomorbital enthält bei ihnen zwei Elektronen; die für die Valenzbetätigung von Hauptgruppenelementen "zuständigen" Energieniveaus sind maximal besetzt ( $s^2 p^6$ ). Das ist der energetisch günstigste (weil energieärmste) Zustand; Edelgase gehen deshalb freiwillig keine chemische Bindung ein (weder mit sich selbst noch mit anderen Elementen). Linus Pauling sagte jedoch Anfang der 30er Jahre auf der Grundlage des wellenmechanischen Atommodells, an dessen Weiterentwicklung er selbst großen Anteil hatte, die Existenz von Edelgasverbindungen voraus. (Das Rutherford-Bohrsche Modell ließ eine solche kühne Hypothese nicht zu). Aber erst ab 1962 gelang es, chemische Verbindungen zunächst des Xenons und später auch des Kryptons herzustellen.

Atomorbitale, die nur ein Elektron enthalten, können ein weiteres aufnehmen; man nennt sie bindende Elektronen. Treten zwei Atome des Elementes WASSERSTOFF miteinander in Wechselwirkung, kommt es zu einer gegenseitigen Durchdringung der beiden  $1s$ -Orbitale. Das Wasserstoffmolekül bildet ein Molekülorbital, in dem die beiden Elektronen zu beiden Atomkernen gehören (Elektronenpaarbindung). Es entsteht ein Raum gemeinsamer Aufenthaltswahrscheinlichkeit für beide Elektronen um beide Atomkerne, eine Art gemeinsame "Ladungswolke", welche die sich gegenseitig abstoßenden positiven Kernladungen abschirmt und so ein Ausein-

anderfallen des Moleküls verhindert. (Abb. 9). Zum besseren Verständnis könnte wiederum das "Mückenexperiment" aus dem 1. Teil beitragen: Man stelle sich vor, daß jetzt zwei Mücken um zwei brennende Lampen im Abstand von 1 m schwirren. In den nachfolgenden Abbildungen wird der besseren Übersicht wegen auf die Darstellung von Molekülorbitalen verzichtet; es werden künftig immer nur die Molekülorbitale mit ihrer teilweisen Durchdringung (Überlappung) der Atomorbitale symbolisiert. Das Wasserstoffmolekül ist energieärmer als die Summe der beiden Ausgangsatome; bei der Durchdringung von Atomorbitalen zu einem Molekülorbital wird Bindungsenergie frei. Diese ist um so größer, je stärker die Atomorbitale einander durchdringen. Im Wasserstoffmolekül liegt die optimale Durchdringung bei einem Kernabstand von 74 pm vor. Eine vollständige Durchdringung wird allerdings durch die abstoßenden Kräfte der gleichgeladenen Atomkerne verhindert.

Atombindungen (in der Fachwissenschaft meist kovalente Bindungen genannt) sind immer Bindungen, die als Folge der Durchdringung von Orbitalen entstehen. Da sich im Falle des Wasserstoffmoleküls zwei s-Orbitale verbinden, spricht man von einer s-s-Atombindung. Die große Festigkeit von Atombindungen bei der optimalen Durchdringung von Atomorbitalen ist auf das durch eine Elektronendichte zwischen den Kernen erreichte Minimum an Kernabstoßungskräften zurückzuführen.

Im CHLORatom mit der Elektronenkonfiguration



steht mit dem  $3p_z$ -Elektron ein ungepaartes, also bindendes Orbital zur Verfügung; es dient als Valenzelektron bei der Bildung von Chlormolekülen. Die  $3p_z$ -Orbitale beider Chlortome durchdringen sich gegenseitig entlang der gedachten Verbindungslinie zwischen den beiden Atomkernen; es entsteht ein Molekülorbital mit einer p-p-Atombindung (Abb. 10), ebenfalls unter Energiefreisetzung. Zum Vergleich: Die Molere Bindungsenergie bei der Bildung eines Jodmoleküls mit einem Kernabstand von 266 pm beträgt  $-150,7 \text{ kJ.mol}^{-1}$ .

Abb. 9

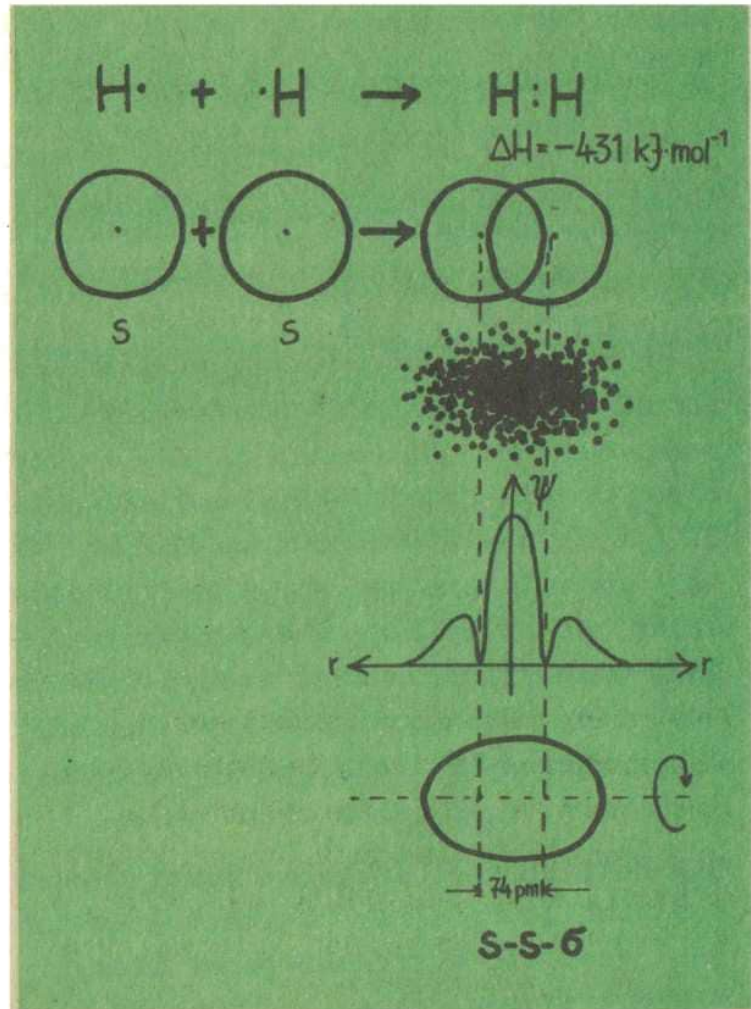
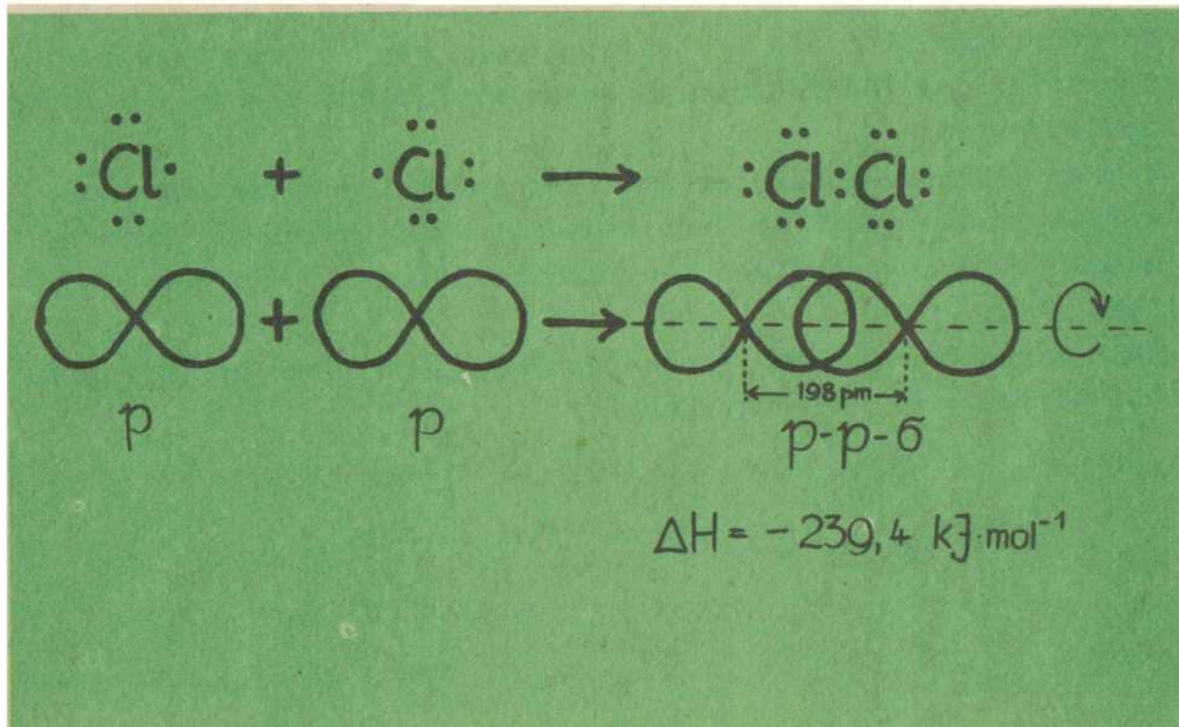


Abb. 10



Dieser Wertevergleich ermöglicht das Verständnis folgender Tabelle:

Thermischer Dissoziationsgrad in %		
	bei 1000 K	bei 2000 K
Chlor	0,035	37
Jod	2,8	89,5

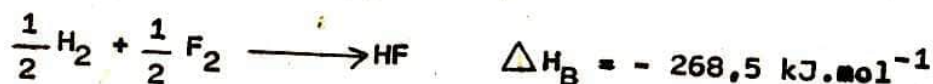
Sowohl im Wasserstoff- als auch im Chlormolekül liegen Atombindungen vor, bei denen das Molekülorbital rotations-symmetrisch um die gedachte Verbindungsachse zwischen den Atomkernen liegt. Solche Atombindungen heißen  $\sigma$ -(Sigma-)Bindung. Beim Wasserstoff sprechen wir also von einer s-s- $\sigma$ - und beim Chlor von einer p-p- $\sigma$ -Atombindung. Aus räumlichen Gründen kann sich zwischen zwei Atomen immer nur eine  $\sigma$ -Bindung ausbilden. Ebenso sind solche Durchdringungen immer nur zwischen zwei p-Orbitalen gleicher räumlicher Orientierung möglich, z.B.  $p_x$ - $p_x$  (aber nicht  $p_x$ - $p_y$ ).

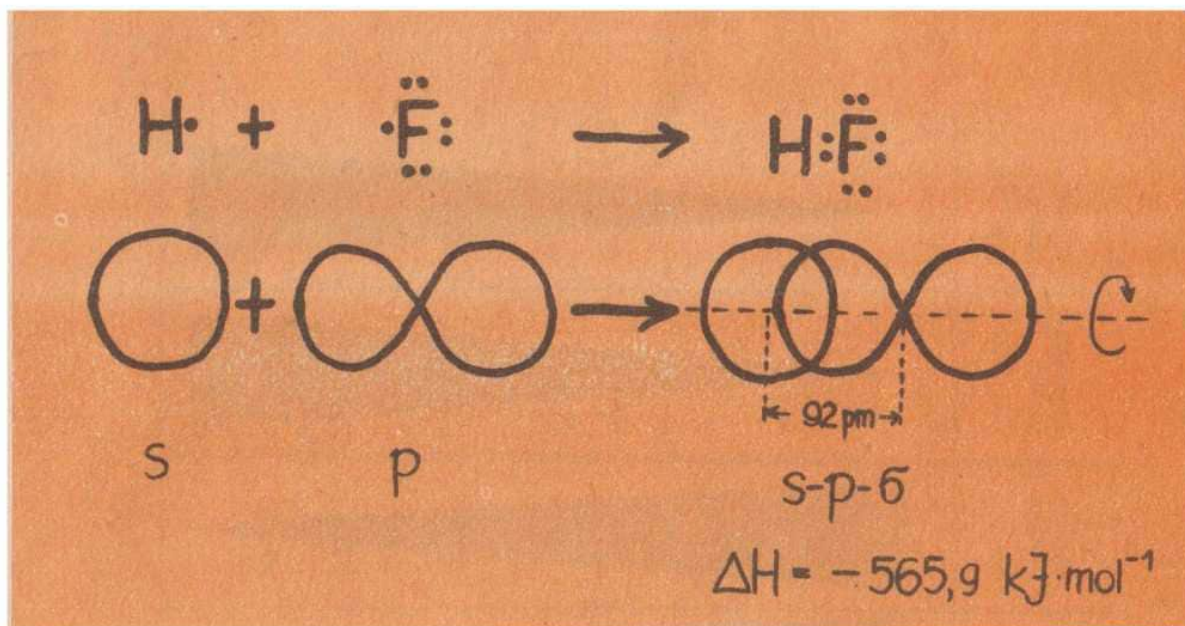
Bekanntlich gibt es neben Verbindungen von gleichen Atomen unter Ausbildung einer "reinen" Atombindung noch Verbindungen, bei denen Atome verschiedener Elemente miteinander in Wechselwirkung treten, wobei im Ergebnis eine polare Atombindung entsteht. Beispiel: FLUORWASSERSTOFF.

Bei der Verbindung von einem Wasserstoff- und einem Fluoratom durchdringen sich die in beiden Atomen vorhandenen bindenden Orbitale: das  $1s$ -Elektron im Wasserstoff- und das  $2p_z$ -Elektron im Fluoratom.

Das entstehende Molekülorbital ist ebenfalls rotations-symmetrisch um die gedachte Verbindungslinie zwischen den Kernen ausgerichtet. Auch diese s-p-Bindung ist eine  $\sigma$ -Bindung (Abb. 11).

(Die angegebene molare Bindungsenergie ist nicht zu verwechseln mit der molaren Bildungsenergie:

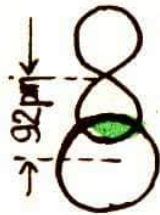
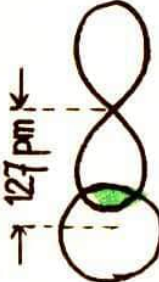
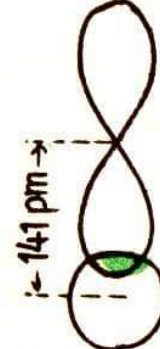
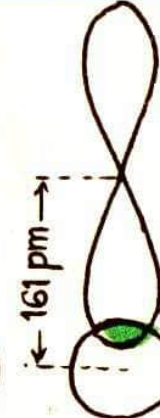




Im Falle von elementarem Wasserstoff und Chlor ist die molare Bildungsenergie definitionsgemäß gleich Null).

Wegen des viel größeren EN-Wertes von Fluor (4,0) gegenüber Wasserstoff (2,1) ist hier die Aufenthaltswahrscheinlichkeit der bindenden Elektronen in der Nähe des Fluoratoms größer als in der Nähe des Wasserstoffatoms. Das Ergebnis ist die allen Schülern vom Beispiel des Chlorwasserstoffs her bekannte Ausbildung von unterschiedlichen Ladungsschwerpunkten (Dipolmolekül, Dipolmoment  $\mu = 1,98$ ; polare Atombindung).

Innerhalb der Hauptgruppe zeigen sich für die Halogenwasserstoffe mit steigender Ordnungszahl interessante gesetzmäßige Änderungen: Abb. 12. Die Ursachen dafür sind letztlich in der unterschiedlichen Größe von p-Orbitalen der Halogenatome zu suchen: 2p 3p 4p 5p In einer vergleichbaren Volumeneinheit des p-Orbitals wird die Aufenthaltswahrscheinlichkeit und damit die Elektronendichte (immer in der Reihenfolge F/Cl/Br/I) immer kleiner. Infolgedessen wird die Durchdringung der Orbitale von Wasserstoff- und Halogenatom immer weniger intensiv; der Betrag der Bindungsenergie und damit die Festigkeit der Bindung nehmen ab. Gleichzeitig nimmt aber vom HF zum HI die Polarität zu. Mit der größer werdenden Polarität wird die Abspaltbarkeit des Halogenatoms als Ion leichter; beim Lösen in Wasser (Protolyse mit Wassermolekülen) nimmt die Säurestärke zu.

Halogenwasserstoff	Kernabstand H - Halogen in pm	Betrag der molaren Bindungsenergie in $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$	Protolyse in wariger Losung $\text{pK}_\text{S}$ Saurestarke	$\Delta \text{EN}$	Dipolmoment in $\mu$	Schmelzpunkt in $^\circ\text{C}$	Siedepunkt in $^\circ\text{C}$
HF		565,9	3,1	1,9	1,98	- 83	+ 19
HCl		430,5	-7	0,9	1,08	- 114	- 85
HBr		345,5	-9	0,7	0,79	- 87	- 67
HI		296,6	-9,5	0,4	0,38	- 51	- 35

$$\text{pK}_\text{S} = - \lg \frac{\text{K}_\text{S}}{\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}}$$



(Die stärkste Säure der Halogenwasserstoffe ist also die Iodwasserstoffsäure; sie ist überhaupt eine der stärksten Säuren. Nur die Perchlorsäure mit  $pK_S = -10$  protolysiert noch stärker. Die Fluorwasserstoffsäure ist dagegen eine schwache Säure, vergleichbar etwa mit salpetriger Säure, noch schwächer als die Phosphorsäure).

Die Aussage über die wachsende Polarität der Moleküle scheint mit der Abnahme der Differenzen der EN-Werte und des Dipolmoments im Widerspruch zu stehen. Aber die Ausbildung von entgegengesetzten Ladungsschwerpunkten und die damit verbundene elektrostatische Anziehung zwischen diesen führt zu einer Verkürzung der Bindungslängen und damit zu einer stärkeren Durchdringung der Orbitale.

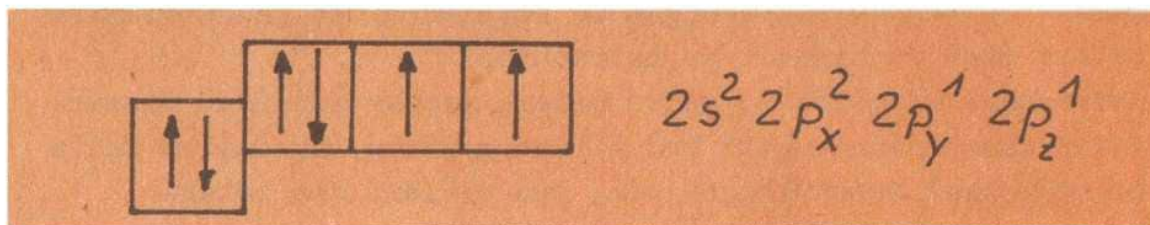
Vom Chlor- über Brom- bis zum Iodwasserstoff nehmen die zwischenmolekularen Kräfte aufgrund der steigenden molaren Massen (van der Waalsche Kräfte) und der wachsenden Dipolkräfte (im Zusammenhang mit der Polarität innerhalb des Moleküls) zu, so daß in der angeführten Reihenfolge mehr Energie zugeführt werden muß, um die Wechselwirkungen zwischen den Molekülen zu überwinden (wachsende Schmelz- und Siedepunkte). Es ist also auf der einen Seite deutlich zwischen inner- und zwischenmolekularen Wechselbeziehungen zu unterscheiden, andererseits sind sie aber in Einheit zu betrachten!

Fluorwasserstoffmoleküle gehen untereinander außerdem Wasserstoffbrückenbindungen ein und bilden größere (in diesem Falle kettenförmige) Molekülaggregate. Das erklärt den höheren Schmelz- und Siedepunkt dieser Verbindung, als durch extrapolierenden Vergleich mit den anderen Halogenwasserstoffen zu erwarten wäre.

Auch die Wasserstoffbrückenbindung in einem System X-H...Y kann - wenigstens anteilig - mit Hilfe der Orbitalmodelle gedeutet werden. Auch hier kommt es zur Überlappung zwischen Orbitalen von X-H auf der einen Seite und Y (= F, O, N) auf der anderen Seite. Allerdings ist diese im Vergleich zu den bereits beschriebenen Bindungen bedeutend geringer; die Bindung ist weniger fest; der Betrag der Bindungsenergie ist wesentlich geringer (allgemein zwischen 10 und 40  $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ).

Allgemein wird in der Schule die Kenntnis vermittelt, daß die polare Atombindung den Übergang zwischen Atombindung und Ionenbeziehung darstellt. (Die bekannten Bindungsarten in "Reinform" sind ohnehin nur als Grenzfälle ganz selten realisiert). Bei der Ionenbeziehung (Ionenbindung kann vom Standpunkt der wellenmechanischen Modellvorstellung der Elektronenübergang (z.B. vom Natrium- zum Chloratom) so aufgefaßt werden, daß zunächst die jeweils bindenden Elektronen (Na:  $3s$ ; Cl:  $3p_z$ ) gemeinsam ein Molekülorbital besetzen. Dieses wird vom Atom des elektropositiveren Elements (des Nichtmetall) so stark angezogen, daß es vollständig zu jenem übergeht und zu einem Orbital dessen wird. So gesehen, ist die Ionenbeziehung als ein Grenzfall der polaren Atombindung zu betrachten! (Ähnliche, aber kompliziertere Überlegungen gelten auch für die chemische Bindung in Metallen).

Aufgrund der Elektronenkonfiguration des Sauerstoffatoms könnte man vermuten, daß sich die beiden bindenden Elektronen ( $2p_y$ ,  $2p_z$ ) jeweils mit einem  $1s$ -Orbital des Wasserstoffatoms durchdringen.



Es müßten im Molekülorbital des WASSERMoleküls zwei s-p-Bindungen auftreten; der Winkel zwischen den H-O-Bindungen müßte  $90^\circ$  betragen. Das widerspricht aber den experimentellen Untersuchungen. (Praxis als Kriterium für die Wahrheit einer Theorie!). Also müssen noch weitere Erkenntnisse gewonnen werden. Wir wollen dieses Problem jedoch zurückstellen, bis in der nächsten Folge die Bindungsverhältnisse in Kohlenstoffverbindungen besprochen worden sind.

Dr. Dieter Martinetz  
Forschungsstelle für  
chemische Toxikologie  
an der AdW der DDR  
Leipzig

## Die Gifte der Spinnentiere

BIOLOGIE

Bearbeitet von K. König, FSU Jena

Spinnen und Skorpione fanden schon das Interesse unserer Vorfahren. So finden sich Skorpione in der griechischen Mythologie (Orionsage), ebenso wie im Talmud (wichtige jüdische Schriftensammlung) und der Bibel. Der toxiologische Klassiker Nikander aus Kolophon (gest. um 140 v.u.Z.) äußerte in seinem Werk "Theriaka" (Vers 8-20) die Vermutung, daß die böartigen Spinnen, Schlangen u.a. schädliche Tiere aus dem Blut der Titanen entstanden seien. Lange Zeit rankten sich die vielfältigsten Mythen um diese gräßlich aussehenden Tiere. So verdächtigte man die an sich wenig gefährliche Tarantel (*Lycosa tarentula*, früher *Tarentula apuliae*) im Mittelalter, Ursache des Tarantismus, der Tanzwut zu sein. Nur durch Musik sollte das Leiden gelindert und geheilt werden können; es entstand die Tarantella (süditalienischer schneller Volkstanz). Heute wissen wir, daß die Tanzwut (Chorea saltatoria) eine im Mittelalter recht verbreitete epidemische Nervenerkrankung war. Die Toxine dieser Tarantel bewirken nur einige lokale, schmerzarme Gewebeschädigungen (Nekrosen). Lediglich die brasilianische Tarantel (*Lycosa erythrognatha*) gilt als gefährlich. Ihr Biß führt zu ausgedehnten Hautnekrosen und verschiedensten inneren Schäden. Sie ist für die meisten Zwischenfälle mit Spinnen in Brasilien verantwortlich.

Im 18. Jh. wandte man sich der wissenschaftlichen Untersuchung der Gifte zu. So untersuchte Maupertius 1731 die Wirkung von Skorpiongiften auf verschiedene Tiere. Die vorhandenen Kenntnisse faßte R. Kobert (1854-1918) 1901 in der Monographie "Beiträge zur Kenntnis der Giftspinnen" (Stuttgart) zusammen. Die Wirkung der Spinnengifte führte man auf Toxalbumine oder giftige Enzyme zurück, während über die Chemie der Skorpiongifte noch gar nichts bekannt war. Heute sind eine ganze Reihe von Spinnen- und Skorpiongiften recht eingehend erforscht.

## Skorpione

Das Giftorgan der Skorpione besteht aus einem auf der Schwanzspitze sitzenden Stachel, der die Fortsetzung eines blasig aufgetriebenen Schwanzgliedes mit zwei Giftblasen darstellt. Nur das in die Blutbahn eingedrungene Gift ist wirksam; bereits Plutarch (wahrscheinlich 46-119) berichtete über Menschen, die Skorpione ohne jeglichen Schaden verzehren. Die Skorpione selbst sind gegen ihr eigenes Gift resistent; wahrscheinlich neutralisiert die Blutlymphe das Gift. Ist bei einem lebensgefährlichen Skorpionenstich kein spezifisches Gegenmittel beschaffbar, kann - trotz ernster Nebenwirkungen - die Blutlymphe als letzte Möglichkeit an Stelle des Serums genutzt werden. Die Ordnung der Skorpione umfaßt etwa 700 Arten von 2 cm bis 25 cm Größe. Neben äußerst giftigen, meist tropischen oder subtropischen Arten, gibt es auch relativ harmlose Vertreter. Etwa drei Dutzend Spezies können den Menschen ernsthaft gefährden; sie gehören alle zur Familie der Buthidae. Nach Schätzungen kommt es weltweit pro Jahr zu rund 150 000 Unfällen. 70 000 davon allein in Mexico; 12 000 enden tödlich (17 %). Besonders gefährdet sind kleinere Kinder. In Oberägypten zählt man pro Jahr etwa 40 000 Unfälle mit einer vom Lebensalter der gestochenen Personen abhängenden Letalität von 2-26 %.

Wenig gefährlich sind die europäischen Arten. Der Stich des schwarzenitalienischen Skorpions (*Euscorpius italicus*) und seines Verwandten *E. carpathicus* entspricht in seiner Wirkung etwa dem einer Biene. Gefährlicher wird der in Südfrankreich und Spanien vorkommende gelbe *Buthus occitanus* eingeschätzt. Die dem Menschen gefährlichen Vertreter gehören (von Ausnahmen abgesehen) zu den Gattungen *Tityus* in Nord-, Mittel- und Südamerika; *Centruroides* in Nord- und Mittelamerika sowie dem westlichen Südamerika; *Centrurus* in Mexico; in Nordwestafrika z.B. *Androctonus australis*. Dieser ist für 80 % der Unfälle und 95 % der durch Skorpione verursachten Todesfälle in diesem Gebiet verantwortlich. *Leiurus quinquestriatus* kommt in Israel und Nordafrika vor; die Mortalität bei Kleinkindern beträgt 50%. In den wärmeren Ländern kommen Skorpionstiche vor allem auf alten Außenaborten vor, durch Barfußlaufen in sandigen Gebieten

und durch sich nachts gern in Kleidungsstücken verkriechende Tiere. Mittlerweile sind etwa 30 Skorpiontoxine der Unterordnung Buthoidae in reiner Form isoliert und strukturell weitgehend bekannt.

Chemisch handelt es sich bei den Skorpiongiften um komplexe Gemische aus niedermolekularen Verbindungen (Salze, biogene Amine, Aminosäuren, Nucleotide, Peptide, Lipide), basischen neurotoxischen Polypeptiden ( $M > 8000$ ) und Enzymen. Entscheidende Bedeutung besitzen die Polypeptide, die sich bei den Skorpiongiften durch eine dreidimensionale Struktur auszeichnen. Ein Toxin "Variant 3" (mit 65 Aminosäureresten) aus *Centruroides sculpturatus* (Südwesten der USA) ist dabei typisch für die Skorpiongifte im allgemeinen. Auf der Oberfläche sind wasserabstoßende (hydrophobe) Bereiche charakteristisch, die über die Assoziation der enthaltenen Aminosäuren für die biologische Wirkung mitverantwortlich zu sein scheinen. Recht gut untersucht ist hier das Gift von *Centruroides sculpturatus*. Es wurden 15 verschiedene toxische Polypeptide gefunden, man nimmt an, daß 10-15 weitere in dem Gift enthalten sind. Im allgemeinen können diese Polypeptide entsprechend ihrer Kettenlänge in zwei Gruppen eingeteilt werden, solche mit 60-70 Aminosäurebestandteilen und solche mit weniger als 40. Unabhängig von der Kettenlänge werden Verknüpfungen über 4 intramolekulare Disulfidbrücken beobachtet. Mittlerweile wurde die Aminosäuresequenz für über 30 verschiedene Skorpiontoxine ermittelt. Die biologische Wirkung wird durch die Art der Aminosäuren, ihre Sequenz und die dreidimensionale Struktur bestimmt.

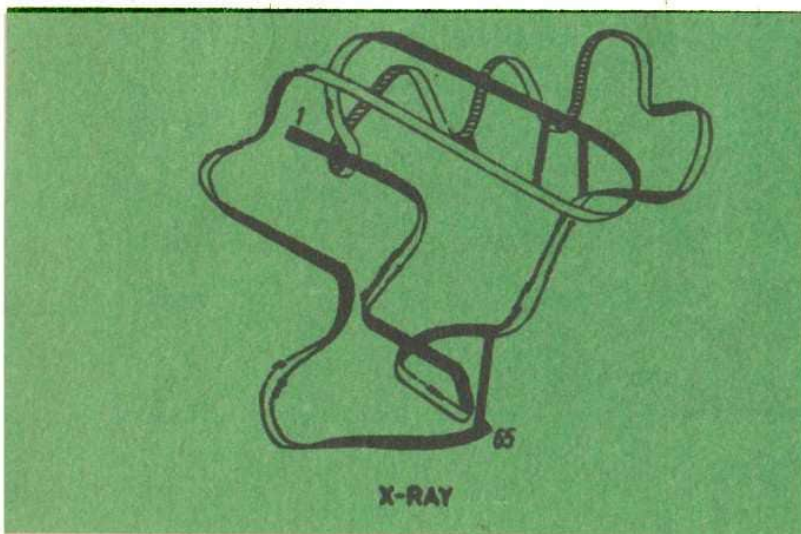


Abb. 1  
Röntgenaufnahme  
der drei-  
dimensionalen  
Struktur eines  
Skorpion-  
Polypeptids

Genauer untersucht sind die Gifte der brasilianischen Art *Tityus serrulatus* und der nordafrikanischen *Androctonus australis*. Ihr Gift besteht aus bis zu sieben kurzkettigen Peptiden (ca. 18 Aminosäurereste) und Enzymen (wie Hyaluronidase). Auch Aminosäuren werden häufig beschrieben. *Tityus*-Arten haben ein so starkes Gift, daß ein einziger Stich 500 weiße Mäuse von je 20 g Gewicht töten könnte (vgl. auch Tab. 1).

Wesentliche Symptome von Skorpionstichen sind häufig extreme Schmerzen, die nach einer gewissen Zeit in Gefühllosigkeit übergehen. Nach 5 Minuten bis 24 Stunden (!) folgen Erregung, Angstzustände, Einschränkungen der Sehkraft, Pulsbeschleunigung, Blutdruckveränderungen nach oben oder unten, Hypothermie, unregelmäßige Atmung und Erbrechen. Der Tod kann durch Atemlähmung eintreten, wenn nicht spezifische Antiseren gespritzt werden. Oft kommt es nach einer scheinbaren Erholungsphase zu einem Rückschlag, so daß längere Beobachtungszeiten erforderlich sind.

Tab. 1 / Tödliche Dosis verschiedener Skorpiongifte

Spezies	Verbreitung	LD <sub>50</sub> Maus /mg/kg/
<i>Androctonus australis</i>	Nordafrika	0,32
" <i>amoreuxi</i>	"	0,75
" <i>mauritanicus</i>	"	0,31
" <i>crassicauda</i>	Türkei, Irak	0,40
<i>Buthus occitanus tunetanus</i>	Nordafrika	0,90
<i>Centruroides limpidus tecomanas</i>	Mexico	0,69
" <i>santa maria</i>	Zentralamerika	0,39
" <i>sculpturatus</i>	Südwest-USA	1,12
<i>Leiurus quinquestriatus</i>	mittlerer Osten Israel	0,25
<i>Parabuthus transraalicus</i>	Südafrika	4,25
<i>Tityus serrulatus</i>	Brasilien	0,43

LD<sub>50</sub>: 50 % ige Todesrate

## Spinnen

Von den ca. 35 000 Spinnenarten sind die meisten aktiv giftig. Die Giftwirkung geht von den Cheliceren (Kiefern) aus, deren basales Segment die Giftdrüse enthält; von dieser führt der Giftkanal zum zweiten sehr harten Segment, der Klaue. Die Rahgifte sind im allgemeinen komplexe Gemische aus Enzymen, spezifischen cardiotoxischen (cardia = Herz) oder neurotoxischen (Neuron=Nerveneinheit) Peptiden unterschiedlicher Kettenlänge und biogenen Aminen.

Dem Menschen wirklich gefährlich werden kann jedoch nur der geringe Teil, vor allem Vertreter der Gattung *Trechona* und *Atrax* aus der Familie der Trichterspinnen (Dipluridae) in Südamerika, Australien und Neuseeland; Vertreter der südafrikanischen Gattung *Harpactirella* aus der Familie der Falltürspinnen (Barychelidae), amerikanische und afrikanische Arten der Gattung *Loxosceles* (Einsiedlerspinnen) aus der Familie Sicariidae; Vertreter der südamerikanischen Gattung *Phoneutria* (Kammspinnen) aus der Familie Ctenidae und verschiedene Arten der weltweit verbreiteten Gattung *Latrodectus* (Witwen) aus der Familie Theridiidae. Im einzelnen können nur wenige Beispiele herausgegriffen werden (vgl. auch Tab. 2).

Tab. 2 / Ausgewählte Toxizitätsdaten von Spinnengiften

LD<sub>100</sub> /mg/kg, 20 g-Maus

<i>Trechona venosa</i>	0,07
<i>Loxosceles similis</i>	0,25
<i>Latrodectus curacaviensis</i>	0,24
<i>Phoneutria fera</i>	0,0134
<i>Lycosa erythrognatha</i>	1,25

Durch den Biß von *Trechona venosa*, die in weiten Teilen Südamerikas beheimatet ist, werden große Ratten praktisch sofort getötet.

*Atrax*-arten sind die gefürchtetsten Spinnen Australiens, wobei hier - ausnahmsweise - die Männchen die gefährlicheren sind. Der Biß von *Atrax robustus* wird als äußerst schmerzhaft geschildert, wobei große Wunden entstehen. Die Giftwirkung

äußert sich in Übelkeit, Erbrechen, Durchfall, Unterleibschmerzen, Schwitzen, Atemnot, erhöhtem Blutdruck und Krämpfen. Oft hält ein tiefes Koma über mehrere Stunden an. Als Giftbestandteile werden toxische Proteine und Amine beschrieben.

Die in der Kap -Provinz Südafrikas vorkommende *Harpactirella lightfooti* ist sehr aggressiv und giftig; ihre Toxine bewirken große Müdigkeit, und das Opfer schläft ein; aus diesem Schlaf gibt es bei entsprechender Dosis kein Erwachen!

Die amerikanische *Loxosceles reclusa*, die berühmte "Brown spider", soll teilweise so starke Nekrosen verursachen, daß sogar Knochen zerstört werden; Hämolyse (Zerstörung der roten Blutkörperchen) und Lebererkrankung mit Todesfolge wurden beobachtet. Der Biß der Weibchen ist - wie bei fast allen Spinnenarten - weitaus gefährlicher als der der Männchen. Er soll kaum schmerzhaft sein, jedoch können Wunden bis zu 3 cm entstehen (Löcher), die eine schlechte Heilungstendenz aufweisen. Die Struktur der Toxine ist noch nicht im einzelnen bekannt.

Eines der stärksten Spinnengifte produziert die bis 5 cm (Körper) große Wander- oder Kammspinne *Phoneutria fera* (= *Ph. nigriventer*, *Ph. armadeira*), die auch als Bananenspinne bezeichnet wird. Ihr Biß ist sehr schmerzhaft und kann unter ungünstigen Umständen und bei Kindern nach 2 bis 5 Stunden durch Atemlähmung zum Tode führen. Es handelt sich um ein auf das zentrale und periphere Nervensystem wirkendes Gift; bei Männern werden z.B. Peniserektionen beobachtet. Wesentlich sind zwei peptidische Toxine, die auch für die Letalität verantwortlich sind. In der Vergangenheit sollen Kammspinnen gelegentlich durch Bananenlieferungen nach Europa eingeschleppt worden sein.

*Latrodectus*-Arten sind wenig angriffslustig, trotzdem sind Vergiftungen ("Latrodectismus") aus den wärmeren Zonen aller Kontinente bekannt. Die Stärke der Giftwirkung richtet sich dabei nach der jeweiligen Art, aber bereits Aristoteles (384-322 v.u.Z.), Nikander (gest. 140 v.u.Z.) und Plinius (23-79) berichten über Todesfälle. Die berühmte "Schwarze Witwe" (*Latrodectus mactansmactans*), die vor allem von den USA bis Argentinien vorkommt, ist nur wenig größer als unsere ein-



heimischen Kreuzspinné, verursacht aber pro Jahr mehr als 5000 Zwischenfälle. Trotz eines spezifischen Gegengiftes sterben daran noch etwa 1 % der Gebissenen. Der deutsche Name stammt daher, daß die Spinnenweibchen nach (teilweise auch schon vor) der Begattung das sehr viel kleinere Männchen verspeisen. Die Unterart *Latrodectus mactans tredecimguttatus* (Malmignatte) hat in den Jahren 1959-1973 in den USA 1726 Unfälle verursacht, von denen 55 (3,2 %) tödlich endeten. Der Biß ist wenig schmerzhaft; nach etwa 10 Minuten bis 1 Stunde werden Lymphknotenschwellungen beobachtet, die zum Ausgangspunkt starker Schmerzen werden. Es kommt zu starken Muskelkontraktionen im Gesicht, die von ausgeprägter Herzstörung abgelöst werden und Angstzuständen. Bei Männern kommt es in der Folge der Vergiftungen zu Peniserektionen und Ejakulationen, die bereits Nikander 136 v.u.Z. beschrieb. In nahezu der Hälfte aller Fälle treten neuromuskuläre Erscheinungen auf. Als Todesursache kommt Schlaganfall, Herz- oder Nierenversagen und Atemlähmung in Betracht, Nomadisierende Völker in Südrußland sollen in den Jahren 1838/39 durch die Malmignatte (dort als Kara-Kurt = schwarzer Wolf bezeichnet) angeblich 70 000 Stück Vieh verloren haben. Wesentlicher Bestandteil der *Latrodectus*-Gifte sind neurotoxische Proteine, die die Erregungsübertragung beeinflussen. Die Empfindlichkeiten verschiedener Tierarten sind - wie bei allen Giften - recht unterschiedlich, während z.B. Hunde ziemlich unempfindlich reagieren, kann ein Pferd bereits von einem Biß getötet werden.

Die einzige Giftspinne der Bundesrepublik kommt im Odenwald und Rheinhessen vor. Die Dornfingerspinne (*Chiracanthium punctorium*) aus der Familie Clubinoidae erzeugt schmerzhafte Bisse, teilweise auch Nekrosen und beeinflusst das Allgemeinbefinden.

Sehr furchterregend wirken auf Laien meist die großen und oftmals "behaarten" Vogelspinnen der Familie Aviculariidae. Und gerade sie sind für den Menschen relativ harmlos. Gefahren bestehen hier hauptsächlich in Sekundärinfektionen der Bißwunde. Verschiedene Vogelspinnenarten haben schlaffördernde Komponenten in ihrem Gift. Und völlig ungefährlich für den Menschen sind schließlich die mitteleuropäischen Hausspinnen

(Tegenaria sp.), Wasserspinnen (Argyroneta sp.) und Kreuzspinnen (Araneus sp.).

### Anwendung von Skorpion- und Spinnengiften

In Tirol wurde sogenanntes Skorpionöl gegen Gicht und Vergiftungen geschätzt.

Von Hörmann berichtet 1877: "Man gab Skorpione lebendig in ein weites Gefäß mit Olivenöl, und zwar auf ein Pfund 100 bis 200 Stück und setzte die Flüssigkeit an die Sonne zum Destillieren, so daß sich die Tiere darin ganz auflösten; man machte wohl auch ein langsames Feuer darunter an, damit, wie man mir versicherte, die Viecher das Gift besser ausließen. Diese Trinktur brauchte man für Vieh und Leut und zwar von innen und außen."

Ch. Ozanam empfahl 1856 die innere Anwendung von Taranteln bei Wechselfieber, zahlreichen Nervenleiden (Hysterie, Hypochondrie, Epilepsie) und die äußere Anwendung zur Behandlung von Entzündungen und Milzbrand.

Noch in unserem Jahrhundert wurde in einigen Gegenden Amerikas Kreuzspinnengift als schweißtreibendes Mittel verwendet, das Gift von Clubinoidae-Arten für blasenziehende Pflaster.

Latrodectus-Arten wurden bei Herzerkrankungen, Asthma, Gelenkschmerzen, Gelbsucht empfohlen, während in Brasilien einige Tegenaria-Arten wegen ihrer angeblichen Wirkung auf die männlichen Geschlechtsorgane als Aphrodisiaka geschätzt wurden. Heute dienen Spinnengifte in erster Linie äußerlich zur unspezifischen Reiztherapie bei rheumatischen u.ä. Krankheiten; gute Erfolge wurden dabei bei Kombinationen von Kreuzspinnen- mit Viperngiften (z.B. Kreuzottergift) erzielt.

Es sind auch Versuche bekannt, z.B. Kreuzspinnengift intravenös in Kombination mit anderen Mitteln gegen Angina pectoris, Bluthochdruck und Herzrhythmusstörungen einzusetzen.

Die schlaffördernde Wirkung einiger Vogelspinnengifte soll neuerdings in den USA therapeutisch genutzt werden.

Nach dem Reaktorunglück in Tschernobyl im April 1986 sind die Fragen der Energieversorgung und die damit verbundenen Probleme viel diskutiert worden. Besonders über die Notwendigkeit oder Nichtnotwendigkeit des Einsatzes von Kernkraftwerken sowie über die globale Weltenergiesituation gehen die Meinungen und Argumente sehr weit auseinander.

Mit diesem Artikel sollen einige Fakten und aktuelle Daten zu dieser Thematik dargestellt werden.

Der heutige gesamte Weltbedarf an Energie liegt bei 8 TWe im Jahr. Im Durchschnitt sind das ungefähr 2 kWe pro Jahr und Einwohner oder eine Dauerleistung von rund 2 kW je Erdbewohner. (Zum Vergleich: Für sein nacktes Dasein benötigt jeder Mensch durchschnittlich 80 bis 130 W, die er in Form von Nahrung, also chemischer Energie, zu sich nimmt.)

$$\begin{aligned} 1 \text{ TWe} &= 1 \text{ Terawattjahr} \\ &= 10^9 \text{ kW} \cdot \text{a} \\ &= 10^9 \cdot 365 \cdot 24 \text{ kWh} = 8,76 \cdot 10^{12} \text{ kWh} \\ &= 3,2 \cdot 10^{19} \text{ J} \end{aligned}$$

Der Aufrechterhaltung dieses Energieverbrauchs von 1 TWe/a entspricht die tägliche Verbrennung von etwa  $10^9$  Tonnen Steinkohle oder etwa  $14 \cdot 10^6$  barrel Erdöl (1 barrel = 159 l).

Der durchschnittliche pro-Kopf-Verbrauch von 2 kWe/a ist jedoch sehr ungleichmäßig verteilt. In Europa werden etwa 5 kWe/a, in Nordamerika 11 kWe/a, jedoch in den Entwicklungsländern nur 0,3 kWe/a verbraucht.

Folgende Tabelle enthält den Elektroenergieverbrauch einiger ausgewählter Länder:

Tabelle 1 Elektroenergieverbrauch ausgewählter Länder

Land (Stand 1983)	Elektroenergie- verbrauch (in $10^6$ kWh)	je Einwohner (in kWh je Einw.)
BRD	41,5	0,696
DDR	12,0	0,717
Frankreich	34,9	0,621
Großbritannien	31,5	0,559
Italien	20,6	0,363
Polen	14,4	0,393
Spanien	13,7	0,351
UdSSR	161,9	0,594
Kanada	45,1	1,813
USA	272,0	1,160
Indien	16,0	0,022
Japan	63,4	0,532
Australien	12,5	0,811
Welt	973,4	0,208

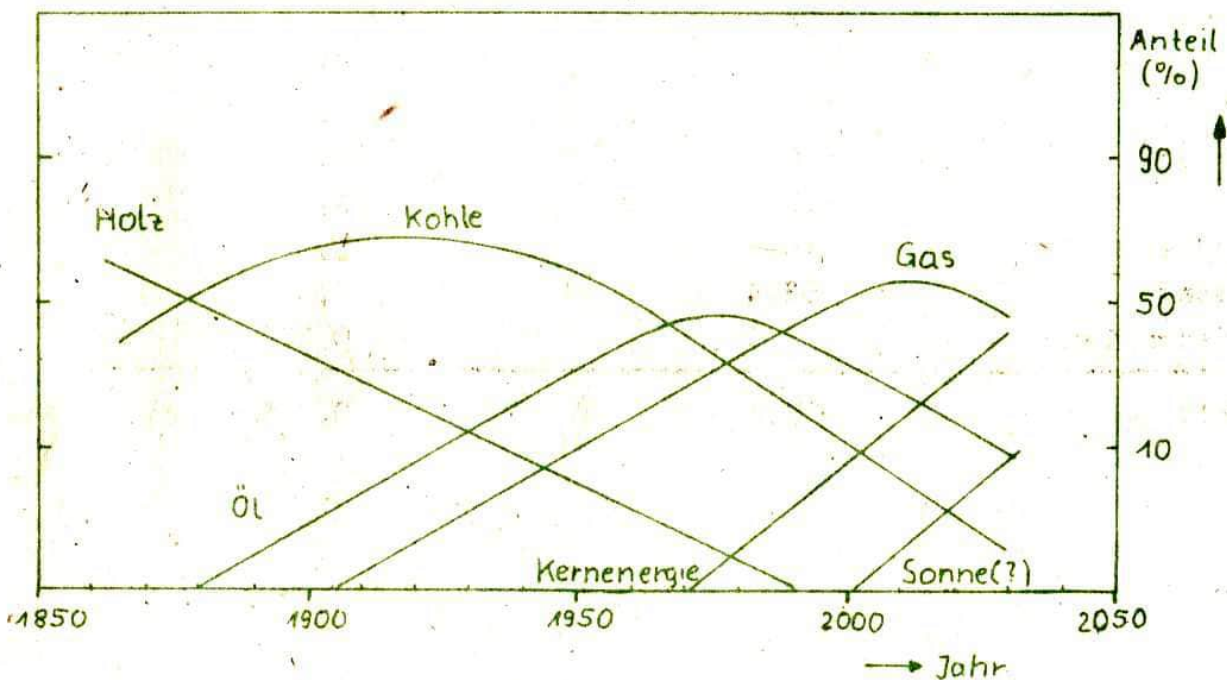
(Es ist zu beachten, daß es sich hierbei nur um den Elektroenergieverbrauch handelt. Der gesamte Energieverbrauch ist natürlich höher. Man denke nur daran, daß in unseren Breiten fast ganzjährig geheizt wird und beispielsweise alle Neubaugebiete ganzjährig mit warmem Wasser versorgt werden).

Dieser gewaltige Energieverbrauch ist weiter im Ansteigen begriffen. Welche Primärenergiequellen werden dabei besonders genutzt?

Wie aus dem Bild 1 hervorgeht, haben sich die Hauptenergieträger in der Welt in den letzten Jahrzehnten sehr gewandelt. Die Ursachen dafür sind verschiedener Natur. Entscheidend sind der Umfang der zugänglichen Ressourcen im Zusammenhang mit den Förder- oder Aufbereitungskosten. Ein weiteres Kriterium ist die Handhabbarkeit des Energieträgers. Beispielsweise ist Erdöl und Erdgas weitaus bequemer und vielseitiger zu verwenden als Holz oder Kohle.

Vom "Internationalen Institut für Angewandte Systemanalyse" in Laxenburg bei Wien (ein Institut, in dem Wissenschaftler sowohl kapitalistischer wie auch sozialistischer Länder zusammenarbeiten) wurde 1984 eine Studie über den heutigen und zukünftigen Weltenergiebedarf und die Hauptenergieträger angefertigt. Es wurden zwei globale Versorgungsszenarien für die Jahre 2000 und 2030 berechnet.

Bild 1 Primärenergieanteile der Welt 1860 - 2030



Der Anteil der Kernenergie an der Elektroenergieerzeugung liegt für einige Länder bei 50 % bis 70 %. Für diese Länder ist es objektiv unmöglich, von heute auf morgen gegebenenfalls auf die Kernkraft verzichten zu wollen, selbst bei sparsamstem Energieverbrauch und beschleunigtem Einsatz von sogenannten "alternativen Energiequellen".

Das globale Problem der Energieversorgung der Menschheit kann nicht losgelöst von anderen globalen Problemen, wie z.B. dem Umweltschutz gesehen werden. Betrachten wir daraus zwei Schwerpunkte: die Wärmebelastung und den CO<sub>2</sub>-Gehalt der Erdatmosphäre.

# Primärenergiequellen

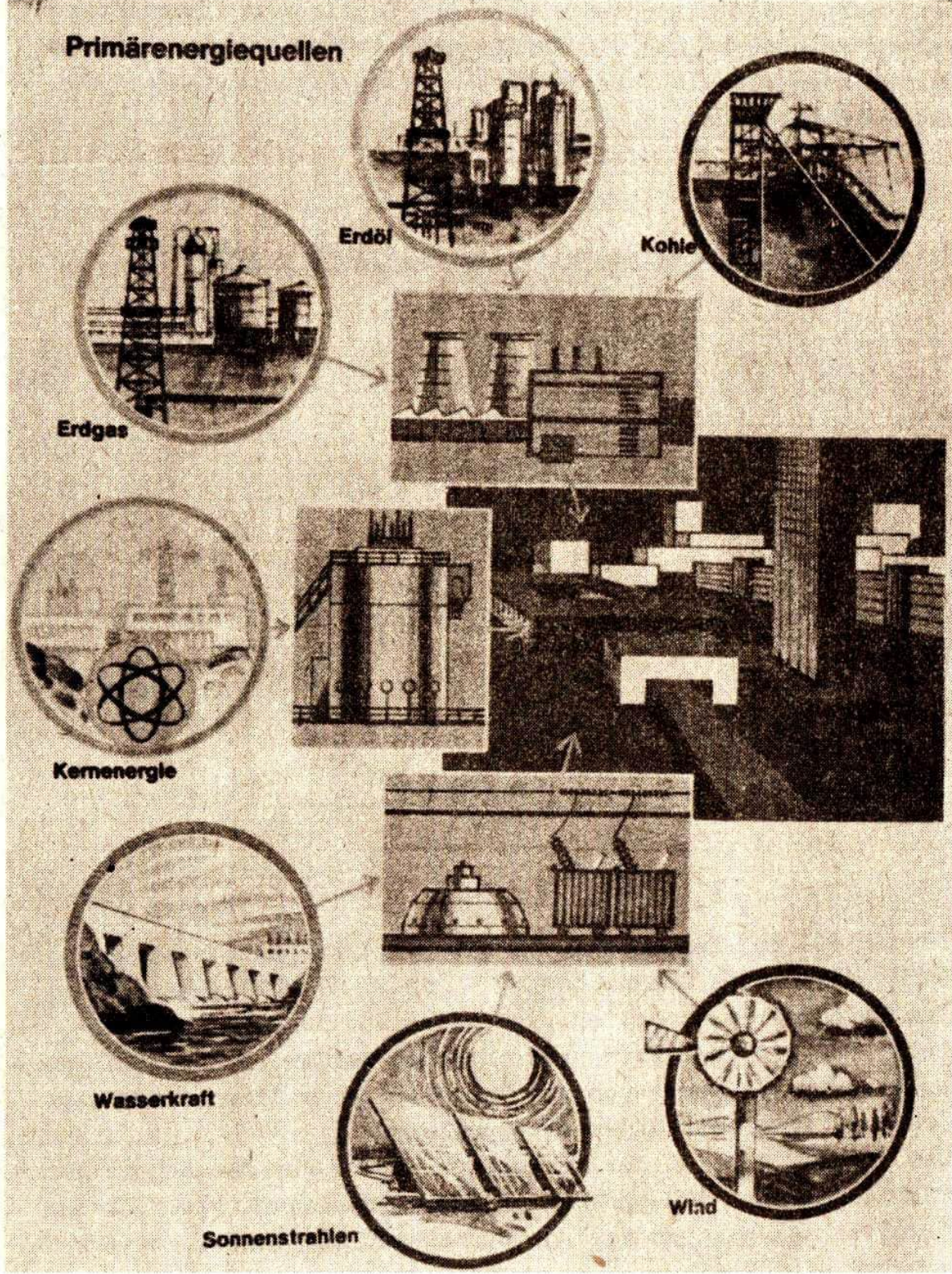


Tabelle 2

Globale Versorgungsszenarien und globale Primärenergiequellen (1975 - 2030)

Primär- Energie- Quelle	1975		"Hoch"-Szenario				"Niedrig"-Szenario			
	TWa/a	%	2000		2030		2000		2030	
	TWa/a	%	TWa/a	%	TWa/a	%	TWa/a	%	TWa/a	%
Öl	3,82	46,5	5,89	35,0	6,83	19,2	4,95	35,0	5,02	22,4
Gas	1,51	18,4	3,11	18,5	5,97	16,7	2,53	18,6	3,47	15,5
Kohle	2,26	27,5	4,95	29,4	11,98	33,6	3,93	29,0	6,45	28,8
LWR	0,12	1,5	1,70	10,1	3,21	9,0	1,27	9,3	1,89	8,5
SBR	0,00	0,0	0,04	0,2	4,88	13,7	0,02	0,1	3,28	14,6
Wasser- kraft	0,50	6,1	0,83	4,9	1,46	4,1	0,83	6,1	1,46	6,5
Solar- energie	0,00	0,0	0,10	0,6	0,49	1,4	0,09	0,7	0,30	1,4
Sonstige	0,00	0,0	0,22	1,3	0,81	2,3	0,17	1,2	0,52	2,3
<b>Insgesamt</b>	<b>8,21</b>	<b>100</b>	<b>16,24</b>	<b>100</b>	<b>35,65</b>	<b>100</b>	<b>13,59</b>	<b>100</b>	<b>22,39</b>	<b>100</b>

(LWR - Leichtwasserreaktor, SBR - Schneller Brüter)

Bekanntlich wird nahezu die gesamte, in den Kraftwerken "erzeugte" Energie letztendlich in Wärmeenergie umgesetzt. Dieser Fakt ist unabhängig von der Art der Primärenergie.

Die Sonneneinstrahlung auf der gesamten Erdkugel beträgt 178 000 TW (etwa 30 % davon werden in den Weltraum reflektiert). Rechnen wir für das Jahr 2030 mit einer anfallenden Abwärme von 22 bzw. 35 TW, so erscheint das sehr, sehr wenig. Man muß jedoch beachten, daß durch die Sonneneinstrahlung ein weitgehend stabiles Weltklima aufrechterhalten wird. Der Gleichgewichtsprozeß ist sehr komplex und von vielen Faktoren abhängig, so daß bereits kleine Abweichungen vom Gleichgewichtszustand katastrophale Folgen haben können. Auch dafür gibt es verschiedene Modellrechnungen. Sie besagen, daß ab etwa 300 TW Abwärme mit starken Änderungen des Weltklimas zu rechnen ist. Dieser Zahlenwert ist jedoch mit Vorsicht zu behandeln. Unabhängig davon gibt es bereits heute regionale Auswirkungen, z.B. an der Ostküste von Nordamerika.

Tabelle 3

Kernkraftwerke in der Welt Ende 1985

Land	Anzahl der Reaktoren	Gesamtleistung in MW
Argentinien	2	935
Belgien	8	5 486
Brasilien	1	625
BRD	20	16 429
Bulgarien	4	1 632
DDR	5	1 694
Finnland	4	2 310
Frankreich	43	37 533
Indien	6	1 240
Italien	3	1 273
Japan	33	23 665
Jugoslawien	1	125
Kanada	16	9 521
Südkorea	4	2 720
Niederlande	2	508
Pakistan	1	125
Schweden	12	9 455
Schweiz	5	2 882
Spanien	8	5 577
Südafrika	2	1 842
Taiwan	6	4 918
CSSR	5	1 980
Ungarn	2	820
UdSSR	50	26 803
USA	93	77 851
Großbritannien	38	10 120
<b>Gesamt</b>	<b>374</b>	<b>248 577</b>



Das nächste Problem ist die Freisetzung von  $\text{CO}_2$  bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen (Kohle, Öl, Gas). Der natürliche  $\text{CO}_2$ -Gehalt der gesamten Erdatmosphäre entspricht der Verbrennung von 700 TWe fossiler Brennstoffe. Rechnen wir mit einem Verbrennungsanteil von etwa 20 TWe/a (siehe Tabelle 2: "Hoch"-Szenario) für das Jahr 2000, dann hätte man bei gleichbleibendem Verbrauch in rund 70 Jahren eine  $\text{CO}_2$ -Menge freigesetzt, die 1400 TWe entspricht. Nehmen wir weiterhin an, daß die Hälfte dieses neu produzierten  $\text{CO}_2$  in den Ozeanen gelöst wird, dann verbleiben in der Atmosphäre eine äquivalente Menge von 700 TWe an  $\text{CO}_2$ , die der natürlichen gleichkommt. Der  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Atmosphäre hätte sich also verdoppelt. Entsprechende Modellrechnungen besagen für diesen Fall ein Ansteigen der Temperatur der Erdoberfläche um 3 K, wobei die Erwärmung an den Polen bis zu 10 K beträgt. Das Ergebnis dessen kann sich jeder vorstellen. Diese Berechnungen sind keine sichere Vorhersage. Dennoch muß man der weiteren  $\text{CO}_2$ -Anreicherung der Atmosphäre gebührende Beachtung schenken.

Der Leser mag nun selbst beurteilen, inwieweit der Einsatz der Kernenergie notwendig ist und inwieweit benachbarte globale Probleme bei der Lösung des Energieproblems eine Rolle spielen. Gelänge uns eine billigere Nutzung der Sonnenenergie (als bisher), dann wären sowohl die Abwärme-, als auch die  $\text{CO}_2$ -Problematik aus der Diskussion geschafft.

Beide Szenarien gehen von einem nach wie vor sehr hohen Verbrauch an Öl (Erdöl), Gas (Erdgas) und Kohle aus. Aber die Tendenz der Energiegewinnung durch Kernkraft ist steigend. Bereits heute gewinnen viele europäische Länder aus der Kernenergie einen sehr hohen Prozentsatz ihres Gesamtenergieaufkommens (Frankreich, Belgien). Nach jüngsten Angaben der Internationalen Atomenergiebehörde (IAEA) betrug der Anteil der Kernenergie an der Elektroenergieerzeugung der Welt 1985 etwa 15 %. In 26 Ländern werden 374 Kernreaktoren betrieben, deren Gesamtleistung 248 577 MW beträgt (s. Wissenschaft und Fortschritt, Heft 9/1986).

Wer hat nicht schon einmal die Freude empfunden, eine Fernsehsendung in natürlichen Farben zu genießen? Neben der größeren Anschaulichkeit des farbigen Bildes beispielsweise bei Sportsendungen spielt die elektronische Übertragung von farbigen Bildern in vielen Bereichen eine entscheidende Rolle. Als Beispiele seien hier nur die farbige Darstellung von wissenschaftlichen Aufnahmen ("Falschfarbendarstellung von Röntgenbildern, Multispektralaufnahmen, z.B. vom Kometen Halley) oder die Übertragung einer chirurgischen Operation in den Hörsaal für einen größeren Zuschauerkreis genannt.

Bevor wird uns eingehender mit den elektronischen Prinzipien des Farbfernsehens beschäftigen, müssen wir uns zunächst einigen Grundlagen der Farbenlehre widmen.

## 1. Licht und Farbe, Farbmischung

Sichtbare Lichtstrahlen sind elektromagnetische Wellen, die in einem verhältnismäßig schmalen Wellenlängenbereich von 400 bis 700 nm liegen. Um herauszufinden, woher der Farbeindruck im Auge rührt, erinnern wir uns an einen einfachen physikalischen Versuch, bei dem weißes Licht mit einem Glasprisma oder einem Gitter in ein breites Band der Regenbogenfarben zerlegt wird. Dieses Farbband nennen wir Spektrum, die von weißem Licht erzeugten Farben heißen Spektralfarben. Durch die Abhängigkeit der Brechung bzw. Beugung von der Wellenlänge können wir die einzelnen

\* ) Siehe auch "impuls 68", Serie "Farbmetrik",  
Hefte 3/84 und 4/84.

Wellenlängen räumlich trennen, die im Auge die jeweilige Farbempfindung hervorrufen. Um eine Farbbildübertragung zu realisieren, müssten wir nach dieser Überlegung die Strahlungsintensität sehr vieler Wellenlängen im sichtbaren Spektralbereich übertragen. Das führt aber zu einem enormen technischen Aufwand, der heute bei weitem nicht erreicht wird. Glücklicherweise lässt sich die gleiche visuelle Farbempfindung mit wesentlich geringerem Aufwand realisieren. Man kann nämlich mit nur drei "Grundfarben" den visuellen Eindruck fast aller natürlichen Farben reproduzieren. So werden beispielsweise zum Druck vieler farbiger Bilder nur wenige Farben verwendet. In der Farbfotografie sind ebenfalls nur drei Farben enthalten. Der Farbeindruck entsteht durch die Addition der einzelnen Grundfarben, weshalb wir von additiver Farbmischung sprechen.

Bereits im vergangenen Jahrhundert stellte der englische Physiker Maxwell (1831-1879) auf diese Weise die ersten Farbfotos her. Er fotografierte ein Objekt mit gewöhnlichen Schwarz-Weiß-Platten, wobei er jeweils ein rotes, ein grünes oder ein blaues Filter vor die Kamera setzte. Für die Wiedergabe setzte er vor die Linsen dreier Projektoren wieder die entsprechenden Farbfilter. Wurden die Bilder zur Deckung gebracht, ergab sich ein fein nuanciertes Farbbild.

Wir können also wieder weißes Licht erzeugen, indem wir alle Spektralfarben wieder zusammenfassen. Entsprechend der Farbmischung reichen dazu aber bereits 3 Spektralfarben aus. Natürlich lässt sich weißes Licht nicht mit Zyan, Blau und Violett erzeugen, sondern die gewählten Spektralfarben müssen einen möglichst großen Bereich des Spektrums überdecken. Deshalb werden Rot, Grün und Blau als Grundfarben gewählt, wobei für das Farbfernsehen die Wellenlängen 610 nm (Rot), 535 nm (Gelbgrün) und 470 nm (Blau) verwendet werden.

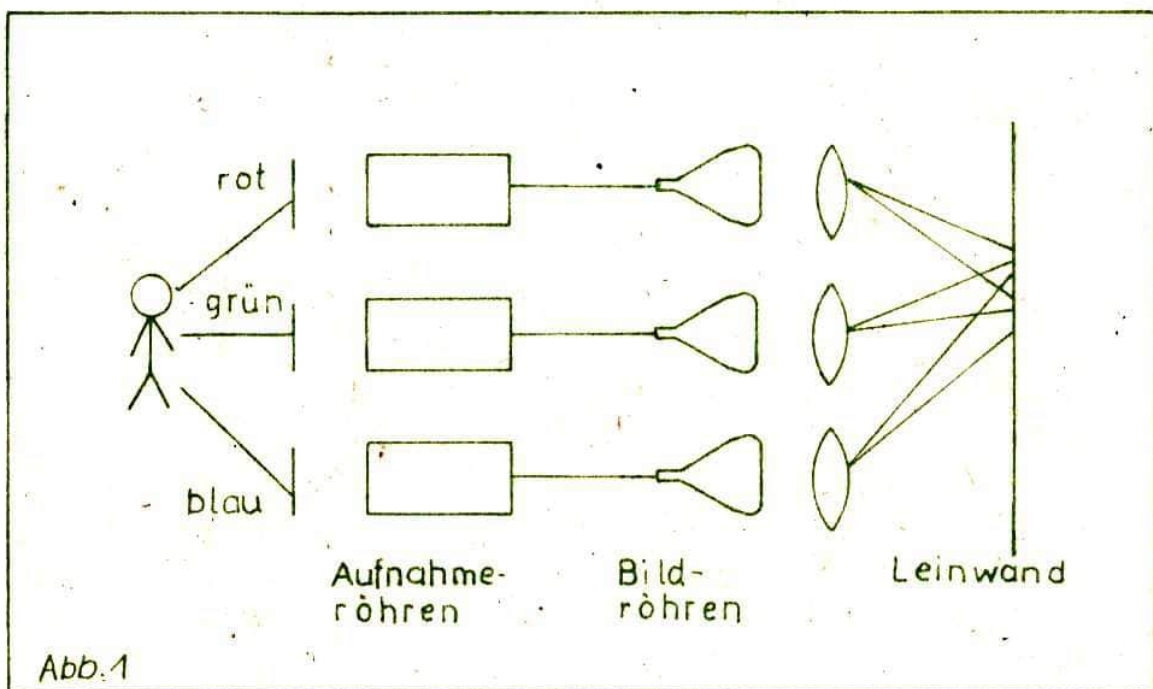
Es ergibt sich also auch wieder weißes Licht, wenn vor dem Zusammenfassen Orange, Gelb Zyan und Violett aus dem Spektrum entfernt werden. Decken wir auch noch Blau ab, d.h. wir arbeiten nur mit Rot und Grün, so nehmen wir

nach der Zusammenfassung gelboranges Licht wahr. Analog erhalten wir aus Blau und Grün Zyan. Bei Verwendung von Rot und Blau erhalten wir, jedoch nicht wie einfach zu erwarten wäre, Grün sondern Purpur, das ebenso wie Braun kleine Spektralfarbe ist.

Halten wir also fest, daß sich jeder Farbton aus entsprechenden Anteilen der 3 Grundfarben herstellen läßt.

Im Zusammenhang mit der Farbbildübertragung ist natürlich noch die Leuchtdichte von Interesse, die ein Maß für die Gesamthelligkeit der einzelnen Bildpunkte ist. Ein weiterer wichtiger Parameter ist die Brillianz der Farben, d.h. die Farbsättigung. Sie gibt an, wie groß der Weißanteil eines Farbtons ist. Rosa beispielsweise entsteht aus Weiß mit einem Überschuß Rot. Es hat eine geringe Farbsättigung, die Spektralfarben hingegen haben den maximalen Farbsättigungswert 1.

Aus den bisherigen Ausführungen ergibt sich, daß für eine Farbbildübertragung je ein rotes, ein blaues und ein grünes Bild aufgenommen, übertragen und wieder zu einem Bild zusammengesetzt werden muß. Entsprechend Abb. 1 ließen sich dazu im Prinzip 3 Schwarz-Weiß-Fernsehkanäle ausnutzen, die durch Versetzen von Filtern nur den jeweiligen Spektralbereich übertragen.



Diese Methode ist jedoch sowohl senderseitig als auch im Empfänger viel zu aufwendig. Außerdem wäre eine derartige Fernsehübertragung mit einem Schwarz-Weiß-Empfänger nur mangelhaft zu empfangen, d.h. sie ist nicht mit dem Schwarz-Weiß-System kompatibel (verträglich), was aber eine wesentliche Forderung bei der Einführung neuer Technik ist.

Bevor wir uns den elektronischen Prinzipien der Übertragung farbiger Bilder zuwenden, ist es von Vorteil, zunächst das Schwarz-Weiß-Fernsehen zu erläutern.

## 2. Grundlagen des Schwarzweißfernsehens

### Kompatibilität der Farbübertragung

Das zu übertragende Objekt wird mit einem Objektiv auf die Fotokathode einer Fernsehaufnahmeröhre (Vidikon) abgebildet. Mit einem Elektronenstrahl wird dieses Bild zeilenweise abgetastet und in ein elektronisches Signal, das Leuchtdichtesignal Y bzw. Helligkeitssignal B umgesetzt. Bei der Bildwiedergabe im Empfänger läuft der gleiche Vorgang umgekehrt ab. Die elektronischen Signale werden einem Elektronenstrahl aufgeprägt, der über den Bildschirm abgelenkt wird und die Leuchtstoffe zur Lichtausstrahlung anregt. Um die richtige Lage der Bildpunkte bei der Wiedergabe zu sichern, werden nach jeder Zeile und nach jedem Bild zusätzlich Austast - A und Synchronimpuls S übertragen. Die Zeit für das Abtasten einer Zeile beträgt  $64, \mu\text{s}$ . Entlang dieser Zeilen sind jeweils bis zu 300 Bildpunkte unterschiedbar, was einer maximalen Frequenz des Helligkeitssignals von  $f = 300/64, \mu\text{s} \approx 5 \text{ MHz}$  entspricht. Die Anzahl der Zeilen je Bild ist entsprechend der gültigen Norm auf 625 festgelegt, wobei mit Halbbildübertragung gearbeitet wird. Während des ersten Bilddurchlaufs werden die ungeraden Zeilen 1,3,5... bis 313 übertragen, im nächsten Bild die geraden Zeilen 2,4,... bis 312.

Doch zurück zur Farbbildübertragung. -

Um mit dem Schwarz-Weiß-Fernsehen kompatibel zu sein <sup>†</sup>) bilden wir zunächst aus den 3 Farbsignalen R,G,B das Leuchtdichtesignal Y. Dabei müssen wir den Zusammenhang

zwischen der Helligkeitsempfindlichkeit des menschlichen Auges und der Wellenlänge des Lichtes berücksichtigen, der in Abb. 2 dargestellt ist.

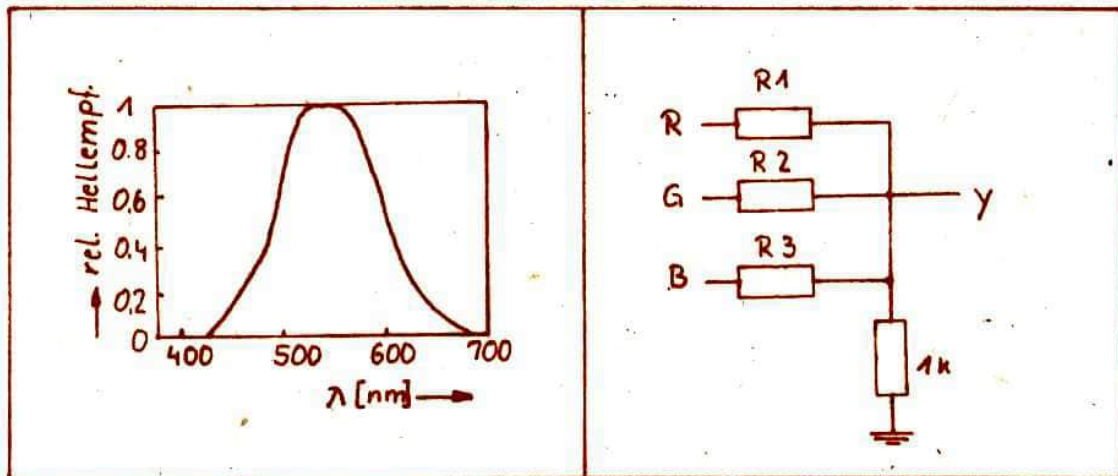


Abb. 2

Abb. 3

Im Y-Signal muß also Grün sehr stark und Blau nur relativ gering enthalten sein. Legen wir die größte Helligkeit mit  $Y = 1$  fest, so erhalten wir aus Abb. 3  $Y = 0,3 R + 0,59 G + 0,11 B$ . Elektronisch läßt sich diese Addition durch eine Widerstandsordnung nach Abb. 3 einfach realisieren. Da das Leuchtdichtesignal aus allen 3 Farbsignalen gebildet wird, ist es ausreichend, noch 2 Farbsignale zu übertragen. Das dritte Farbsignal läßt sich dann durch Subtraktion der beiden übertragenen vom Y-Signal wiedergewinnen. Für die Farbfernsehübertragung wurde jedoch festgelegt, daß nicht zwei Farbsignale sondern die Farbdifferenz- oder Chrominanzsignale (R-Y) und B-Y) übertragen werden. Das ist von Vorteil, da sie nur eine Information über die Farbe, nicht aber über die Helligkeit beinhalten, d.h. ihre Amplitude hängt nicht von der Helligkeit des jeweiligen „Bildpunktes“ ab. Rot und Blau wurden zur Bildung der Chrominanzsignale verwendet, da sie zum Y-Signal relativ gering beitragen und deshalb (R-Y) eine größere

†) (kompatibel heißt, daß Farbsendungen auch mit einem Schwarz-Weiß-Gerät und umgekehrt Schwarz-Weiß-Sendungen auch mit einem Farbgerät empfangen werden können).

Amplitude als  $(G-Y)$  haben. Zur Veranschaulichung, daß aus  $Y$ ,  $(R-Y)$  die Farbsignale  $R, G$  und  $B$  wiedergewonnen werden können, sind die Gleichungen zu ihrer Bildung angegeben:

$$R = (R-Y) + Y$$

$$G = Y - 0,51 (R-Y) - 0,19 (B-Y)$$

$$B = (B-Y) + Y$$

Elektronisch lassen sich die Vorfaktoren wiederum durch Widerstandsteilung und die Subtraktion durch eine Addition des phasenumgekehrten Signals realisieren.

In Abb. 4 sind die Farbarten, die beim Farbfernsehen verwendet werden in Abhängigkeit der Signale  $(R-Y)$  und  $(B-Y)$  dargestellt. Jeder Punkt innerhalb der Begrenzung stellt eine Farbe mit Farbton und Farbsättigung dar, die wiedergegeben werden kann.

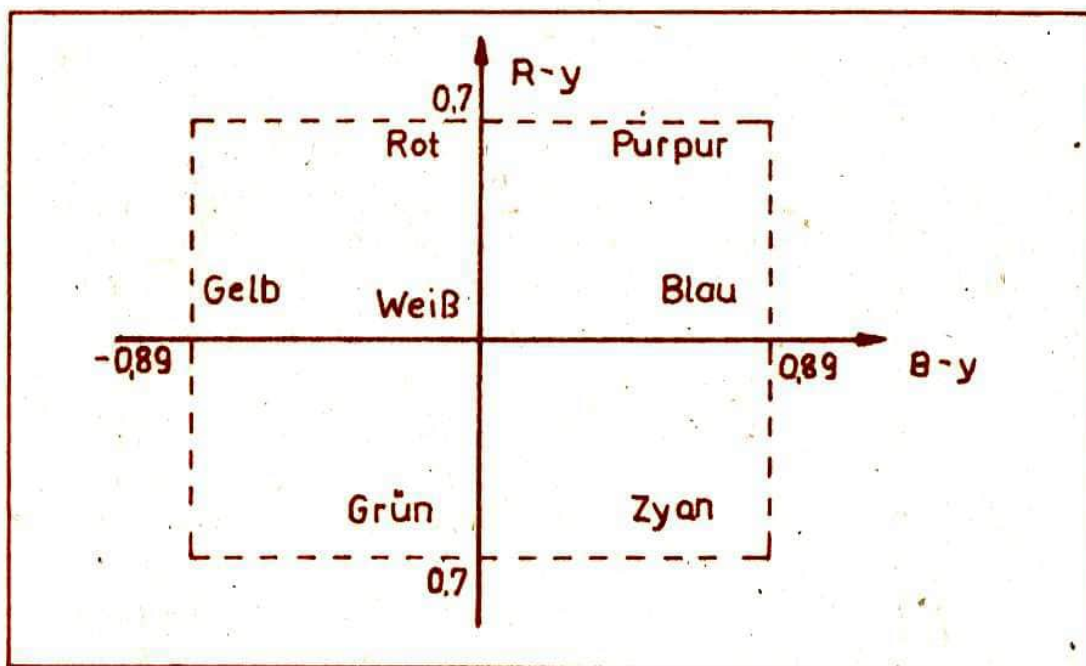


Abb. 4

Untersuchungen haben ergeben, daß das räumliche Auflösungsvermögen des Auges, hinsichtlich der Farbe nicht so gut ist, wie das Vermögen, Helligkeitsunterschiede festzustellen.

Das rührt von der Anordnung der Farb- bzw. Helligkeitsrezeptoren im Auge her. Dieser Sachverhalt läßt sich leicht kontrollieren, indem auf weißes Papier einige farbige Striche (grün, blau, braun) gezeichnet werden. Beim Betrachten in größerem Abstand erkennt man zwar die Striche, nicht aber ihre Farbe.

Für das Farbfernsehen ergibt sich daraus, daß die Farbart nicht mit der hohen Bandbreite = Punkte je Zeile) des Helligkeitssignals (5 MHz) übertragen werden muß. Es reicht in der Praxis aus, die Farbart, d.h. die Chrominanzsignale auf einer Bandbreite von 1 MHz zu übertragen. Das entspricht einer Auflösung von etwa 100 verschiedenen Farben je Zeile.

Bevor wir die verschiedenen Farbfernsehverfahren (NTSC, PAL, SECAM) behandeln, fassen wir das Prinzip des Übertragungssystems noch einmal zusammen (vgl. Abb. 5):

1. Es werden 3 Farben R, G und B aufgenommen.
2. Aus diesen 3 Signalen werden die Chrominanzsignale (R-Y) und (B-Y) sowie das Y-Signal gebildet. Als Bandbreite der Signale werden 1 MHz bzw. 5 MHz zugelassen.
3. In einem Modulator werden diese Signale mit den Synchronimpulsen zum Farb-Bild-Austast-Synchron-Signal (FBAS) zusammengefaßt und dem Sender zugeführt. Dabei ist die Kompatibilität zum Schwarz-Weiß-Fernsehen zu beachten. Der Ton wird ebenfalls aufmoduliert.

Im Empfänger wird nach dem Kanalwähler und entsprechender Verstärkung das FBAS-Signal wiedergewonnen. Nachdem die Synchronimpulse und die Tonsignale abgezweigt wurden, werden im Demodulator wieder die Signale Y, R-Y und B-Y, gebildet. Daraus werden in einer Widerstandsmatrix die Farbsignale R, G und B erzeugt und der Bildröhre zugeführt.

In der Farbbildröhre sind 3 Elektronenstrahlssysteme enthalten, die jeweils das rote, das grüne und das blaue Bild reproduzieren.



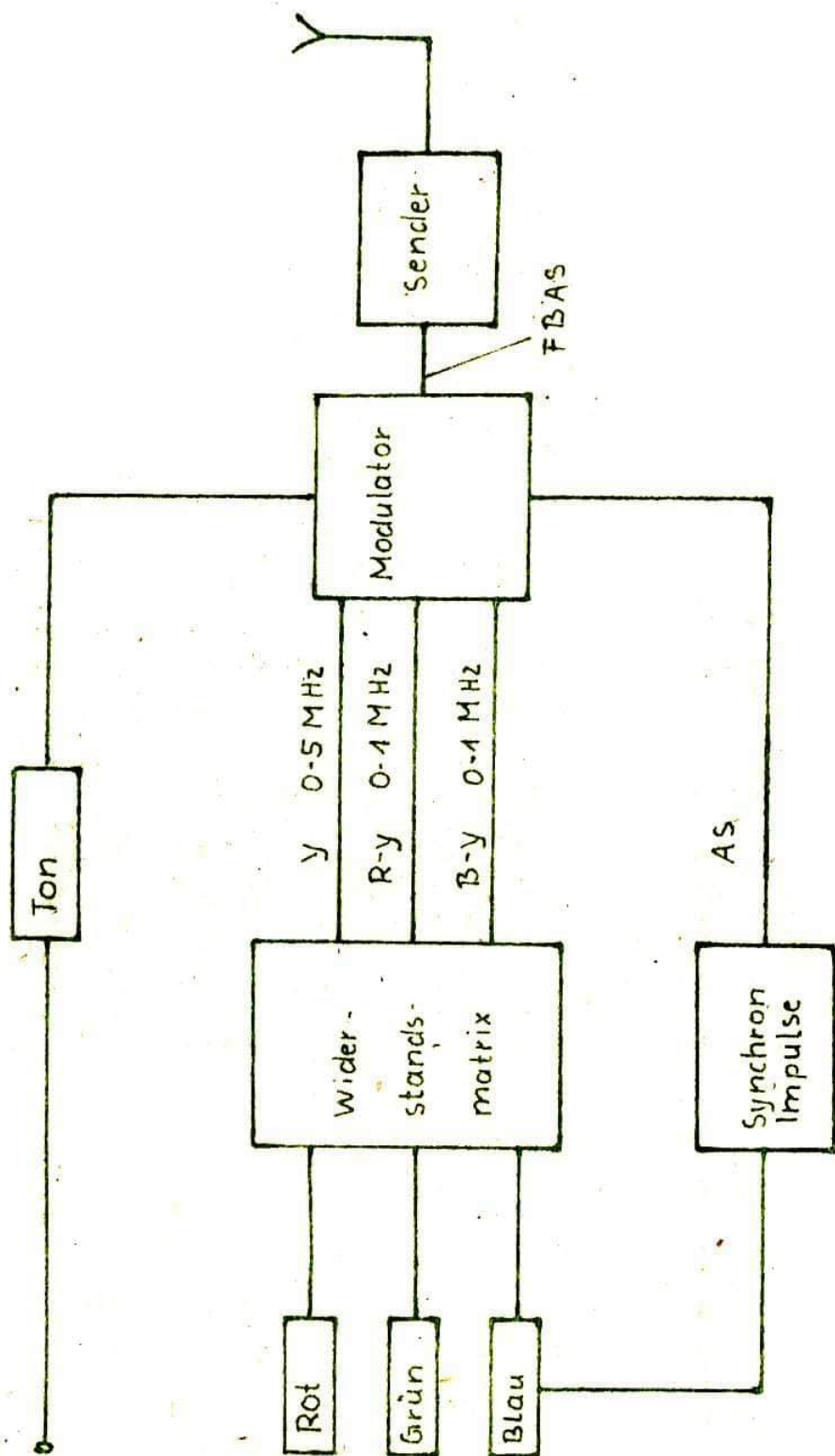


Abb. 5

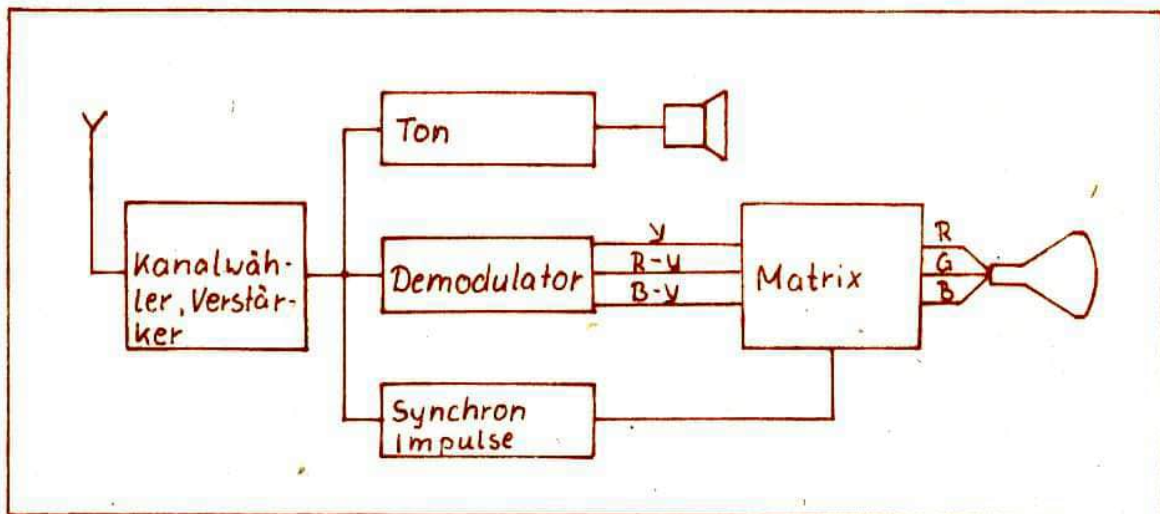


Abb. 6

Gegenwärtig haben sich 3 Farbfernsehsysteme durchgesetzt, die sich nur in der Art und Weise der Modulation und Demodulation der Chrominanz- und Leuchtdichtesignale unterscheiden.

Im nächsten Heft wollen wir uns zunächst mit den NTSC-Verfahren beschäftigen. Es wurde bereits 1953 in den USA eingeführt. NTSC ist die Abkürzung für National Television System Committee, ein Ausschuss, der maßgeblich an der Konzipierung des Farbfernsehens beteiligt war.

### Na sowas ...

Verspätet kam ein Student in das Kolleg von Hallwachs. Dieser unterbrach seinen Vortrag und wartete verärgert, bis der Student sich einen Platz gesucht haben würde. Darauf machte der Student kehrt und sagte im Fortgehen: "Ach, ich dachte hier würde gelesen!"

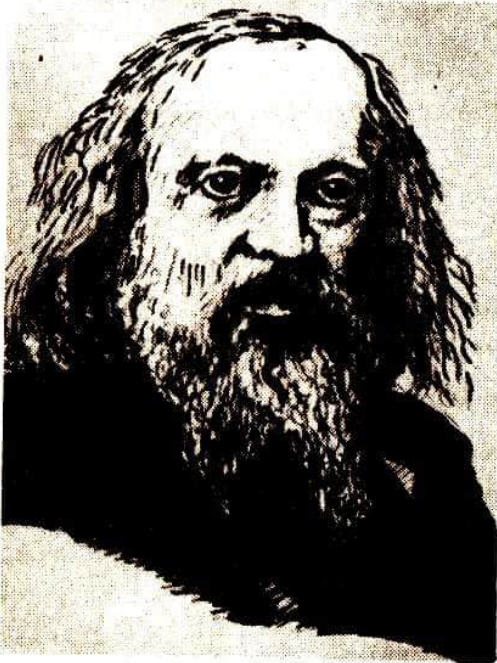
Nach einer Erholungspause setzte Hallwachs seinen Vortrag fort.

Wilhelm Hallwachs (1859 - 1922), Professor an der Technischen Hochschule Dresden und Entdecker des nach ihm benannten lichtelektrischen Effekts.

Wolfgang König  
Schul- und  
Volkssternwarte Suhl

## „Medaille der Furchtlosigkeit“ für D. I. Mendelejew

Der Mitentdecker des Periodensystems der Elemente, der berühmte russische Gelehrte Dmitri I. Mendelejew (1834-1907) beschäftigte sich in seinen späteren Lebensjahren besonders mit technischen und ökonomischen Problemen, z.B. mit der Entwicklung der Kohleindustrie und Metallurgie. Er erforschte dabei unter anderem Verfahren zur Untertagevergasung der Kohle. Es verwundert daher



nicht, daß ihn vor 100 Jahren die "Russische Technische Gesellschaft" zur Teilnahme an einer Ballonfahrt einlud, bei der die Sonnenfinsternis vom 19.8.1887 beobachtet werden sollte. Als Meteorologe und Aerosttiker hatte Mendelejew selbst den Vorschlag unterbreitet, derartige Naturereignisse aus Höhen oberhalb der Wolkendecke zu beobachten und damit den Tücken des Wetters zu entgehen. Beim damaligen Stand der Technik war dies nur mit Hilfe von Ballonen möglich, da Flugzeuge oder gar Raketen noch nicht zur Verfügung

standen.

Nun entwickelten sich die Verhältnisse an dem besagten Tag aber anders, als es sich der damals schon 53-jährige Professor vorgestellt hatte. Durch langanhaltenden Regen war die Ballonhülle durchnäßt und infolge des größeren Gewichts vermochte der Ballon nur eine kleinere Nutzlast emporzutragen. Aus diesem Grund entschloß sich die Gesellschaft, den Ballon anstelle mit der ursprünglich geplanten Besatzung mit nur einem Mann starten zu lassen: die Wahl fiel auf Mendelejew. Dieser allerdings war bislang in seinem Leben noch nie mit einem Ballon geflogen. Hinzu

kam, daß die Sonnenfinsternis wesentlich kürzer war, als der Ballonflug dauern würde. Mendelejew wagte das Unternehmen, stieg auf 3 350 Meter Höhe und führte zahlreiche Messungen und Beobachtungen aus.

In Anerkennung dafür wurde ihm von der Pariser "Gesellschaft der Luftfahrer" die "Goldenen Medaille für Furchtlosigkeit und ballonfahrerisches Können" verliehen - eine Tat, die neben Mendelejews sonstigen wissenschaftlichen Leistungen meist ungenannt bleibt.

## Lösung

Mit der Veröffentlichung der Lösungen der Aufgaben aus den Heften 5/86 und 6/86 setzen wir die Berichterstattung über die Jenaer Physikertage 1986 fort.

Klassenstufe 8,9 und 10:

zu 4: Für den skizzierten Belastungsfall sind die Stützkräfte in A und B zu bestimmen. Gegeben sind:

$$F_1 = 2000 \text{ N} , F_2 = 1000 \text{ N} , a = 0,5 \text{ m} , \alpha = 30^\circ$$

- es erfolgt zunächst die Berechnung der Stützkraft im Punkt B bezogen auf den Drehpunkt A. Dabei ist nach dem Drehmomentensatz die Summe der rechtsdrehenden Momente gleich der Summe der linksdrehenden Momente, somit

$$F_B \cdot 2a = F_1 \cdot a + F_2 \cdot \cos \alpha \cdot 3a \quad .$$

Unter Verwendung der angegebenen Werte folgt für  $F_B$

$$F_B = 2300 \text{ N} .$$

- Bei der Berechnung der Stützkraft in A bezogen auf den Drehpunkt B ist zu beachten, daß sowohl eine horizontale als auch eine vertikale Komponente auftreten, aus denen die Resultierende zu berechnen ist. Für die vertikale Komponente gilt

$$F_{A_v} \cdot 2a = F_1 \cdot a - F_2 \cdot \cos \alpha \cdot a, \quad F_{A_v} = 567 \text{ N} .$$

Die horizontale Komponente ist

$$F_{A_h} = F_2 \cdot \sin \alpha, \quad F_{A_h} = 500 \text{ N}.$$

Die resultierende Kraft ist ihrem Betrag nach

$$F_A = (F_{A_v}^2 + F_{A_h}^2)^{1/2}, \quad F_A = 756 \text{ N}.$$

zu 5: a - es gilt  $F_{i+1} : F_i = 3 : 2$ ,  $i = 1, \dots, 4$   
im Gleichgewichtsfall

$$\begin{aligned} (m_1 + m_2)g &= F_1 + F_2 + F_3 + F_4 \\ \text{bzw.} \quad (m_1 + m_2)g &= F_1 \left(1 + \frac{3}{2} \left(1 + \frac{3}{2} \left(1 + \frac{3}{2}\right)\right)\right), \end{aligned}$$

$$\text{somit} \quad F_1 = \frac{8}{65} (m_1 + m_2)g.$$

Unter Verwendung der ersten Gleichung ergibt sich für

$$\begin{aligned} F_5 &= \frac{3}{2} F_4 = \frac{3}{2} \frac{27}{8} F_1 \\ F_5 &= \frac{81}{130} (m_1 + m_2)g. \end{aligned}$$

b - Für den Wirkungsgrad gilt

$$\epsilon = \frac{W_{\text{Nutz}}}{W_{\text{Zu}}} = \frac{m_2 g s}{F_5 4 s}.$$

Unter Verwendung des Resultats für  $F_5$  folgt

$$\epsilon = \frac{65 m_2}{162 (m_1 + m_2)}.$$

Der Wirkungsgrad strebt einem Höchstwert von  $65/162$   
(ca. 40 %) zu, wenn  $m_2 \gg m_1$  ist.

zu 6: Es werden folgende Grundbeziehungen verwendet

Schweredruck  $p = g h$

Druckkraft  $F = p A$

Dichte  $\rho = m/V$ . Damit läßt sich die Druckkraft  
als  $F = (m/V) g h A$  schreiben. Für jedes Gefäß,  
dessen Volumen der Gleichung  $V = A h$  entspricht (wobei  
 $A$  nicht immer mit der Grundfläche identisch ist!), z.B.  
Zylinder, gilt demzufolge für die Druckkraft

$$F = \frac{m}{A h} g h A, \text{ d.h. die Druckkraft ist bei}$$

gleicher Masse unabhängig von der Form des Gefäßes.  
Bei der Lösung der Aufgabe müssen zwei Sachverhalte be-  
rücksichtigt werden

- infolge der Erwärmung kommt es zu einer Volumenver-  
größerung (Dichteverringerung). Der Anomaliefall des  
Wassers soll ausgeschlossen werden.
- aufgrund der unterschiedlichen Geometrie der Gefäße

führt eine Volumenänderung zu unterschiedlichen Änderungen des Wasserstandes.

Die Folgen der Erwärmung des einen oder anderen Gefäßes lassen sich durch den Vergleich mit einem zylindrischen Behälter verstehen. Vor der Erwärmung herrsche in dem rechten bzw. linken Gefäß die gleiche Druckkraft wie im Zylinder.

- (1) Erwärmung des rechten Gefäßes und des hypothetischen Zylinders; zunächst gilt

$$F_R = \frac{m}{V_R} g h_R A = F_Z \frac{m}{V_Z} g h_Z A .$$

Als Folge der Erwärmung tritt eine Volumenänderung auf, die in beiden Gefäßen gleich ist

$$\Delta V_R = \Delta V_Z ,$$

wegen der unterschiedlichen Geometrie jedoch zu verschiedenen Höhenänderungen führt

$$\Delta h_R > \Delta h_Z .$$

Daraus folgt, daß die Druckkraft bei Erwärmung des rechten Gefäßes wächst und Einstellung des Kräftegleichgewichts das Wasser nach links strömt.

- (2) Bei der Erwärmung des linken Zylinders gehen wir von der analogen Voraussetzung aus. Auch in diesem Fall ist die Volumenvergrößerung im linken Gefäß gleich der im Zylinder, wegen der unterschiedlichen Gestalt ist die Höhenänderung jedoch kleiner, d.h.

$$\Delta V_L = \Delta V_Z , \Delta h_L < \Delta h_Z .$$

Die Druckkraft auf den Böden des linken Behälters nimmt also bei Erwärmung ab, was zur Folge hat, daß Wasser zur Wiedereinstellung des Kräftegleichgewichts ebenfalls nach links strömt.

zu 7: Die Idee des Anglers besteht darin, das Wägestück der Masse  $m$  mit der Angelschnur der Länge  $l$  und des Durchmessers  $d$  in eine gleichförmige Kreisbewegung zu versetzen, und dabei die Drehzahl  $n$  mit Hilfe der Stoppuhr zu bestimmen. Bei langsamer Erhöhung der Kreisfrequenz  $\omega$  kommt es bei einer kritischen Drehzahl zum Abreißen des Wägestücks. Aus der kritischen Drehzahl und den anderen zur Verfügung stehenden Parametern läßt sich die Zerreißspannung  $\sigma$  wie folgt bestimmen:

Zerreißspannung  $\sigma = F_z/A$  ,  $F_z$  - Zentrifugalkraft

Querschnittsfläche  $A = \frac{\pi}{4} d^2$

Zentrifugalkraft  $F_z = m \omega^2 l$  , mit der Kreisfrequenz

$$\omega = 2\pi n \text{ folgt}$$

$$F_z = 4\pi^2 n^2 m l \text{ , uns somit für die}$$

$$\text{Zerreißspannung } \sigma = \frac{16\pi^2 n^2 m l}{d^2}$$

zu 8: Bei der Lösung der Aufgabe ist davon auszugehen, daß der Stein bis zum Verlassen des Körpers eine Geschwindigkeit in z-Richtung erreicht, die der des freien Falls entspricht, d.h.

$$v_x = v_0$$

$$v_z = (2 g h)^{1/2} \text{ , } v = (v_x^2 + v_z^2)^{1/2}$$

Der Stein löst sich dann von der Oberfläche, wenn die Radialkraft  $F_r = m v_r^2/r$  die zum Zentrum gerichtete Komponente der Gewichtskraft  $F_z = m g \cos\alpha$  übersteigt. Im Moment der Ablösung gilt  $F_r = F_z$ . Desweiteren ist im Moment der Ablösung der Geschwindigkeitsvektor tangential zur Oberfläche der Halbkugel, die Bewegungsverhältnisse entsprechen also in diesem Augenblick denen der gleichförmigen Kreisbewegung. Aus diesem Grund kann bei der Berechnung der Ablsehhe für die Größe  $v_r$  die Geschwindigkeit  $v$  eingesetzt werden. Da die Höhe  $h$  vom Scheitelpunkt nach unten gezählt wird, ergibt sich aus der Geometrie

$$\cos\alpha = (r - h)/r \text{ , damit}$$

$$F_z = m g (r - h)/r = F_r = m v^2/r$$

$$g (r - h) = 2 g h + v_0^2$$

Umstellen nach  $h$  liefert:

$$h = \frac{1}{3} r - \frac{v_0^2}{3g}$$

---

### Na sowas ...

Wilhelm Conrad Röntgens Vortrag war etwas eintönig, so daß die Hhrer gelegentlich einschliefen oder sich auch laut miteinander unterhielten. Doch einmal wurde es Röntgen zu laut, da sagte er: "Wenn jene Herren dort ihre Unterhaltung etwas leiser führen wollten, könnten die Herren, die der Ruhe bedürfen, ungestörter schlafen und die übrigen meinem Vortrag besser folgen."

Seit Monaten ist 'AIDS' Gesprächsthema. Die Diskussion über die neue, bisher nicht heilbare Krankheit ist häufig durch Unkenntnis gekennzeichnet und gleitet oft ins Sarkastisch-Ironische ab. Dies hängt vor allem mit den von der "Erworbenen Immunschwäche (AIDS)" am stärksten betroffenen sozialen Gruppen zusammen, unter denen sich auch die Homosexuellen befinden. Nicht zuletzt deshalb wird über Witze, die sich auf AIDS beziehen, reichlich gelacht.

Trotz mehrerer Artikel in verschiedenen Zeitschriften über dieses Thema (z.B. Wochenpost vom 4.10.85, Deine Gesundheit 12/85) und Vorträgen der URANIA kommt es zu Erscheinungen, die zeigen, daß das Wissen eines großen Teils der Bevölkerung über diese neue Krankheit nicht ausreichend ist. Aus diesem Grund wollen wir mit zwei Artikeln auf die immunologischen Ursachen dieser Krankheit und ihre Folgen aufmerksam machen. Daß diese nicht nur medizinischen Charakter besitzen, soll eine Äußerung belegen.

Student N. aus Jena:

"Ich saß mit meinem Freund in einem Berliner Café. Als wir es verließen, wollte sich nach uns eine Frau setzen. Plötzlich packte sie ein Erfrischungstuch aus und begann mit den Worten 'Bei diesen Schwulen kann man ja nie wissen', Tisch und Stuhl intensiv abzureiben."

Offensichtlich wird von vielen Menschen kein Unterschied zwischen Homosexualität und AIDS getroffen. Was AIDS eigentlich ist und wozu diese Krankheit führen kann, soll im folgenden erläutert werden. Dabei geht es zunächst um die Geschichte, die Erforschung und das Krankheitsbild von AIDS.



## Historisches

Rückblickend muß man annehmen, daß das Syndrom des erworbenen Immundefekts (-defekts) bereits Ende der 70iger Jahre in Zentralafrika und in Mittel- und Nordamerika vorkam. Aufmerksam wurden die Mediziner, als vor 5 bis 6 Jahren in den USA (aber auch schon in Europa) eine Reihe von unklaren Erkrankungs- und Todesfällen junger Männer auftraten. Die Patienten erkrankten infolge eines Immundefekts und starben an den Folgen normalerweise banaler Infektionen. Deshalb wurde dieser Erscheinung der Name Aquired Immunodeficiency Syndrome (erworbenes Immundefektsyndrom) gegeben. Erworben deshalb, weil das plötzliche Auftreten bei bisher gesunden Menschen und bestimmte Aspekte der Ausbreitung der neuen Krankheit eine Ansteckung und einen damit verbundenen Erreger vermuten ließen.

Die Verteilung der Erkrankten auf bestimmte Teilpopulationen in Zentralafrika wich jedoch stark von der in den USA ab.

Während dort überwiegend männliche Homosexuelle erkrankten, waren es in Afrika Frauen und Männer in etwa gleicher Häufigkeit, darunter auch weibliche Prostituierte. Aus diesem Grund wurden zunächst zwei unterschiedliche Erkrankungen vermutet.

Diese Annahme erwies sich jedoch später als falsch.

Es begann eine intensive Forschung nach den Verursachern dieser Infektion, die bereits nach kurzer Zeit von nur drei Jahren zum Erfolg führte. Die Entdeckung 1983 einem Forscherteam des berühmten "Institute Pasteur" in Paris. Um Ostern 1984 gab dann auch das "National Cancer Institute" in Atlanta (USA) die Entdeckung des Erregers bekannt.

Der Franzose Montagnier nannte das von seiner Arbeitsgruppe entdeckte Virus "LAV" (Lymphadenopathie-assoziiertes Virus, d.h. zu Lymphdrüsenanschwellungen führendes Virus), da diese Schwellungen fast ausnahmslos zum Erscheinungsbild der neuen Krankheit gehören und ihr Anfangsstadium deshalb oft als LAS (Lymphadenopathie-Syndrom) bezeichnet wird. Der Amerikaner Gallo gab dem von ihm gefundenen Virus die Bezeichnung "HTLV-III" (human T-cell leukemia virus), anlehnend an die von ihm entdeckten, seltenen Blutkrebs erzeugenden HTLV-I und -II. Wie sich jedoch herausstellte, erzeugt dieses Virus keinen Blutkrebs und steht anderen Viren bedeutend näher als den HTLV-I/II. Inzwischen war

aber die Abkürzung HTLV-III derart verbreitet und gebräuchlich, daß sie in geschickt abgewandelter Form (human T-cell lymphotrope virus) gemeinsam mit der von Montagnier eingeführten Bezeichnung gebraucht wird:

#### LAV/HTLV-III

Die Doppelbezeichnung für beide Erreger ist berechtigt, da ein späterer Vergleich des Aufbaus und der genetischen Informationen nur geringe Unterschiede aufzeigte und man daher faktisch von einem Erreger sprechen kann.

Kürzlich einigten sich die beiden Arbeitsgruppen auf die einheitliche Bezeichnung "H I V" (human immunodeficiency virus). AIDS ist also eine Viruskrankheit, wobei gegenwärtig um die Patentierung des Virus ein Rechtsstreit zwischen beiden Entdeckergruppen entbrannt ist.

### Viren als Krankheitserreger

Die Herkunft und Stellung der Viren im System der lebenden Natur sind noch sehr umstritten. Die früher meist verbreitete Meinung, Viren könnten Urformen des Lebens sein, wird heute kaum noch vertreten, da Viren immer auf die Existenz lebender Zellen angewiesen sind. Diese sogenannten Wirtszellen werden benötigt, um einige Lebensmerkmale, z.B. die Vermehrung, zu entfalten. Dabei ist jedes Virus auf eine bestimmte Art von Wirtszellen spezialisiert. Über einen chemischen Adapter, der auf Oberflächenbesonderheiten der Wirtszelle abgestimmt ist, erfolgt bei Kontakt mit der Wirtszelle die Ankopplung des Virus. An der Anhaftstelle wird die Erbinformation in die Wirtszelle injiziert. Diese kann als DNS oder bei den Retroviren, zu welchen auch das LAV/HTLV-III zählt, in Form von RNS vorliegen. Jede in der Zelle vorliegende Erbinformation - auch die des Virus - wird in den Realisierungsmechanismus der Wirtszelle einbezogen. Das heißt, die in der Information verschlüsselten Stoffe werden produziert. So erfolgt die Bildung von Enzymen, die die Wirtszelle in ihrer eigentlichen Funktion hemmen und sie zur vermehrten Produktion von Virusbestandteilen (Hüllenproteine, Virusenzyme, Vervielfachung der Virus-RNS) und zum Zusammenbau neuer Viren anregen. Außer der Funktionshemmung der Wirtszelle erfolgt beim Austritt der neugebildeten Viren oftmals eine Zerstörung der Zelle.

Die krankheitsauslösende Wirkung der Viren beim Menschen beruht nun darauf, daß infolge Hemmung und Zerstörung der Wirtszellen ein Ausfall von Geweben und eine Schädigung von Organen und Organsystemen auftritt. Darüber hinaus können die Wirts-Zerfallsprodukte als Giftstoffe auf nicht befallene Zellen wirken.

## Das Virus und seine Beziehung zum Immunsystem

Das Immunsystem stellt ein Abwehrsystem dar, das aus verschiedenen Organen (z.B. Milz, Thymus), Geweben und in Lymphe und Blut zirkulierenden Zellen besteht. Es hat die Aufgabe, in den menschlichen Organismus eingedrungene Fremdkörper, Parasiten, Viren, Bakterien und Krebszellen zu erkennen und zu vernichten. Der wesentliche Zelltyp zur Erfüllung dieser Aufgaben sind die Lymphozyten, die u.a. in den Lymphknoten, der Lymphe und dem Blut zu finden sind. Lymphozyten unterteilen sich in eine B- und in eine T-Zellreihe. Die T-Lymphozyten, welche aus Knochenmarkszellen gebildet werden und im - hinter dem Brustbein gelegenen - Thymus (daher T-Reihe) einen Reifungsprozeß durchlaufen, werden nochmals in Untergruppen eingeteilt. Eine große Rolle spielen hierbei die T-Helferzellen (auch  $T_4$ -Zellen genannt) und die T-Suppressor-Zellen. Die  $T_4$ -Zelle ist auch die Wirtszelle des AIDS hervorrufenden LAV/HTLV-III-Virus.

Aus der zentralen Stellung dieser Wirtszelle lassen sich verschiedene Schlußfolgerungen für die Entstehung, den Verlauf und die Diagnose der Krankheit AIDS ziehen (Siehe Abb.1)

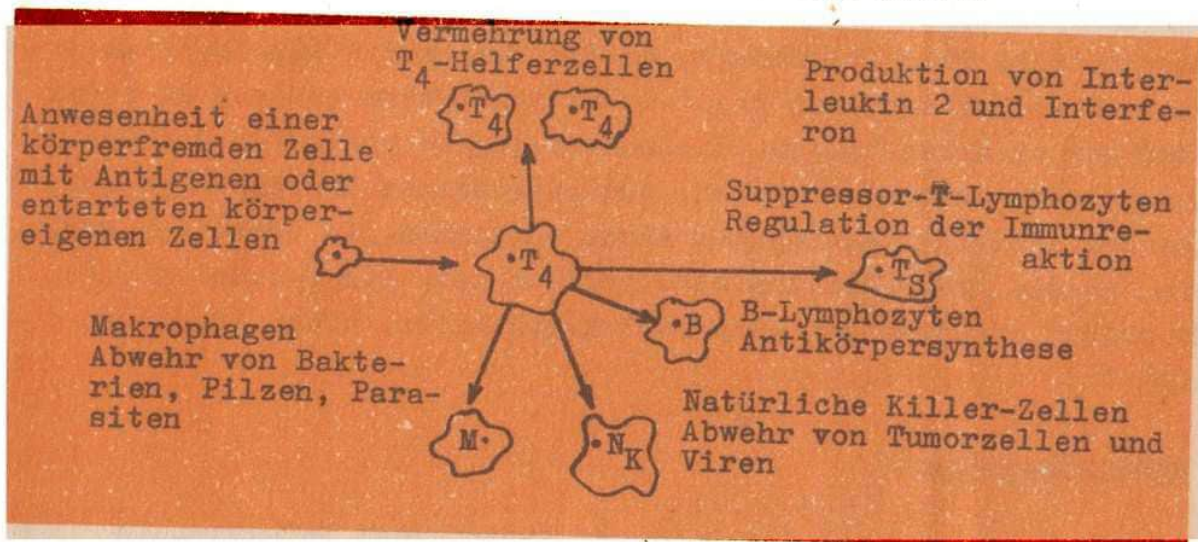


Abb.1. Stellung der  $T_4$ -Helferzellen im zellulären Immunsystem

## **AIDS-Entstehung**

Damit das Virus seine Wirtszelle massenhaft befallen kann, muß das Immunsystem bereits geschwächt sein. Die Antikörperbildung muß also soweit reduziert sein, daß keine vollständige Virentötung mehr erfolgen kann. Solche, das Immunsystem schwächende Faktoren können sein:

- gerade überstandene schwere Erkrankungen
- schlecht heilende Wunden (ständiger Eintritt von Mikroorganismen)
- Medikamente, die zu einer Immunsuppression führen
- Mehrfachinfektionen, Diabetis mellitus, Tumorerkrankungen
- ständig erhöhte Beanspruchung des Immunsystems bei Bevorzugung bestimmter Sexualpraktiken (Oral- und Analverkehr), bei denen es durch mögliche Mikroverletzungen der Schleimhäute zu einem möglichen Eintritt körperfremder Lymphozyten (im Sperma enthalten) kommen kann.
- ungesunde Lebensweise, Schlafdefizit, falsche und unzureichende Ernährung
- Drogenmißbrauch

Daraus ergeben sich gleichzeitig einige Schlußfolgerungen für Maßnahmen, die einer Infektion mit LAV/HTLV-III vorbeugen, sowie für die Lebensführung bereits Infizierter, um eine Schwächung des Immunsystems zu verhindern. Durch die ständige Verminderung der Zahl der  $T_4$ -Helferzellen wird der Organismus in seiner Immunantwort stark behindert, da die Zellen des Immunsystems ohne diese Helferzellen nicht in Aktion treten können. Es kommt häufiger zu Erkrankungen, die schwerwiegend verlaufen und das Immunsystem weiter schwächen. Außerdem treten Erkrankungen auf, die bei intaktem Immunsystem nicht vorkommen. Es tritt der Punkt ein, an dem keine Heilung mehr möglich ist. Der Patient stirbt. Er stirbt an einer der genannten Krankheiten, nicht direkt an AIDS !

## **Virus-Diagnose**

Wichtiger Bestandteil der Diagnose einer jeden Infektion ist der Nachweis des stattgefundenen Erregerkontakts. Dieser läßt sich wie folgt durchführen:

- 1) durch den Nachweis der gebildeten Antikörper im Blut  
Die von den B-Lymphozyten gebildeten Antikörper sind Stoffe, die die Aufgabe haben, Pilze, Viren, Bakterien und Parasiten, welche bekämpft werden sollen, zu eliminieren. Dabei werden spezifische Antikörper gebildet. Der gebräuchliche Antikörpertest für das LAV/HTLV-III trägt den Namen ELISA (Enzyme linked immune sorbens assay).
- 2) Nachweis durch den Zell-Relations-Test  
Durch die Zerstörung der  $T_4$ -Helferzellen kommt es zu einer Verschiebung des Verhältnisses von  $T_4$ - und  $T_S$ -Zellen, die sich durch eine Auszählung feststellen läßt. Eine Verschiebung des Verhältnisses tritt aber auch nach schweren Infektionen oder in Zeiten erhöhter Beanspruchung des Immunsystems auf (Schwangerschaft, Grippe-Wellen).
- 3) Direkter Nachweis der Viren  
Hierbei werden eventuell vorhandene Viren aus Blut- oder Lymphproben entnommen, auf speziellen Nährböden angezchtet und dann identifiziert.

In der DDR werden alle Blutspender und die Importblukonserven mittels ELISA-Test untersucht. Fällt ein Test positiv aus, wird die Untersuchung mehrmals wiederholt, da bei diesem Verfahren keine 100%ige Sicherheit vorliegt. Zudem wird der sogenannte Immuno-blotting-Test angewendet, der auf Besonderheiten der Virushülle anspricht. Erst dann wird von einer LAV/HTLV-III-Infektion gesprochen. Dieses Ergebnis bedeutet, daß ein Kontakt mit einem Erreger stattgefunden hat. Es bedeutet nicht, daß der Betroffene (LAV/HTLV-III-Positiver) erkrankt ist. Wir alle infizieren uns ständig mit Mikroorganismen, gegen die unser Immunsystem Antikörper bildet, die sich ebenfalls nachweisen lassen, ohne daß die Infektion unsere Gesundheit beeinträchtigen muß. Das gleiche gilt auch für eine Infektion mit einem LAV/HTLV-III-Virus.

### Krankheitsverlauf

Nur ein Teil der LAV/HTLV-III-Positiven erkrankt am Vollbild AIDS. Der Anteil der Betroffenen wird nach bisherigem Kenntnisstand mit 5 - 20 % der Virusträger angegeben. Die Inkubationszeit beträgt in diesem Fall durchschnittlich 2 bis 3 Jahre (sie schwankt zwischen 4 Monaten und 6 Jahren).

Die Infektion allein reicht nicht aus, das Vollbild AIDS hervorzurufen. Eine weitere Voraussetzung ist die Existenz eines bereits geschwächten Immunsystems. Inwieweit weitere Faktoren eine Rolle spielen, kann noch nicht gesagt werden. Wir unterscheiden im wesentlichen zwei Verlaufsformen, die milde Manifestationsform und das Vollbild AIDS.

Unklar ist, ob die erste Form wirklich eine eigenständige Verlaufsform (auch als ARC = AIDS related complex bezeichnet) oder lediglich eine Vorstufe zum Vollbild AIDS darstellt.

Symptome der milden Manifestationsform

- Müdigkeit, Nachtschweiß, Fieber, wässriger Durchfall, Husten ohne Auswurf, Atemnot, Appetitlosigkeit, Schwindelgefühl, Bauchschmerzen
- Gewichtsabnahme (bis zu 10 % des Körpergewichts)
- Lymphknotenschwellung über einen längeren Zeitraum

Es ist zu beachten, daß diese Symptome auch auf die Anfangsstadien anderer Krankheiten zutreffen !

Symptome des Vollbilds AIDS

In diesem Fall werden zwei Möglichkeiten unterschieden

#### 1) Die infektiöse Erkrankung

Hier treten sogenannte opportunistische Infektionen auf. Das sind Infektionen, gegen die der Mensch normalerweise immun ist. Dazu zählen

- Befall von Haut und Schleimhäuten z.B. durch Pilze und Bakterien
- durch Parasiten verursachte bestimmte Lungenentzündung (Pneumocystis carinii)

#### 2) Die tumoröse Erkrankung

Das Vollbild schließt das Auftreten verschiedener bösartiger Tumore (Magen-Darm-Trakt, Zunge ...) ein. Am häufigsten tritt jedoch eine aggressive Form des sogenannten Kaposi-Sarkoms (blutgefäßreiche Hautknoten, die im expansiven Stadium innere Organe befallen) auf.

Laut WHO-Bericht vom 30.6.1985 leiden in Europa 65% der am Vollbild AIDS Erkrankten an opportunistischen Infektionen, 20% am Kaposi-Sarkom und 14% der AIDS-Kranken an beidem.

Seit der Beobachtung der ersten AIDS-Fälle in den USA vor fünf

bis sechs Jahren ist ein starker Anstieg der Erkrankungsfälle zu verzeichnen, jedoch ist in den USA die jährliche Zuwachsrage der an AIDS Erkrankten seit 1983 rückläufig. In Europa ist die Rate der jährlichen Neuerkrankungen mit der Situation in den USA vor 1983 zu vergleichen. Einzelheiten darüber gibt Tabelle 1..

AIDS - Fälle					
Land	Juli '84	Dez. '84	März '85	Juni '85	Rate
Frankreich	180	260	307	392	7,0
BRD	79	135	162	220	3,6
GB	54	108	140	176	3,1
Belgien	0	65	81	99	10,0
Niederlande	21	42	52	66	4,6
Dänemark	28	34	41	48	9,4
Westeuropa	421	762	940	1226	

Tab.1. AIDS-Fälle in Westeuropa (Quelle WHO-Bericht)

Die Rate bezieht sich auf AIDS-Fälle pro 1 Million Einwohner. Am Stichtag (30.6.1985) waren bereits 626 der insgesamt Erkrankten verstorben. Am gleichen Tag wurden aus den USA 12 067 AIDS-Kranke gemeldet (davon 6 790 verstorben).

Bis zum 19.9.1986 wurden der WHO 31 646 AIDS-Fälle aus 74 Ländern gemeldet, darunter auch aus der CSSR, Polen und Kuba. In der DDR (Stand November 1985) liegt noch keine AIDS-Erkrankung vor, jedoch sind mehrere Personen mit LAV/HTLV-III-Viren infiziert. Da nicht jedes Land (insbesondere in Afrika) über ausreichende Diagnosemöglichkeiten verfügt, wird die tatsächliche Anzahl von Personen, die gegenwärtig an AIDS erkrankt sind, auf etwa 100 000 geschätzt.

#### Berichtigung zu Heft 5/86

Wie uns Steffen Ullrich, der Autor des BASIC-Programms auf S.39 in Heft 5/86, mitgeteilt hat, sind bei der Veröffentlichung einige Fehler unterlaufen, für die die Redaktion um Entschuldigung bittet. Nachfolgend findet Ihr die richtigen Programmzeilen.

```

24 GOSUB 2: Y(I,J)=-XJ*SA+YJ*SB+AZ (Z-ZI):X(I,J)=XJ*CA+YJ*CB
100 WINDOW 0,31,0,39:COLOR 2,0:CLS:WINDOW 1,30,1,38:IF PEEK(0)>0
    THEN 105
103 PRINT "EINGABE MIT<ENTER><BRK> ABSCHLIESSEN":POKE 0,255
106 MI=MN-YK:MA=MX-YK:POKE 0,0:INK 2:F1=5:F2=2

```

# BASIC-EXTRA

Daß dieses Heft keinen Beitrag in der Reihe "Programmieren leichtverständlich" enthält hat seinen Grund. Mit den bisherigen Beiträgen wurden die Grundlagen der Programmiersprache BASIC dargeboten, in Zukunft soll es um konkrete Anwendungen gehen. Da es davon weitaus mehr gibt als wir hier vorstellen können, möchten wir gern wissen was euch insbesondere interessiert. Hier eine kleine Auswahl von Programmen, die unsere BASIC-Autoren im Rahmen der Arbeitsgemeinschaft "Mikrorechner in der Lehre" erstellt haben:

SPLINTER	- Spline-Interpolation
HUYGENS	- Huygenssches Prinzip, Grafik
BEUGUNG 2	- Beugung am Doppelspalt, Grafik
LINSE	- Beliebige Abbildung mit einer dünnen Linse, Grafik
WLG	- Wärmeleitung längs eines Metallstabes, Grafik
BALLISTIK 1	- Schräger Wurf mit Luftreibung
ELEKTRONIK	- Lehrprogramm: Einführung in die Digitaltechnik
ZEICHEN	- Zeichengenerator 8x8, bel. Zeichen auf bel. Tasten
MASCHINE	- Erstellen u. Testen von Maschinenprogr. in BASIC
JAHR	- Jahrhundertkalender
DREI	- Dreikörperproblem (Swing-by am Jupiter)
PERIODE	- Bestimmung der Periode veränderlicher Sterne

Das Echo unter unseren Lesern auf die BASIC-Reihe ist so groß, daß sämtliche Exemplare bis auf Heft 5/86 bereits vergriffen sind. Wegen der großen Nachfrage planen wir, diese Artikel zusammen mit weiteren Programmen und Programmierhinweisen in Form eines BASIC-EXTRA-Heftes zu veröffentlichen. Da die Arbeit mit Mikrorechnern ständig mehr Interessenten findet, ist es für uns schwierig, die Auflagenhöhe abzuschätzen. Wer sich für dieses EXTRA-Heft interessiert, möchte sich deshalb schriftlich an die Redaktion des "impuls 68" wenden. Natürlich ist es günstig, wenn Schulen und Arbeitsgemeinschaften Sammelbestellungen auslösen. Der Preis des BASIC-EXTRA-Heftes wird ca. 1,- M betragen. Natürlich sind wir auch weiterhin sehr an Programmen von euch interessiert ! Also, schreibt an:

"impuls 68" , Max-Wien-Platz 1, Jena, 6900



68

# Impuls

Schülerzeitschrift für

PHYSIK · CHEMIE · BIOLOGIE

2/87 INDEX 322004 ISSN 0232-9220 PREIS 60 Pf. 21. Jg.

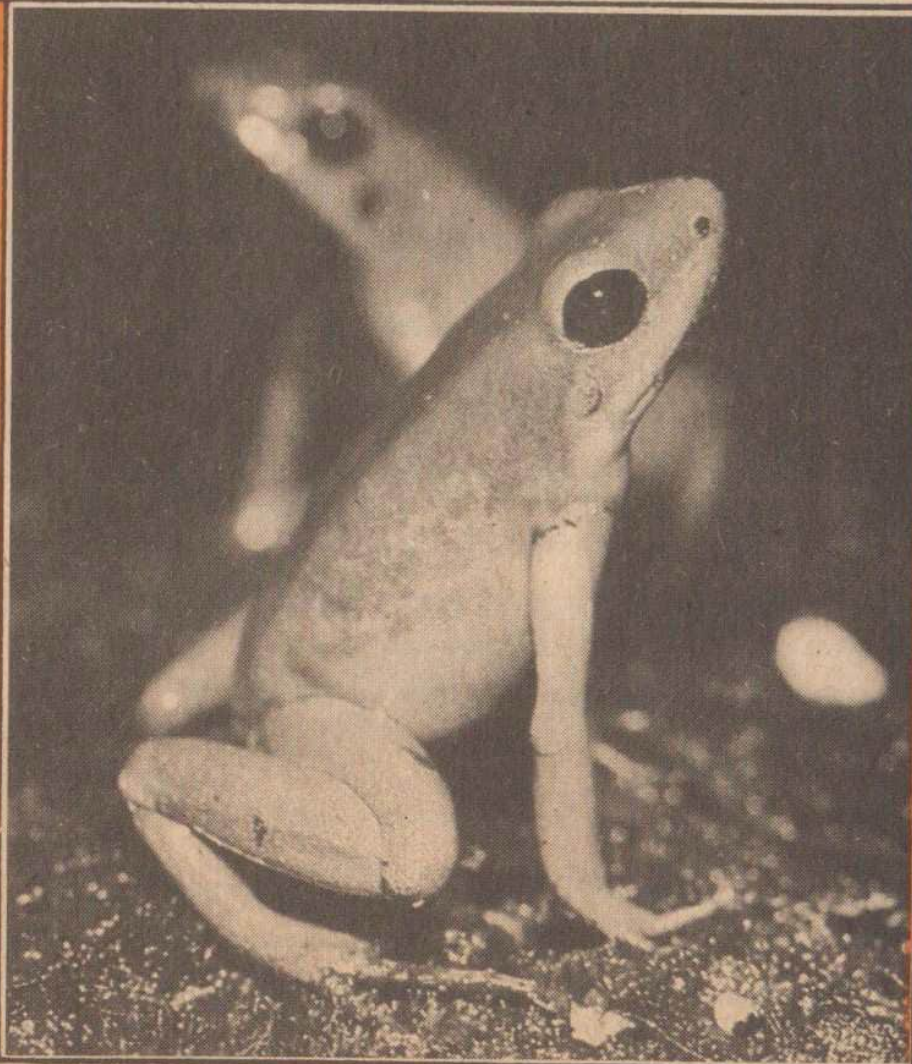
AIDS  
(Teil 2)

★

Das wellen-  
mechani-  
sche Atom-  
modell  
(Teil 3)

★

Büchermarkt



Molekül-  
wolken und  
die Entste-  
hung von  
Sternen

★

Pro-  
grammieren  
leichtver-  
ständlich  
(Teil 7)

**Die Lurche – giftstarrende Wesen?**

von Dr. D. Martinetz

Foto: Wifo



Dr. Dieter Martinetz	Die Lurche – giftstarrende Wesen?	BIO	3
Dr. Thomas Henning Dr. Bringfried Stecklum	Molekülwolken und die Entstehung von Sternen (Teil 1)	ASTRO	11
Alexander Niehardt Karsten König	AIDS (Teil 2)	BIO	22
Siegfried Oertel	Das wellenmechanische Atommodell (Teil 3)	CHE	29
Dr. H.-J. Löhr	Programmieren leichtverständlich (Teil 7)	PHY	35
	Büchermarkt		43

## 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: Dr. Roland Colditz, Sylvia Kaschke, Antje Katzer, Petra Richter, Peter Kroll,

Alexander Niehardt, Ralph Huonker, Rainer Strobel

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

Redaktionsschluß: 29. 1. 1987

Titelbild: Baumsteigerfrosch (*Phyllobates aurotaenia*)

Dr. Dieter Martinetz  
Forschungsstelle für  
Chemische Toxikologie  
an der AdW der DDR  
Leipzig

## Die Lurche – giftstarrende Wesen?

bearbeitet: Karsten König, Sektion Physik, FSU

Unter den Giften der Tiere sind die der Lurche von besonderem Interesse, denn ihre Giftpalette ist von bemerkenswerter Vielfalt; Herz-, Muskel-, Nervengifte kommen ebenso vor wie blutdrucksenkende und blutdrucksteigernde Stoffe; selbst Lokalanästhetika und Halluzinogene sind in den "Giftcocktails" der Lurche enthalten. Entsprechend reichhaltig ist auch die Zahl der chemischen Strukturen; biogene Amine kommen ebenso vor wie Peptide, Steroide und Alkaloide. Teilweise sind es Verbindungen, die an keiner anderen Stelle der Natur gefunden werden (vgl. auch Tabelle 1). Die Gifte der Froschlurche (Anura) und Schwanzlurche (Urodela) werden von über den ganzen Körper verteilten Hautdrüsen produziert und dienen in der Hauptsache dem Schutz vor Mikroorganismen, deren Wachstum sie noch in Konzentrationen von  $10^{-3}$  bis  $10^{-5}$  mol/l hemmen. Entgiftete Tiere sterben deshalb innerhalb weniger Tage an Verpilzung oder anderen Hautinfektionen. Wenig bekannt ist über die dritte Ordnung, die wurmartigen Blindwühlen (Gymnophiona).

### Historisches

Im Altertum gehörten die Lurche zu den sagenumwobenen Tieren. Nikander aus Kolophon (gest. um 140 v.u.Z.) warnte in seinem Werk "Theriaca" (Vers 805 bis 836) vor dem angeblich hinterlistigen und stets gefährlichen Biß des Salamanders, der unverbrannt durch das Feuer laufen könne, ohne daß auch nur die Spitzen seiner Gliedmaßen beschädigt würden. (daher auch die Bezeichnung Feuersalamander). In seinen Alexipharmaka (Vers 537 bis 566) beschreibt er die Wirkung seines Giftes wie folgt: es "schwillt sogleich der Zungenrund an; ein Frostgefühl lähmt

die Kranken und heftiges Zittern erschlaft in lästiger Weise ihre Gliedmaßen, so daß sie wie kleine Kinder umhertaumeln und auf allen Vieren kriechen... Die Oberfläche des Körpers überziehen dicht nebeneinander stehende, tief dunkle Beulen, welche bei der weiteren Ausbreitung des Leidens eine Flüssigkeit absondern."

Gaius Plinius Secundus (23 - 79) hat - wie desöfteren - diese Angaben dichterisch ausgeschmückt, indem er den Salamander zu einem äußerst gefährlichen Gifttier machte, das ganze Völker töten und sämtliche Früchte eines Baumes vergiften könne.

In der altpersischen Mythologie galt der Salamander als Tier, welches Feuer zum Erlöschen bringen kann.

Auch über die Kröten berichtet Nikander in den Alexipharmaka (Vers 567 bis 593): "Wenn jemand von der Sommerkröte oder von der stummen grünen Kröte einen Trank bekommt, so schwellen die Gliedmaßen an, die Atmung ist andauernd beschleunigt und dem Mund entströmt ein übler Geruch." Aber noch im Mittelalter waren falsche Vorstellungen über die Giftausbringung durch Kröten weit verbreitet. Ambroise Paré (1510-1590), der Verfasser eines vielbändigen Werkes über tierische Gifte glaubte wie viele an den giftigen Biß dieser Tiere.

Heute wissen wir, daß es sich bei den Giften der Lurche um äußerst wirksame Stoffe handelt (siehe auch Tab. 1), wengleich Vergiftungen in unseren Breiten nicht auftreten, da der Mensch kaum mit diesen Stoffen in Kontakt kommt. Gefahren können allerdings auf Terrarienfremde lauern, wenn sie sich beispielsweise mit der Haltung der farbenfreudigen, aber hochgiftigen Farb- oder Baumsteigerfrösche befassen und diese ohne Gummihandschuhe berühren (besonders bei Hautdefekten und offenen Wunden!). In tropischen Gebieten ist die Vergiftungsgefahr hingegen bedeutend größer.

So wird aus Südamerika hin und wieder über Vergiftungen durch den Laich der bis zu 25 cm großen Agakröte (*Bufo marinus*) berichtet, die gelegentlich auch gezielt in Zuckerrohrplantagen zur Schädlingsbekämpfung ausgesetzt wird und bei "Belästigung" aus ihren Ohrdrüsen Gift gezielt bis zu 30 cm weit verspritzen kann. Eine 300g schwere Kröte ergibt rund 600 mg Trockengift; 50 mg davon entfallen auf das hochgiftige Bufotoxin (vgl. weiter unten). Ihre Eier können mit Froscheiern verwechselt wer-

den, die in einigen Gegenden als "Kaviarersatz" konsumiert werden.

Tabelle 1 Ausgewählte Lurchengifte

Gift	chemische Zugehörigkeit	Wirkung	LD <sub>50</sub> Maus g/kg	Vorkommen
Batrachotoxin	Steroid-alkaloid	Cardiotoxin Neurotoxin	2	Phyllobates aurotaenia u.a.
Bombesin	Peptid	Cardiotoxin, blutdruck-, blutzucker- senkend		Bombina sp.
Bradykinin	Peptid	blutdruck- senkend		Rana temporaria u.a.
Bufotoxin	Steroid-Ester mit ungesätt. Lactonring	Cardiotoxin Lokalanästhetikum	400	Bufo u.a.
Caerulin	Peptid	blutdruck- senkend		Hyla caerulea
Candicin	biogenes Amin	Cholinomimetikum	10000	Leptodactylus sp.

Sehr frühzeitig erkannte man aber auch eine andere Seite verschiedener dieser Gifte. So wird in Ostasien seit Jahrtausenden Ch'an Su (oder Sense), eine aus getrocknetem Hautdrüsensekret und zerriebenen Krötenhäuten bereitete Medizin gegen Herzkrankheiten angewandt; auch heute noch sind in den Apotheken Ost- und Südostasiens getrocknete Krötenhäute gegen Herzwassersucht und zur Behandlung des Altersherzens erhältlich. In Kombination

mit Kreislaufaktiven Pflanzenstoffen nutzt sie die Volksmedizin gegen Herzinsuffizienz; daneben wurden Erdkrötensekrete bei Epilepsie und entzündlichen Hautinfektionen erfolgreich eingesetzt. Auch im Europa des 17. und 18. Jh., als die aus dem Fingerhut (*digitalis*) gewonnenen Herzmedikamente (*Digitalis glykoside*) noch unbekannt waren, wurden Krötengifte als "bufones exsiccati" in der Herztherapie angewandt. Heute werden hier diese Stoffe nur noch von der Homöopathie als "Bufo" in Form von Tabletten und Ampullen z.B. gegen epileptische Zustände, Sexualneurosen und Hauteiterungen genutzt, da z.B. *Digitalisglykoside* wesentlich einfacher und in größeren Mengen gewonnen werden können. Bereits Mitte des vergangenen Jahrhunderts hatten Forscher die enge Verwandtschaft der Krötengifte mit pflanzlichen herzaktiven Glycosiden vermutet. So bemerkte Fornara Vulpian 1854, daß die Inhaltsstoffe des Roten Fingerhutes (*Digitalis purpurea*) auf Kröten nicht wirken; ähnliches fand 1871 Domeniko Fornara für den von den Eingeborenen Javas als Pfeilgift benutzten eingedickten Milchsafte des Upas-Baumes.

Aber selbst derartig hochgiftige Hautsekrete, wie sie die Lurche absondern, schrecken nicht alle Feinde ab. So verstehen es die amerikanischen Waschbären ausgezeichnet, die bis zu 18 cm große Coloradokröte (*Bufo alvarius*) an ihren Laichplätzen zu fangen, auf den Rücken zu legen und den Bauch aufzuschlitzen, um an die geschätzten und ungiftigen Innereien zu gelangen. Ihr Sekret, das u.a. das O-Methyl-bufotenin, eines der stärksten derzeit bekannten Halluzinogene enthält, vermag ohne weiteres, einen großen Hund zu töten.

## Die Gifte der Froschlurche

Die wohl wichtigsten und bekanntesten Gifte dieser Ordnung produzieren die Vertreter der Echten Kröten (*Bufo*) und die verschiedenen Arten der Baumsteiger- oder Farbfrösche (*Dendrobatidae*). Die Erdkröte (*Bufo bufo*; früher auch Gemeine Kröte *B. vulgaris*) ist die größte der europäischen Kröten; eng mit ihr verwandt sind die Kreuzkröte (*B. calamitata*), die

Wechselkröte (*B. viridis*), die Knoblauchkröte (*Pelobatus fuscus*) und die Geburtshelferkröte (*Alytes obstetricanus*). Inhaltsstoffe des permanent in kleinen Mengen abgegebenen milchigen Sekretes sind biogene Amine (z.B. Bufotenin enthalten).

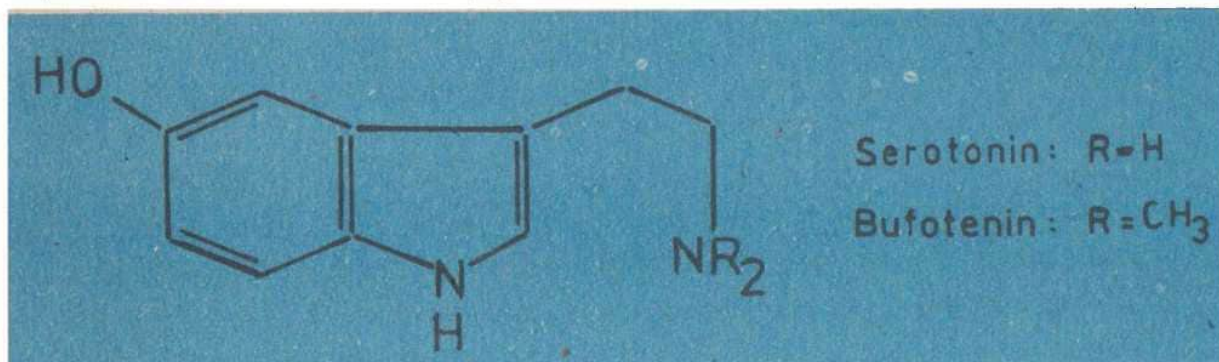


Abb. 1 Krötengifte

Bufotenin ist auch im Gelben Knollenblätterpilz enthalten; oral aufgenommen führt es zu Halluzinationen.

Bufotenin-haltige Drogen aus bestimmten Baumsamen werden schon seit Jahrhunderten von südamerikanischen Indianern als Rauschmittel konsumiert. Bufotenidin, das Methylbetain (inneres Ammoniumsalz) des Bufotenins besitzt eine blutdrucksteigernde Wirkung.

Besonders charakteristisch für die Krötengifte sind jedoch die Bufogenine, C<sub>24</sub>-Steroide mit einem sechsgliedrigen ungesättigten Lactonring als Substituent. Dazu gehört im Erdkrötensekret z.B. das Bufotalidin, das identisch ist mit dem Nichtzuckeranteil des Herzglycosides der Christrose. In diesem Zusammenhang ist es recht interessant zu wissen, daß man früher annahm, daß die Kröten ihre Giftstoffe nicht selbst produzieren, sondern aus eben dieser Pflanze aufnehmen würden.

Heute sind bereits mindestens 15 verschiedene Bufogenine und 8 Bufotoxine aus verschiedenen Krötenarten in ihrer Struktur aufgeklärt.

Hauptsinn der Giftsekrete ist wiederum der Schutz vor Mikroorganismen; da aber auch das Blut geringe Konzentrationen enthält, nimmt man an, daß sie für die Kröten auch eine Art Hormoncharakter haben.

Die Krötengifte sind im Tierexperiment vielfach getestet worden;

Bufoenine und -toxine erzeugen in hohen Dosen Erbrechen, Störungen im Magen-Darm-Bereich, Blutdrucksenkung und Erregung der glatten Muskulatur. Die lokalanästhetische Wirkung beträgt etwa das Fünffache der Wirkung des Cocains. Durch kleinere Dosen wird die Kontraktionskraft besonders des kranken Herzens beeinflusst, der Spannungszustand gesteigert und die Herzschlagfrequenz vermindert, was der Wirkung der Digitalisgifte sehr ähnelt. Die erwähnte halluzinogene Wirkung soll der des bekannten Mescalins aus dem mexicanischen Peyotlkaktus vergleichbar sein.

Als einer der ersten Europäer dürfte wohl der spanische Arzt Posada Arange auf die hohe Giftigkeit der südamerikanischen Baumsteigerfrösche aufmerksam geworden sein, als er 1869 auf einer Columbianreise auch die Choco-Indianer besuchte. Diese fürchten deren als Pfeilgift verwendetes Sekret so sehr, daß sie die Frösche niemals mit bloßer Hand berühren. Zu ihrem Fang ahmen sie die Froschrufe nach, ergreifen die angelockten Tiere vorsichtig mit Blättern und spießen sie auf Zweige, um sie über offenem Feuer zur Abgabe ihres Sekrets zu reizen. Das Gift eines einzigen "Kokoi" genannten (1 bis 2 g schweren) Frosches der Art *Phyllobates aurotaenia* enthält etwa 50 µg Batrachotoxin, das ausreichen würde, um intravenös appliziert, 2000 bis 4000 Mäuse zu töten. Ein Frosch reicht aus, um 50 Blasrohrpfeile in hochwirksame Geschosse zu verwandeln, die das getroffene Tier nahezu augenblicklich lähmen und innerhalb weniger Minuten töten. Obwohl es oral 60 bis 100 mal weniger wirksam ist, schneiden die Indianer den Bereich um die Einschußstelle sofort heraus.

Erst 1962 gelang es einer Expedition, eine ausreichende Menge dieses Sekretes aus dem nordcolumbianischen Urwald mitzubringen. Durch den Arbeitskreis von Bernhard Witkop wurden vier äußerst toxische Steroidalkaloide (mit gleichem Grundgerüst, aber unterschiedlichen Substituenten) isoliert.

Als giftigster Vertreter dieser Frösche gilt heute *Phyllobates terribilis*, der u.a. Batrachotoxin in sehr hohen Konzentrationen produziert.

Das Batrachotoxin ist ein Muskel- und Atemlähmung bewirkendes Nervengift, das in Nerven-Muskel-Membranen die Natriumkanäle irreversibel öffnet, was zur Potentialumkehr und Unerregbarkeit



der Zelle führt. Die rasche tödliche Wirkung beruht auf einer Depolarisation des Herzmuskels mit der Folge von Rhythmusstörungen und Herzstillstand.

Erst durch die chemische Identifizierung der verschiedenen Gifte wurde oftmals eine genaue Artenzuordnung möglich. So hat man früher den in den Bergwäldern der Anden heimischen *Dendrobates lehmanni* als *D. histrionicus* angesehen, der sich durch eine große Vielfalt an Farben und Zeichnungsvariationen - aber andere Gifte - auszeichnet. Erst die Ermittlung von 8 Toxinen ermöglichte die Festlegung einer eigenen Art.

Die Hauttoxine der Farbfrosche schrecken durch schlechten Geschmack auch die Fraßfeinde ab; Biologen haben beobachtet, daß diese Tiere von froschfressenden Schlangen und Säugern rasch wieder ausgespuckt werden.

## Die Gifte der Schwanzlurche

Aus der Familie Salamandridae sind die Gattungen der echten Molche (*Salamandra*) und der Wassermolche (*Triturus*) von besonderem Interesse. Eine chemische Untersuchung des Hautdrüsensekretes des Feuersalamanders unternahm 1866 als erster S. Zalesky, der eine organische Base isolierte und als *Samandarian* bezeichnete.

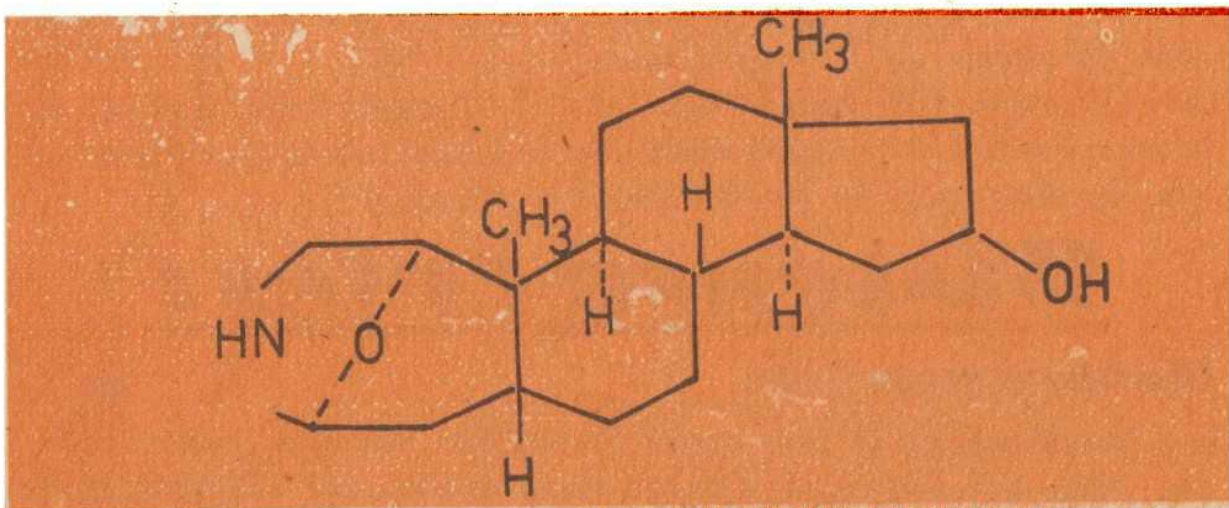


Abb. 2 Salamandergifte

Anfang der 60er Jahre wurde durch Gerhard Habermehl Konstitu-

tion und Konfiguration des Samandaridins geklärt. Für beide ist ein Oxazolidinring in einer steroidähnlichen Grundstruktur charakteristisch. Beim Samandarin haben wir es mit einem stark wirkenden Kampfgift zu tun, das auf das Zentralnervensystem einwirkt und daneben auch eine deutliche blutdrucksteigernde und lokalanästhetische Wirkung aufweist. Der Tod tritt durch Atemlähmung ein. Immerhin gibt ein Feuersalamander von 30 g Gewicht ca. 400 mg Trockengift, 20 mg davon entfallen auf das Samandarin. Bemerkenswert ist, daß der Feuersalamander im Gegensatz zu den anderen Lurchen gegen sein eigenes Gift nicht immun ist, so daß er sich bei Verletzungen selbst tödlich vergiftet.

Aus dem Kammolch (*Triturus cristatus*), dem Bergmolch (*T. alpestris*) und dem Mamormolch (*T. mamoratus*) wurden Sekrete mit ausgeprägter hämolytischer Aktivität isoliert.

Im Jahre 1934 entdeckte ein amerikanischer Embryologe im kalifornischen Molch *Taricha torosa* den Giftstoff Tarichatoxin, der 1962 von H.S. Mosher an der Stanford University kristallin erhalten wurde. Aus 100 kg Lurcheier erhielten die Forscher 330 mg des Giftstoffes, der bald darauf vom gleichen Laboratorium als identisch mit dem Tetrodotoxin der Kugelfische (*Tetraodontidae*), einem der toxischsten Naturstoffe, erkannt wurde. Mittlerweile wurde dieses kompliziert gebaute Toxin auch in der Haut von Fischen der Familie Gobiidae, in der Speicheldrüse australischer Octopoden, in den Verdauungsdrüsen bestimmter mariner Muscheln und bei einigen Vertretern der Stummelfußfrösche (*Atelopus* sp.) nachgewiesen.

Der LD<sub>50</sub>-Wert für Mäuse liegt bei 8 - 10 µg/kg; das Gift wirkt selektiv auf die Zellmembranen ein und verhindert den Einstrom von Natriumionen. Es tötet durch Atemlähmung.

## Wissenswertes:

### Glasfasern gegen Diebe

Mit Glasfaserkabeln soll jetzt Dieben das Handwerk gelegt werden. Eine österreichische Firma entwickelte eine Diebstahlsicherung für Kunstwerke wie Bilder und Skulpturen, bei der ein Glasfaserkabel um das Objekt gelegt und mit einer Alarmanlage ver-

Fortsetzung S.47

Dr. Thomas Henning  
Dr. Bringfried Stecklum  
FSU Jena  
Sektion Physik

Molekülwolken und die  
Entstehung von Sternen  
(Teil 1): Moleküle im  
Milchstraßensystem

ASTRO

Mit der Entdeckung der galaktischen Molekülwolken vor etwa 15 Jahren wurde eine neue Etappe in der Erforschung des Milchstraßensystems eingeleitet. Darüber hinaus ergaben sich aus der Untersuchung der Molekülwolken völlig neue Hinweise zur Lösung der Frage wie Sterne entstehen. Mit einer Reihe von Beiträgen wollen wir die enormen Fortschritte auf diesem Gebiet astrophysikalischer Forschung verdeutlichen. Der vorliegende erste Teil beschäftigt sich mit der Beobachtung und Charakterisierung von Molekülwolken.

### Moleküle im interstellaren Raum

Die Existenz interstellarer Moleküle ist seit 1940/41 bekannt, als eine Reihe von Absorptionslinien, die T. Dunham 1937 im Spektrum einiger Sterne gefunden hatte, von A. McKellar, A.E. Douglas und G. Herzberg durch Elektronenübergänge in den Radikalen CH (Methylin),  $\text{CH}^+$  und CN (Cyan) erklärt werden konnten.

Obwohl damit die Existenz interstellarer Moleküle nachgewiesen war, betrachtete man lange Zeit diese Verbindungen als exotische Beimischungen zur interstellaren Materie. Theoretische Untersuchungen ließen zwar das Vorhandensein weiterer einfacher (zweiatomiger) Moleküle vermuten, die Anwesenheit komplizierterer Moleküle wurde jedoch nicht erwartet, da diese unter dem Einfluß des Ultraviolett (UV)-Anteils des interstellaren Strahlungsfeldes nicht stabil sein sollten.

Die Entwicklung der nichtoptischen Astronomie, insbesondere der Radio-, Infrarot (IR)- und UV-Astronomie, erwies sich als ausschlaggebend für die Untersuchung der interstellaren Moleküle. So konnten S. Weinreb und Mitarbeiter durch die Entdeckung der Radiostrahlung des Hydroxyl-Moleküls OH bei einer Wellenlänge von 18cm bestätigen, daß weitere einfache Moleküle tatsächlich existieren.

Ein wesentlicher Durchbruch gelang zu Beginn der siebziger Jahre, als die Entwicklung der Empfängertechn-

nik ermöglichte, die Beobachtungen in den Millimeterwellenbereich auszudehnen. Nicht von ungefähr waren es R.W. Wilson und A.A. Penzias, die gemeinsam mit K.B. Jefferts im Jahre 1970 erstmals die Radiostrahlung des Kohlenmonoxid-Moleküls CO bei einer Wellenlänge von 2,6 mm nachwiesen. Beide Wissenschaftler haben seit ihrer Entdeckung der 3-K-Hintergrundstrahlung, für die sie bekanntlich den Physik-Nobelpreis erhielten, als führende Mitarbeiter der Bell-Laboratorien maßgeblichen Anteil an der Entwicklung hochempfindlicher Antennensysteme. Die Linienemission des CO-Moleküls bei dieser Wellenlänge wird durch den Rotationsübergang  $J=1 - 0$  verursacht. Über die Entstehung der Spektren einfacher Moleküle gibt der Informationskasten 1 Aufschluß. Seitdem wurden eine Vielzahl von Molekülen anhand ihrer typischen Radioemission im interstellaren Raum nachgewiesen, die z.T. komplizierte organische Verbindungen darstellen. Unter den mehr als 60 heute bekannten Arten befinden sich u.a. Ammoniak  $\text{NH}_3$ , Kohlenstoffmonosulfid CS, Ethanol  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$  und Isopropylcyanid  $(\text{CH}_3)_2\text{CHCN}$ . Man darf erwarten, daß mit zunehmender Nachweissensempfindlichkeit immer seltener Molekülarten identifiziert werden.

Die meisten Moleküle bestehen entsprechend der kosmischen Häufigkeitsverteilung der chemischen Elemente aus Wasserstoff, Kohlenstoff, Sauerstoff, Stickstoff und Silizium. Aber auch weniger häufige Elemente wie Schwefel und vielleicht sogar Natrium sind in einigen Molekülen enthalten. Der Einbau von Magnesium, Eisen, Kalzium und Aluminium ist dagegen geringer, wahrscheinlich weil diese Elemente größtenteils in den interstellaren Staubteilchen gebunden sind. Hinsichtlich ihrer Struktur ist etwa die Hälfte der bisher nachgewiesenen Molekülarten dadurch charakterisiert, daß sie nur aus zwei oder drei Atomen aufgebaut sind. Bei den komplizierteren Molekülen sind kohlenstoffhaltige Verbindungen (organische Moleküle) besonders häufig. Dies darf man jedoch nicht als einen Hinweis auf den oft diskutierten extraterrestrischen Ursprung des irdischen Lebens betrachten, sondern lediglich als Ausdruck der Tatsache, daß Kohlenstoff selbst unter den extremen Bedingungen des interstellaren Raumes vielfältige Verbindungen einzugehen vermag, vorausgesetzt es sind genügend Zeit und Moleküle vorhanden. Die Anwesenheit beobachtbarer Mengen reaktionsfreudiger Verbindungen (ungesättigte Kohlenwasserstoffe, Radikale) weist auf die Langsamkeit interstellarer Reaktionen hin.

## Information 1

Die Entstehung von Spektren zweiatomiger Moleküle wollen wir uns an Molekülen veranschaulichen, bei denen die Schwerpunkte von positiver Ladung (Atomkerne) und negativer Ladung (Elektronenhülle) nicht zusammenfallen. Solche Moleküle, wie es z.B. CO und CS sind, besitzen ein elektrisches Dipolmoment. Als Modell für derartige Moleküle kann eine Hantel dienen, bei der die Massen auf beiden Seiten durch positive und negative Ladungskonzentrationen ersetzt sind und deren Stange elastisch ist.

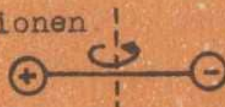


Elektromagnetische Wellen entstehen stets dann, wenn sich eine Ladungsanordnung zeitlich periodisch ändert bzw. wenn periodische Ströme fließen. Dies trifft insbesondere auf eine zeitlich periodische Änderung des Dipolmoments zu. Dafür gibt es zwei Möglichkeiten, die man sich mit Hilfe des Modells illustrieren kann

- die Hantelenden bewegen sich aufeinander zu bzw. voneinander weg (die Ladungskonzentrationen schwingen gegeneinander)



- die Hantel rotiert (jedoch nicht um die Längsachse), d.h. für einen Beobachter kommt es zu einer periodischen Vertauschung der Ladungskonzentrationen



Was passiert, wenn ein anderes Gasmolekül mit einem in Ruhe befindlichen zweiatomigen Molekül zusammenstößt? Schon ein Zusammenstoß mit geringer Energie wird das Molekül in Rotation versetzen; ein Zusammenstoß mit höherer Energie wird zusätzlich zu einer Verformung der "Stange" führen, in deren Folge es zu Schwingungen kommt. Berücksichtigt man die Tatsache, daß entsprechend der Quantentheorie für Rotations- und Schwingungsenergie nur diskrete Werte möglich sind, so folgt daraus, daß nur bestimmte Rotations- und Schwingungsfrequenzen auftreten. Da die Energie der Rotation ungefähr um den Faktor 100 geringer ist als die Schwingungsenergie sind die Frequenzen der Schwingungen etwa 100 mal so groß wie die der Rotation. Übersteigt die Schwingungsenergie ein bestimmtes Maß, so zerfällt (dissoziiert) das Molekül. Der Wert dafür liegt meist weit unterhalb der Ionisationsenergien beider Atome. Daraus läßt sich schlußfolgern, daß die Schwingungsfrequenzen kleiner

sind als die Frequenzen der Strahlung, die durch Übergänge von Elektronen zu tieferliegenden Energieniveaus verursacht wird. Zusammenfassend ist festzustellen, daß im Spektrum zweiatomiger Moleküle folgende Anteile auftreten:

- Elektronenspektren, die durch Änderung der elektronischen Struktur entstehen und die im UV- und visuellen Bereich beobachtet werden.
- Rotationspektren, die durch Strahlungsübergänge zwischen verschiedenen Rotationszuständen verursacht werden. Der Rotationszustand wird durch die Rotationsquantenzahl  $J=1,2,3\dots$  charakterisiert; die zugehörige Rotationsenergie ergibt sich zu

$$E_{\text{rot}} = \frac{\hbar^2}{2\theta} J(J+1)$$

wobei  $\hbar = \frac{h}{2\pi}$  die Plancksche Konstante ( $1,054 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ ) und  $\theta$  das Trägheitsmoment des Moleküls sind. Beim Übergang  $J=1 - 0$  wird demzufolge die Energie  $E_{\text{rot}} = \hbar^2/\theta = hc/\lambda$  in Form elektromagnetischer Strahlung der Wellenlänge  $\lambda$  emittiert. Die durch Rotationsübergänge verursachte Strahlung wird im Radio- und Millimeterwellenbereich beobachtet. Rotationspektren treten nur bei Molekülen auf, die über ein Dipolmoment verfügen.

- Rotationsschwingungsspektren entstehen durch gleichzeitige Änderung von Rotations- und Schwingungszuständen. Die dadurch hervorgerufenen Banden liegen im Infrarotbereich ( $1\dots 20 \mu\text{m}$ ). Rotationsschwingungsspektren sind auch bei Molekülen beobachtbar, die kein Dipolmoment besitzen (z.B.  $\text{H}_2$ ). Es handelt sich dann um Änderungen des Quadrupolmoments (Quadrupolübergänge), die allerdings wegen der kleineren Übergangswahrscheinlichkeit mit geringerer Intensität auftreten.

## Die Analyse der Moleküllinien

Die Durchmusterung des Himmels im Bereich des galaktischen Äquators bei der Wellenlänge von 2,6 mm erbrachte den Nachweis großer Mengen von Kohlenmonoxid. Wodurch wird dieses Gas zur Emission angeregt? Wie im Informationskasten 1 dargestellt ist, sind Stöße ein geeignetes Anregungsmittel. Dabei ist jedoch Voraussetzung, daß die Stoßpartner mit genügend großer Häufigkeit (hohe Teilchendichte) vorhanden sind. Geht man von der kosmischen Häufigkeitsverteilung aus, so ist nur Wasserstoff dermaßen häufig, daß er als Stoßpartner für CO in Frage kommt. Allerdings tauchte sofort

das Problem auf, warum aus den Gebieten der CO-Emission keine starke 21-cm-Strahlung des atomaren Wasserstoffs (verursacht durch das "Umklappen" des Elektronenspins) empfangen wird. Dieser Sachverhalt kann nur erklärt werden, wenn der Wasserstoff in diesen Gebieten in molekularer Form auftritt. Das  $H_2$ -Molekül ist im Radio- und Millimeterwellenbereich nicht nachweisbar, da es im Gegensatz zu CO kein Dipolmoment besitzt. Zur Anregung der CO-Emission sind Anzahldichten des molekularen Wasserstoffs  $n_{H_2} \cdot 10^3 \text{ cm}^{-3}$  erforderlich. Erst bei weitaus größeren Anzahldichten ( $10^4 \dots 10^5 \text{ cm}^{-3}$ ) werden Moleküle wie  $NH_3$  und CS angeregt, die man deshalb vor allem zur Untersuchung besonders dichter Gebiete benutzt. Die auf diese Art und Weise nachgewiesenen riesigen Komplexe molekularen Gases bezeichnet man als Molekülwolken. Interessanterweise fand man auch in Richtung auf sogenannte Dunkelwolken, d.h. Staubsammlungen, die das Licht der dahinterliegenden Sterne abschwächen, größere Mengen molekularen Gases. Die durch ihre CO-Emission entdeckten riesigen Komplexe molekularen Gases bezeichnet man auch als Riesenmolekülwolken.

Welche physikalischen Parameter lassen sich aus der Untersuchung der Moleküllinien ableiten? Zunächst muß erwähnt werden, daß die Beobachtung nicht nur bei der Laborfrequenz der Moleküllinie, sondern auch bei benachbarten Frequenzen erfolgt. Die so erhaltenen Spektren zeigen Maxima, die i.a. gegenüber der Laborfrequenz verschoben sind. Diese Frequenzverschiebung wird durch den Doppler-Effekt verursacht, da sich die Molekülwolken relativ zur Empfangsantenne mit einer Geschwindigkeit  $v$  (Radialgeschwindigkeit) bewegen. Die Frequenzverschiebung kann entsprechend

$\Delta\nu = \nu \cdot v/c$ , wie in der Radioastronomie üblich, durch die Radialgeschwindigkeit ( $\text{kms}^{-1}$ ) ausgedrückt werden. Die Abbildung 1 gibt ein Beispiel für derartige Beobachtungen, wobei die dort auftretende Größe  $T_A$  (Antennentemperatur) als Maß für die empfangene Strahlungsleistung im Informationskasten 2 erklärt wird.

Die im Spektrum bei verschiedenen Geschwindigkeiten auftretenden Maxima der Antennentemperatur sind durch unterschiedliche Molekülwolken verursacht. Die Entfernung dieser Molekülwolken vom galaktischen Zentrum ist aus der gemessenen Radialgeschwindigkeit unter Zuhilfenahme eines Modells der galaktischen Rotation bestimmbar. In Abbildung 2 ist dafür ein Beispiel zu sehen.

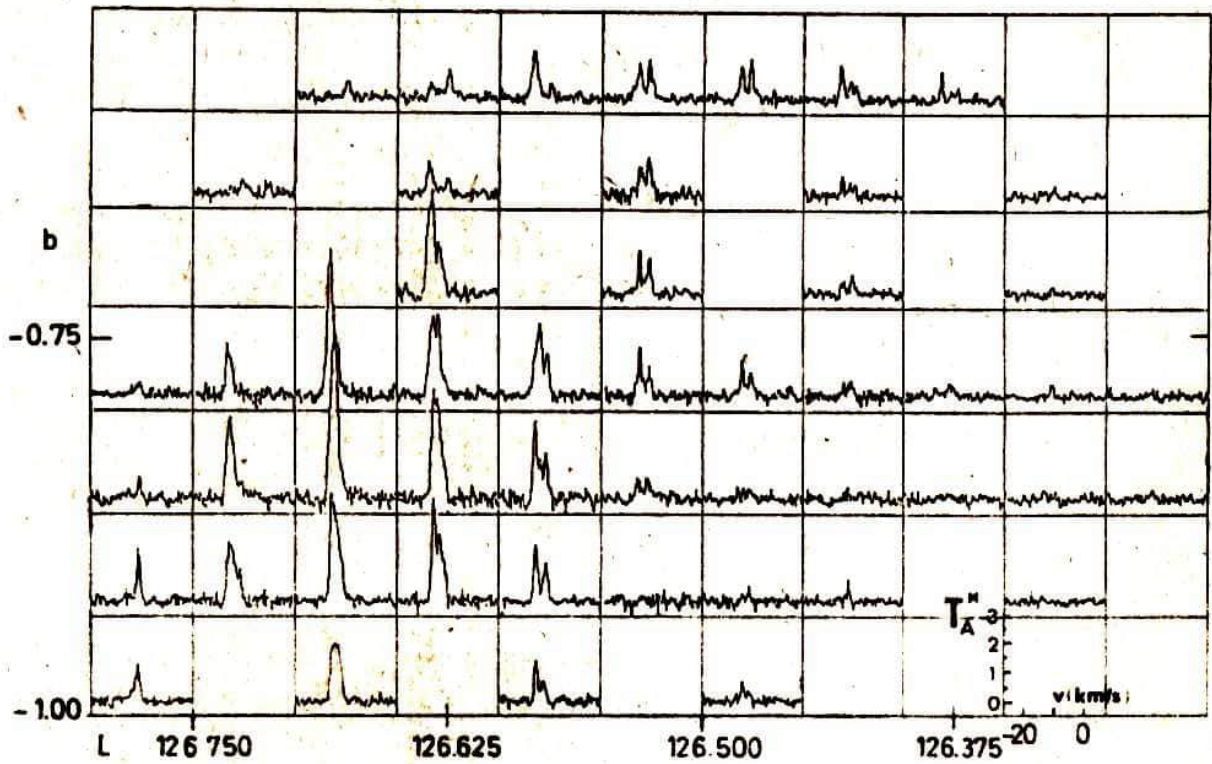
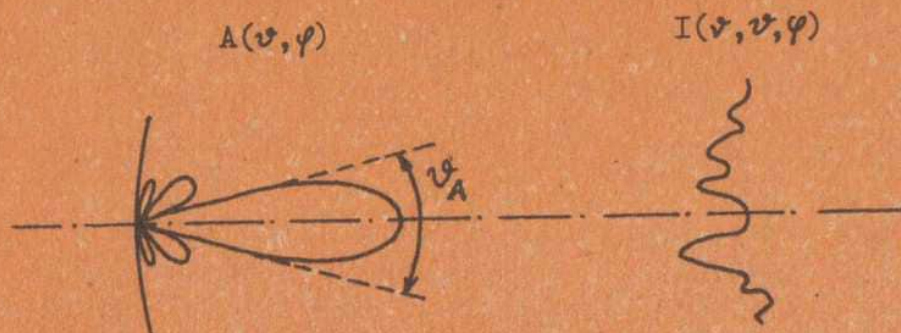


Abb.1. Spektren von  $^{13}\text{CO}$  beobachtet in einem Gebiet mit den galaktischen Koordinaten  $l=126^\circ$ ,  $b=-1^\circ$  (im Orion-Arm). Das für jedes einzelne Quadrat gültige Koordinatensystem ( $v - T_A$ ) ist unten rechts zu sehen. Diese Kartierung wurde durch die Messung einzelner Spektren in Bereichen mit jeweils vier Bogenminuten Winkelabstand gewonnen. Das Vorhandensein einer Molekülwolke mit einer Radialgeschwindigkeit von etwa  $-10\text{km s}^{-1}$  ist durch die Maxima im linken Teil der Abbildung deutlich erkennbar (nach Casoli und Mitarb., 1983).

## Information 2

Neben der Angabe des empfangenen Strahlungsstroms in der in der Radioastronomie üblichen Einheit Jansky ( $1\text{Jy} = 10^{-26}\text{Jm}^{-2}\text{s}^{-1}\text{Hz}^{-1}$ ) erfolgt die Charakterisierung der Radiostrahlung kosmischer Objekte oft mit Hilfe der Antennentemperatur  $T_A$ . Diese Temperaturangabe hat nichts mit der Temperatur des Antennenmaterials oder der Umgebung der Antenne zu tun. Zu ihrer Erläuterung dient die Skizze, in der schematisch die Richtcharakteristik einer Antenne (wirksame Antennenfläche  $A$ ) und die Intensitätsverteilung  $I$  eines willkürlichen Objekts dargestellt sind.





Die von der Antenne empfangene Leistung  $P$  bei der Frequenz  $\nu$  ergibt sich zu  $P_e(\nu) = \frac{1}{2} \int A(\nu, \varphi) I(\nu, \nu, \varphi) \sin \theta d\theta d\varphi$ ,

wobei der Faktor  $1/2$  ausdrückt, daß die Antenne nur für eine Polarisationsrichtung empfindlich ist. Den unter dem Integral stehenden Ausdruck  $\sin \theta d\theta d\varphi$  bezeichnet man auch als Raumwinkelement  $d\Omega$ .

Aus der Untersuchung von Rauschprozessen ist bekannt, daß ein Widerstand  $R$  mit der Temperatur  $T$  (Kelvin) unabhängig von seiner Größe die Rauschleistung  $P_R = k_B T \Delta\nu$  abgibt, wobei  $k_B$  die Boltzmann-Konstante ( $k_B = 1,3804 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$ ) und  $\Delta\nu$  das betrachtete Frequenzintervall sind. Dieser Rauschprozeß wird als Widerstandsrauschen bezeichnet und beruht auf zufälligen Elektronenbewegungen. Vergleicht man die von einem Widerstand der Temperatur  $T$  gelieferte Rauschleistung mit der von der Antenne empfangenen Leistung, so läßt sich die Antennentemperatur  $T_A$  bei der Frequenz  $\nu$  zu

$$T_A(\nu) = \frac{1}{2k_B \Delta\nu} \int A(\nu, \varphi) I(\nu, \nu, \varphi) d\Omega$$

bestimmen. Die Antennentemperatur kennzeichnet also die durch die kosmische Radioquelle an der Antenne hervorgerufene Leistung. Man könnte nun vermuten, daß mit wachsendem Antennendurchmesser die empfangene Leistung und damit auch die Antennentemperatur ansteigt. Dies würde natürlich beim Vergleich von Daten, die mit unterschiedlichen Instrumenten gewonnen wurden, Probleme bereiten. Wie folgende Überlegung zeigt, trifft das jedoch nicht zu. Es ist nämlich zu berücksichtigen, daß der Öffnungswinkel  $\nu_A$  der Richtcharakteristik mit zunehmendem Antennendurchmesser  $D_A$  gemäß der Beziehung  $\nu_A = \lambda/D_A$  abnimmt. Dies führt auf das sogenannte Antennentheorem, das für jeden kohärenten Empfänger gilt:

$$A \Omega \approx \lambda^2$$

Dabei sind  $A = D_A^2 \pi/4$  die Antennenfläche und  $\Omega$  der von der An-

tenne erfaßte Raumwinkel bei der Wellenlänge  $\lambda$ . Wenn wir davon ausgehen, daß unser Objekt den Raumwinkel  $\Omega$  voll ausfüllt, so läßt sich aus dem Antennentheorem schlußfolgern, daß eine Vergrößerung der Antennenfläche zu keiner Vergrößerung des Signals (und damit von  $T_A$ ) führt, da ja der Raumwinkel im gleichen Maße abnimmt. Mit anderen Worten: größere Radioteleskope können im Vergleich zu kleineren bei höherer Auflösung die gleiche Leistung nachweisen.

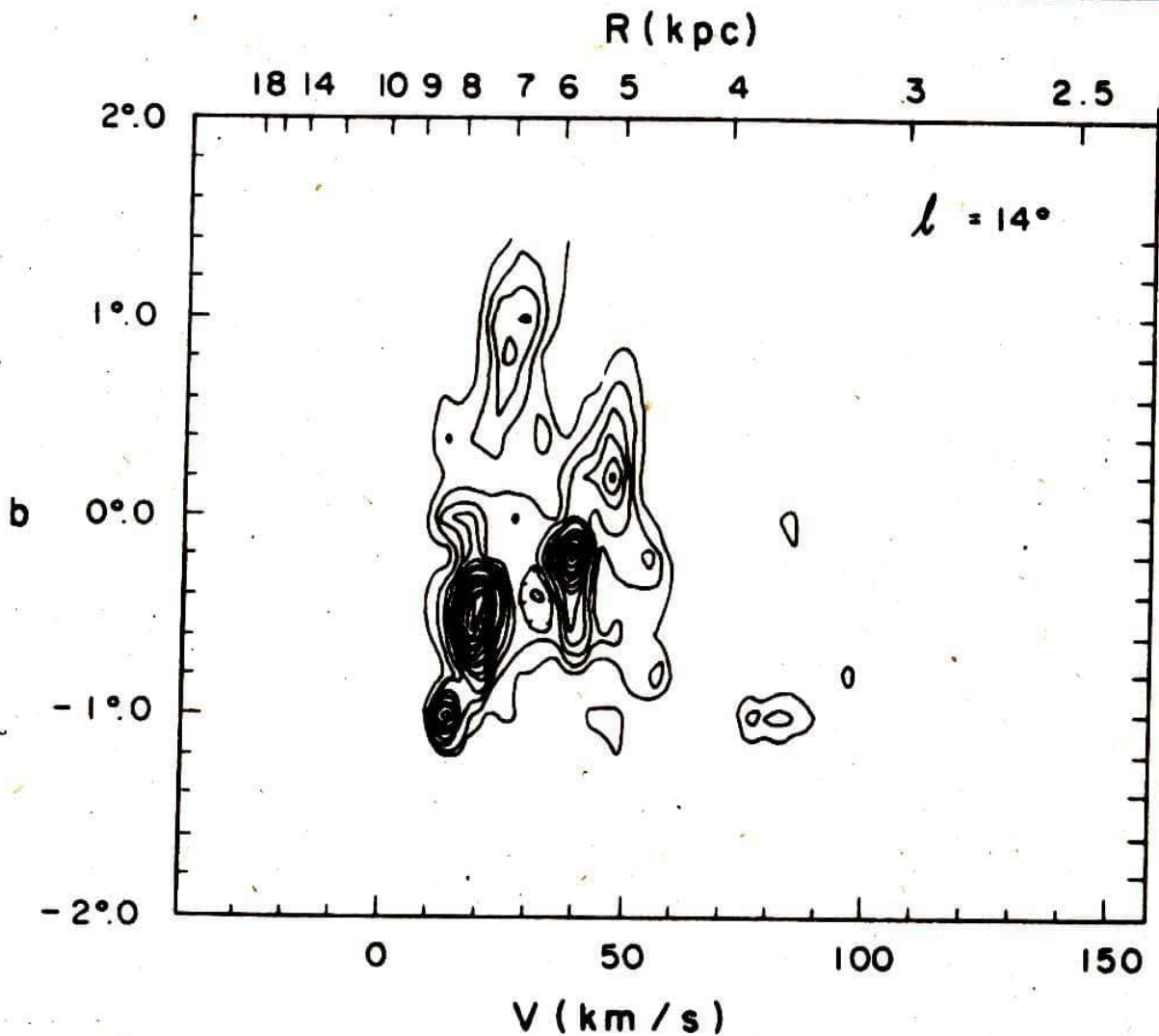


Abb.2. Diagramm der CO-Emission in Abhängigkeit von der Radialgeschwindigkeit und der galaktischen Breite bei einer galaktischen Länge von  $14^\circ$ . Die obere Skala gibt die galaktozentrische Entfernung ( $R_\odot=10\text{kpc}^*$ ) an. Die Differenz zwischen zwei benachbarten Konturlinien beträgt  $\Delta T_A=1\text{K}$ . Drei Molekülkomplexe sind deutlich erkennbar, drei weitere sind schwach angedeutet (nach Sanders und Mitarb., 1985).

\*  $1\text{kpc}=10^3\text{pc}=10^3 \cdot 3,086 \cdot 10^{16}\text{m}$

Angaben über die Temperatur des Gases erhält man aus der Intensität der Moleküllinien. Im Fall des CO-Moleküls ist bei genügend hoher Teilchendichte  $n_{\text{H}_2} \approx 10^3 \text{ cm}^{-3}$  die Anregungstemperatur des Übergangs  $J=1 - 0$  gleich<sup>2</sup> der kinetischen Gastemperatur  $T_{\text{kin}}$ . Man spricht dann von einem thermalisierten Übergang. Die dabei ermittelten Werte für Riesenmolekülwolken liegen bei 5 bis 40 K, in Ausnahmen betragen sie bis zu 100 K.

Zur Ermittlung der Masse einer Molekülwolke benötigt man neben Annahmen über die Geometrie der Wolke, Angaben über Winkeldurchmesser und die Entfernung auch den Wert der Säulendichte. Als Säulendichte bezeichnet man die Anzahl der Moleküle pro Flächeneinheit längs der Sichtlinie (Verbindungsline Beobachter-Molekülwolke). Ein Problem besteht jedoch darin, daß bei den erwähnten Teilchendichten die Intensität der Strahlung des Kohlenmonoxids nicht mehr proportional der Molekülanzahl ist (optisch dicker Fall). Die Lösung dieses Problems wird dadurch erreicht, daß man entweder Beobachtungen verschiedener Übergänge miteinander kombiniert (z.B. CO  $J=1 - 0$  und CO  $J=2 - 1$ ), oder die Strahlung eines weniger häufigen Moleküls mißt. Dafür bietet sich ebenfalls Kohlenmonoxid an, allerdings mit dem Isotop  $^{13}\text{C}$  anstelle des bisher immer betrachteten  $^{12}\text{C}$ . Aufgrund der geringeren Häufigkeit von  $^{13}\text{CO}$  gegenüber  $^{12}\text{CO}$  ist dessen entsprechende Linie meist optisch dünn (Intensität proportional der Molekülanzahl) und erlaubt somit die Bestimmung der Säulendichte  $N_{^{13}\text{CO}}$ . Die Säulendichte des molekularen Wasserstoffs  $N_{\text{H}_2}$  beträgt<sup>CO</sup> etwa das  $10^5$ -fache.

Da die Gastemperatur  $T_{\text{kin}}$  im Sinne der kinetischen Gastheorie ein Maß für die mittlere Geschwindigkeit der Moleküle ist und sich entsprechend dem Doppler-Effekt die Strahlung jedes bewegten Moleküls gegenüber der Laborfrequenz verschiebt, folgt daraus, daß mit wachsender Temperatur die Breite der Spektrallinie zunimmt (thermische oder Doppler-Verbreiterung). Entsprechend den oben erwähnten Temperaturen erwartet man Doppler-Linienbreiten von  $0,3$  bis  $1,5 \text{ km s}^{-1}$ , die tatsächlich in kleinen Molekülwolken und Globulen (kleine, kugelförmige Dunkelwolken) beobachtet werden. Bei Riesenmolekülwolken findet man jedoch Werte, die größer als die Doppler-Linienbreite sind. Daraus läßt sich schlußfolgern, daß neben der thermischen Molekularbewegung in den Molekülwolken großräumige Massenbewegungen auftreten (Strömungen,

Wirbel, Kontraktionsbewegungen...?). Bei den Riesenmolekülwolken übersteigen die beobachteten Linienbreiten oft das Zweifache der Doppler-Linienbreite. Da die Schallgeschwindigkeit im Gas etwa gleich der Hälfte der Doppler-Linienbreite ist, müssen in diesem Fall die Massenbewegungen mit Überschallgeschwindigkeit vor sich gehen.

### Molekülwolken und die Struktur des Milchstraßensystems

Die Kartierung der galaktischen Scheibe durch Beobachtungen der Linien von CO und anderer Moleküle zeigte, daß es innerhalb der Sonnenbahn im Milchstraßensystem etwa 6000 Molekülwolken geben dürfte, die mit einer Gesamtmasse von  $3 \cdot 10^9 M_{\odot}$  ungefähr die Hälfte der Masse des interstellaren Gases ausmachen. Diese Wolken, die hauptsächlich aus molekularem Wasserstoff bestehen, zählen mit Massen bis zu  $10^6 M_{\odot}$  zu den massereichsten Objekten des Milchstraßensystems. Eine typische Riesenmolekülwolke besitzt Abmessungen von 40pc und eine Masse von  $5 \cdot 10^5 M_{\odot}$ . Die radiale Verteilung des molekularen und atomaren Wasserstoffs im Milchstraßensystem zeigt Abbildung 3. Während die Konzentration der Molekülemission in einem Ring mit dem galaktozentrischen Abstand von 5,5kpc heute allgemein akzeptiert ist, wird die Frage, ob alle Molekülwolken in Spiralarmen liegen, gegensätzlich diskutiert. Aufgrund ihrer Himmelsdurchmusterung unterstützt die Forschergruppe des Goddard-Institutes diese Meinung. Wissenschaftler der Universitäten von New York und Massachusetts glauben gemäß ihrer Daten, daß nur die wärmsten Wolken ( $T_{kin} \approx 10K$ ), die mit Riesen-HII-Gebieten (Gebieten ionisierten Wasserstoffs) verbunden sind, ein Spiralarmmuster bilden, während ein beträchtlicher Teil von kühlen Molekülwolken relativ gleichmäßig in der galaktischen Scheibe verteilt ist. Ähnliche Maxima im Verlauf der Verteilung des molekularen Wasserstoffs wurden auch in anderen Galaxien gefunden, die vom Typ unseres Milchstraßensystems sind (Sb-Galaxien). In diesem Zusammenhang ist interessant, daß der IR-Satellit IRAS beim Andromedanebel eine ringförmige Ansammlung von Staub bei etwa 10kpc Entfernung vom Zentrum entdeckte.

Eine mögliche Erklärung für den galaktischen Molekülring ist eine Gasexpansion, die durch einen Strahlungsausbruch infolge stark erhöhter Sternentstehung vor etwa  $10^6$  Jahren im Zentralgebiet des Milchstraßensystems verursacht wurde. Bemerkenswerter-

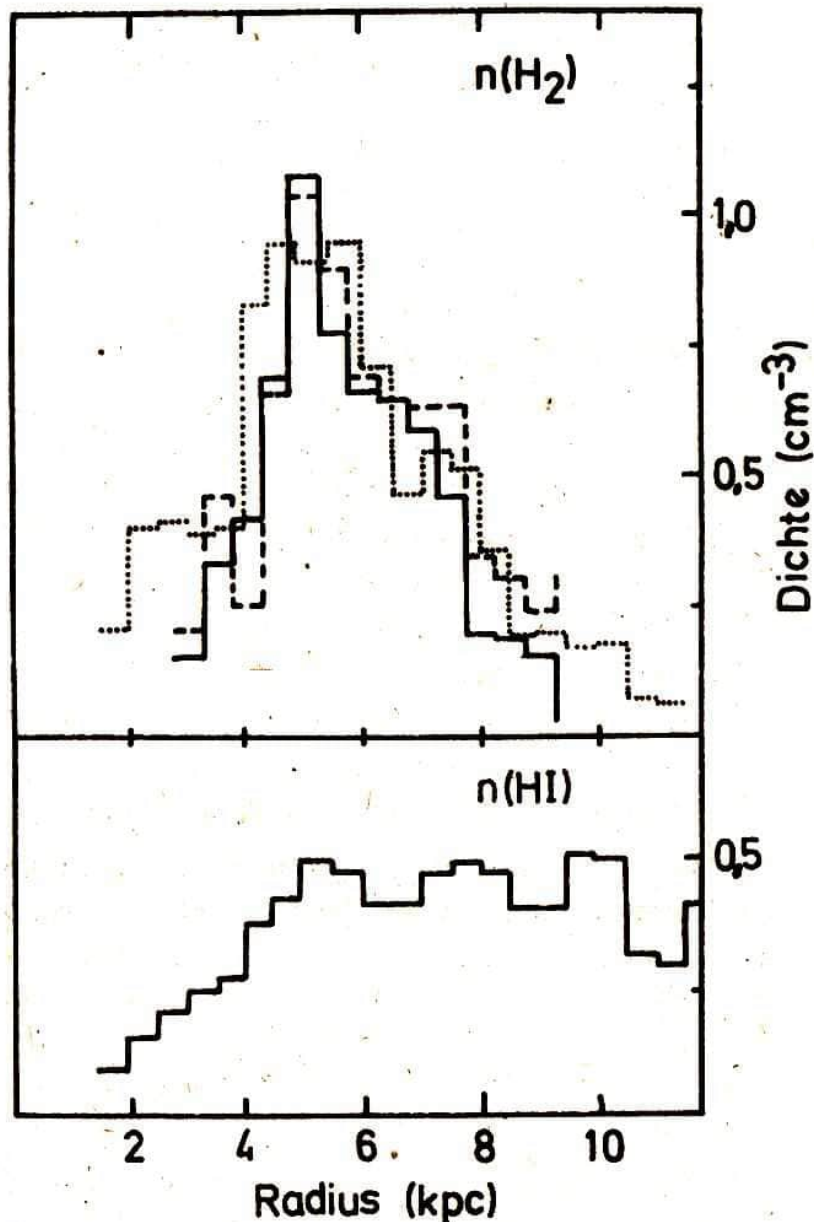


Abb.3. Verteilung des molekularen Wasserstoffs in Abhängigkeit von der galaktozentrischen Entfernung nach Daten verschiedener Autoren (oben) und entsprechende Verteilung des atomaren Wasserstoffs (unten).

weise ist in galaktozentrischen Entfernungen kleiner als 2kpc mit Ausnahme eines relativ kleinen Gebietes im Zentrum kaum molekulares Gas zu finden. Im Zentralgebiet des Milchstraßensystems gibt es innerhalb von 300pc eine deutliche Konzentration, wobei die Gesamtmasse des sich dort befindlichen molekularen Wasserstoffs etwa  $7 \cdot 10^8 M_{\odot}$  betragen dürfte.

## Woher kommt der AIDS-Erreger?

Der verbreitetsten Meinung zufolge ist das HIV (menschliches Immunmangel-Virus) durch natürliche Mutations- und Ausleseprozesse aus einem Virus hervorgegangen, der bei grünen Meerkatzen eine AIDS-ähnliche Erkrankung hervorruft.

Diese in Afrika beheimatete, von den Einheimischen als Spielgenosse gehaltene Affenart soll das Virus durch kleine Kratz- und Bißwundunden auf den Menschen übertragen haben. Da das Fleisch dieser Tiere gelegentlich auch die Speisekarte bereichert, ist eine Übertragung auch auf diesem Wege denkbar.

Dies ist eine mögliche Erklärung für das gehäufte Auftreten von AIDS unter der Bevölkerung zentralafrikanischer Länder. Obwohl diese Theorie bis auf den heutigen Tag nicht bewiesen werden konnte und umfassende diagnostische Untersuchungen aus dieser Region nicht existieren, sehen viele Wissenschaftler Zentralafrika als epidemisches Zentrum an.

Wenig bekannt ist dagegen eine Hypothese, die biologische Laboren des Pentagon für die Entstehung und Verbreitung des HIV verantwortlich macht. Der AIDS-Erreger soll bei Manipulationen mit menschlichen Genen entstanden und dessen Wirkung an Gefängnisinsassen ausprobiert worden sein. Die Verbreitung erfolgte dann durch Freigelassene. Auch diese Theorie konnte bisher nicht bewiesen werden. (Moskauer Hefte für Politik "Neue Zeit" 1986/37)

Da die Viren außerhalb des menschlichen Körpers sehr empfindlich sind und rasch absterben, sind die Möglichkeiten einer HIV-Infektion stark eingeschränkt.

Eine Übertragung ist überwiegend nur mit Blut oder Sperma infizierter oder erkrankter Menschen möglich, wenn diese Substanzen

in die Blutbahn eines anderen Menschen gelangen.

Das kann der Fall sein beim Empfang von Bluttransfusionen, bei Organtransplantationen, bei Behandlung mit Blutbestandteilen und bei Mehrfachbenutzung medizinischer Geräte, die mit Blut in Kontakt kommen können, ohne zwischenzeitliche Sterilisation. Die Theorie einer möglichen Übertragung durch Insektenstiche (Stechmücken) konnte nicht bestätigt werden.

Die Übertragung beim Intimverkehr ist möglich, wenn Sperma durch Mikroverletzungen, die beim Gebrauch bestimmter Sexualpraktiken gehäuft auftreten (Anal- und Oralverkehr), in kapillare Blutgefäße gelangen kann.

Dagegen besteht keine Infektionsgefahr bei Hautkontakt, bsw. durch Händedruck. Auch bei anderen sozialen Kontakten in gesellschaftlichen Einrichtungen, Verkehrsmitteln, Restaurants, am Arbeitsplatz und zu Hause sowie bei der Benutzung öffentlicher Bäder und Bedürfnisanstalten besteht **keine** Infektionsgefahr.

## Risikogruppen

Statistische Erhebungen in den USA und Westeuropa zeigen, daß sich die bisherigen AIDS-Fälle fast ausschließlich auf besonders gefährdete Personenkreise, auch Risikogruppen genannt, beschränken. Mit rund drei Viertel der Fälle am meisten betroffen sind homo- und bisexuelle Männer mit häufigem Partnerwechsel.

Weitere gefährdete Personenkreise sind:

- Fixer (Rauschgiftsüchtige, die sich Drogen spritzen),
- Zentralafrikaner, die sich in den USA und Europa zeitweilig aufhalten,
- Sexualpartner AIDS-Kranker oder -Virussträger,
- Empfänger gehäufter Transfusionen von Blut und Blutprodukten,
- Kinder, die nach einer HIV-Infektion der Mutter geboren wurden.

Für andere Menschen ist die Wahrscheinlichkeit, sich mit dem HIV zu infizieren, äußerst gering.

Da das Virus durch die gebräuchlichen Desinfektionsmittel sicher abgetötet wird, besteht für medizinisches Personal bei Einhaltung aller hygienischer Vorschriften keine Infektionsgefahr.

Auch Blutspender stellen bei einmaliger Verwendung der Kanüle bzw. Sterilisation mehrfachverwendeter Geräte keine Risikogruppe dar.

Schutzmaßnahmen bei der Gewinnung und Übertragung von Spenderblut, Blutprodukten und Spenderorganen schließen in der DDR eine Übertragung auf diesen Wegen seit einiger Zeit aus.

Zudem entfällt unter unseren gesellschaftlichen Bedingungen die Übertragung durch gemeinsames Benutzen unsterilisierter Kanülen bei Drogensüchtigen.

Die Situation in der zentralafrikanischen Region weicht von der bisher geschilderten Situation ab. Die Unterentwicklung des Gesundheitswesens macht eine Übertragung durch Blut und Blutprodukte wahrscheinlicher. Der Anteil Homo- und Bisexueller liegt nicht höher als der Anteil an der Gesamtbevölkerung. Sozial ärmste Schichten und Prostituierte sind dagegen häufig betroffen. Genaue Erhebungen liegen jedoch nach Kenntnis der Autoren nicht vor.

## Schutz vor AIDS

Aus der Kenntnis der wichtigsten Übertragungswege leiten sich die hauptsächlichen Schutzmaßnahmen ab. Hauptweg der Übertragung für unsere Verhältnisse ist der Intimkontakt.

Beste Protektion wäre natürlich der Verzicht auf Sex, aber das ist gewiß keine akzeptable Lösung.

Somit besteht der beste Schutz in einer stabilen Partnerschaft. Auf jeden Fall sollten Seitensprünge und flüchtige Sexualkontakte unterbleiben. Sexualpraktiken mit Verletzungsgefahr sollten vermieden und promiskuitives Verhalten (häufiger Partnerwechsel) aufgegeben werden.

Durch die Verwendung eines Gummischutzes (Kondom) wird eine Virusübertragung ebenfalls verhindert.

Eine Belastung des Immunsystems durch eine ungesunde Lebensweise steigert das Infektionsrisiko. Auf die sich daraus ergebenden Schlußfolgerungen für eine gesunde Lebensweise sind wir bereits im Teil 1 des Artikels eingegangen.

Die Lösung aller mit AIDS im Zusammenhang stehenden Fragen obliegt in der DDR einer AIDS-Beratergruppe des Ministeriums für Gesundheitswesen, die 1983 gebildet wurde und aus geschulten Medizinern besteht. Sie analysiert die wissenschaftlichen und gesundheitspolitischen Trends der AIDS-Entwicklung in der Welt und leitet daraus Empfehlungen für die Verhütung und Bekämpfung dieser Krankheit in der DDR ab.



Dazu zählen die erwähnten Schutzmaßnahmen, um eine Übertragung durch direktem Kontakt mit Blut auszuschließen, die Aufklärung der Bevölkerung durch Artikel, Vorträge und Informationsblätter sowie die Ausbildung von Medizinern und die Bereitstellung von Kapazitäten zur medizinischen und psychologischen Betreuung Infizierter und Erkrankter.

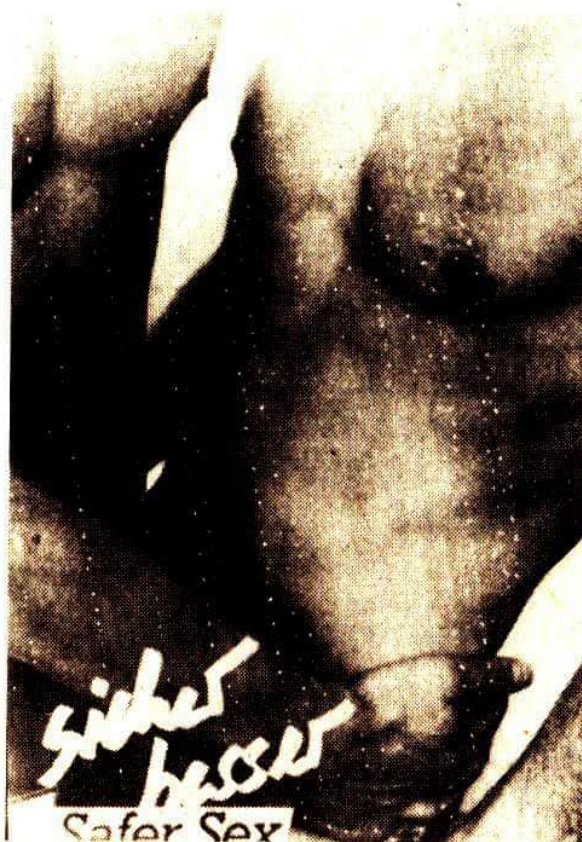
Es wurde eine statistische Meldepflicht für den Infektions- und Krankheitsfall eingeführt (Alter, Geschlecht, Zugehörigkeit zu einer/welcher Risikogruppe).

Um das Ausmaß der Verbreitung von HIV-Infektionen in der für die DDR wichtigsten Risikogruppe abzuschätzen, wurde für homosexuelle Männer in den Konsultationszentren die Möglichkeit geschaffen, anonym Blut hinsichtlich einer HIV-Infektion untersuchen zu lassen (ohne Vorlage des SVK-Ausweises oder anderer Personaldokumente).

Die Konsultationszentren haben auch die Aufgabe, HIV-Positive zu informieren, wie sie selbst eine Weitergabe des Virus wirkungsvoll verhindern können und welche Konsequenzen die Infektion für ihre Gesundheit, ihr Sexualleben und ihre sozialen Kontakte hat.

## Safer Sex

Safer Sex (Sicherer Sex) ist eine sowohl privat als auch gesellschaftlich geführte und organisierte Werbekampagne in Westeuropa und den USA. Sie bedient sich professioneller Mittel (Plakate, Comics, Stickers, Annoncen) und richtet sich vor allem an ein homo- und bisexuelles Publikum. Es wird dazu aufgerufen, Sexualpraktiken mit einem erhöhtem Risiko einer Virusübertragung zu unterlassen und bei flüchtigen Sexualkontakten Kondome zu benutzen.



Repro: Richter

Weiterhin wird versucht, die Moral homo- und bisexueller Menschen so zu entwickeln, daß sie festen und dauerhaften Partnerschaften Vorrang geben und gegen promiskues Verhalten (häufiger Partnerwechsel) Stellung beziehen.

Tatsächlich hat die Safer Sex-Kampagne zu einem Umdenken in dieser Risikogruppe und nicht nur dort geführt.

Bevorzugte Treffpunkte zu anonymen Sex (Parks, Saunen, Toiletten und Hinterhöfe) werden zunehmend gemieden. Hetero- wie homosexuelle Prostituierte klagen über mangelnde "Arbeit".

Selbsthilfegruppen der Schwulen- und Lesbenszene (männliche Homosexuelle bezeichnen sich als schwul, um dem Gebrauch als Schimpfwort entgegenzuwirken) bemühen sich um die Förderung fester Partnerschaften.

Dadurch hat sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit von AIDS bereits verringert. Allerdings muß eingeschätzt werden, daß Safer Sex als Moralheber unter Androhung des Todes infolge AIDS nur vorübergehend (bis zu einer befriedigenden Therapiemöglichkeit) eine große Verbreitung finden wird, da gesellschaftliche Wurzeln promiskuen Verhaltens Homo- und Bisexueller und der Prostitution nicht angetastet werden.

## **Therapieaussichten**

Die bisherige Therapie beinhaltet bei Erkrankung am Vollbild AIDS prophylaktische Maßnahmen zur Verhinderung einer weiteren Immunsuppression und natürlich die Behandlung (soweit möglich) der opportunistischen Infektionen und der möglicherweise auftretenden Tumore.

Eine Heilung des am Vollbild AIDS Erkrankten ist jedoch bisher nicht möglich. Anderslautende Berichte seitens der amerikanischen Presse Ende 1986 müssen mit Skepsis betrachtet werden. Nach Meinung von Experten ist vor 1990 mit keinem befriedigendem Impfstoff zu rechnen.

## **AIDS – eine soziale Herausforderung**

In den USA, dem Industrieland mit den bisher meisten AIDS-Fällen, wurden von der dortigen Akademie der Wissenschaften bis 1990 jährlich 2 Mrd. Dollar zu Forschungs- und Aufklärungszwecken gefordert.

Der für die Aufklärung der Bevölkerung veranschlagte Teil soll dabei die Hälfte des Geldes betragen.

Aufklärung der gesamten Bevölkerung ist deshalb ein so wichtiges Erfordernis, weil unzureichende oder falsche Informationen unweigerlich zur Diskriminierung HIV-Positiver, AIDS-Kranker und Angehöriger von Risikogruppen führen.

So weigerten sich selbst Ärzte, infizierte Personen zu behandeln und Pflegepersonal in medizinischen Einrichtungen lehnte die Betreuung AIDS-Kranker ab.

Homosexuelle wurden wegen einer hypothetischen Infektionsgefahr entlassen und Kinder AIDS-Kranker vom Schulunterricht ausgeschlossen.

In einigen westeuropäischen Ländern ist es üblich, afrikanische Praktikanten und Studenten zwangszutesten und bei positivem Ergebnis auszuweisen. Eine ähnliche Aktion läuft derzeit in den Streitkräften der US-Armee. Positives Testergebnis bedeutet hier die Entlassung, den Verlust der Arbeit. Von vielen demokratischen Kräften werden solche Tatsachen als eine neue Form des Rassismus angeprangert.

Aber nicht nur in den kapitalistischen und Entwicklungsländern gibt es Probleme beim Umgang mit dem Thema AIDS.

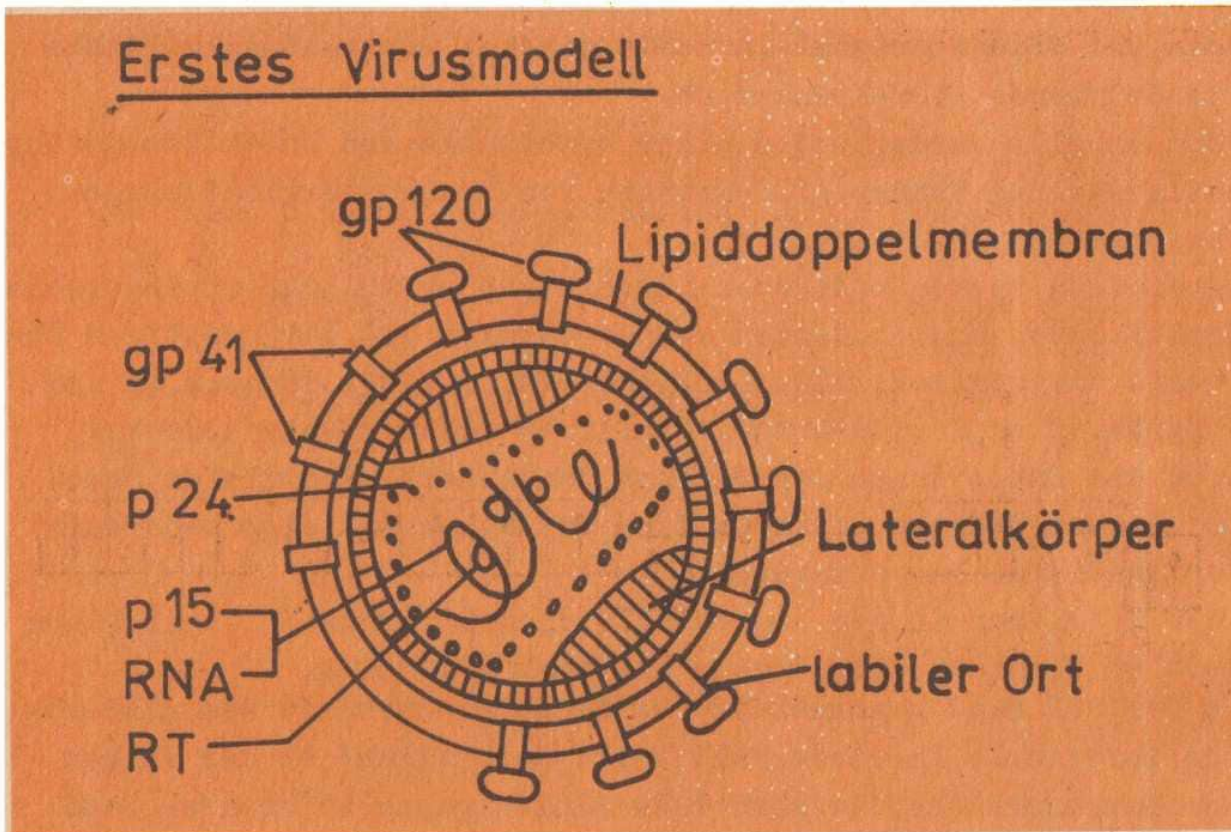
In der DDR sind gegenwärtig fünfzehn Personen mit dem AIDS-Virus infiziert. In einem Fall starb der Patient an den Folgen der Immunschwäche. Gefährdetste Risikogruppe in unserem Land sind homo- und bisexuelle Männer mit häufigem Partnerwechsel.

Probleme entstehen hier vor allem dadurch, daß die Thematik Homosexualität in unserem Land bisher nicht ausreichend aufgearbeitet wurde. Dadurch werden homosexuelle Männer und Frauen, die immerhin ca. 5% der Gesamtbevölkerung ausmachen, immer noch von vielen Menschen nach den Normen einer konservativ-klerikalen Moral diffamiert. Es gibt für homosexuelle Partnerschaften im Gegensatz zur Ehe keine Form der juristischen Fixierung, damit entfällt auch jedwede soziale Unterstützung. Feste homosexuelle Partnerschaften kommen in der Erziehung überhaupt nicht vor, so daß ein Bedürfnis nach ihnen bei den Betroffenen auch gar nicht entwickelt ist. Die Befriedigung sexueller Bedürfnisse erfolgt im allgemeinen anonym. Dadurch entsteht promiskues Verhalten und letztlich ein hohes Risiko für HIV-Infektionen.

Moralische Appelle an Homo- und Bisexuelle, ihr bisheriges Partnerwahlverhalten aufzugeben, haben nur dann einen Sinn, wenn

gleichzeitig die juristischen, materiellen und sozialen Bedingungen dafür geschaffen werden, daß feste (und damit auch offen erkennbare) Partnerschaften unter Homosexuellen die Regel werden können.

Nur so läßt sich das Infektionsrisiko für die größte Risikogruppe in unserem Land grundlegend senken.

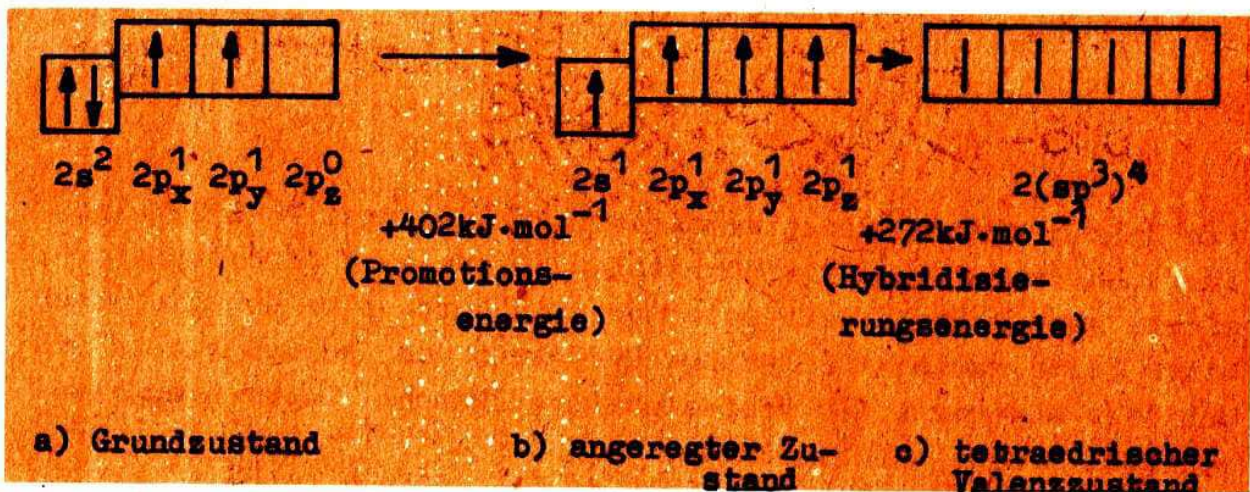


Die Abbildung zeigt das kürzlich veröffentlichte erste Modell des Erregers des erworbenen Immundefizienzsyndroms (AIDS), der inzwischen den neuen und treffenderen Namen "menschliches Immundefizienz-Virus", abgekürzt HIV trägt (human immunodeficiency virus). Die frühere Bezeichnung HTLV-III/LAV gilt nicht mehr.

Innerhalb der aus Lipidproteinen bestehenden Doppelmembran sind die Proteine p 24 und p 15, die RNA und die reverse Transkriptase RT untergebracht. Die RT ist ein für Retroviren spezifisches Enzym, mit dessen Hilfe die RNA in DNA übersetzt wird, damit der Wirtsorganismus sie verarbeiten kann. Über die Funktion des Lateralkörpers gibt es keine Angaben. Die labile Verbindung zwischen den Glykoproteinen 41 und 120 ist der Angriffspunkt der körpereigenen Antikörper, die die biologische Wirkung des HIV neutralisieren.

In diesem Teil sollen die Bindungsverhältnisse von Kohlenstoffverbindungen mit Hilfe des wellenmechanischen Atommodells beschrieben werden. Diese Kenntnisse werden ein tieferes Verständnis für die Besonderheiten der organischen Chemie, der Chemie der Kohlenstoffverbindungen, ermöglichen; diese sind letztlich auf Besonderheiten im Bindungszustand des Kohlenstoffatoms zurückzuführen.

Im Grundzustand hat das Kohlenstoffatom folgende Elektronenkonfiguration (a):



Die so vorliegenden zwei ungepaarten Elektronen ( $2p_x$ ,  $2p_y$ ) müßten durch Ausbildung von s-p- bzw. von p-p- $\sigma$ -Bildungen z.B. zu Verbindungen der Zusammensetzung  $\text{CH}_2$  oder  $\text{CCl}_2$  führen; außerdem wäre die Bildung von ketten- und ringförmigen Kohlenwasserstoffen und damit die Mannigfaltigkeit der organischen Chemie nicht zu erklären. Die Theorie stünde also in eklatantem Widerspruch zur Praxis. Dennoch muß aber das Kohlenstoffatom vier gleichwertige bindende Elektronen aufweisen. Die Vierwertigkeit wird mit Hilfe des Orbitalmodells so erklärt, daß das Kohlenstoffatom im Grundzustand (der ohnehin nur unter besonderen experimentellen Bedingungen im gasförmigen Zustand zu erreichen ist) in einen "angeregten" (promovierten) Zustand übergeführt wird, indem durch Energiezufuhr (Anregungs- oder Promotionsenergie) die beiden  $2s$ -Elektronen "entkoppelt" werden und eines davon in den  $2p_z$ -Zustand "ge-

hoben" wird (b).

Die Gleichwertigkeit aller vier Valenzen wird durch eine Linearkombination der im angeregten Zustand vorliegenden Orbitale zu vier neuen, in Form und Energieinhalt identischen Orbitalen erreicht. Diese Mischung von Orbitalen ("Kreuzung"), die ebenfalls Energie erfordert, nennt man in Anlehnung an biologische Sachverhalte Hybridisierung und deren Ergebnis Hybridorbitale (c und Abb. 13).

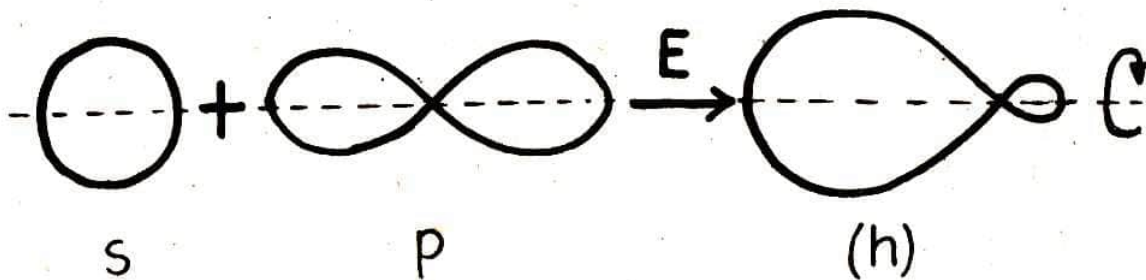


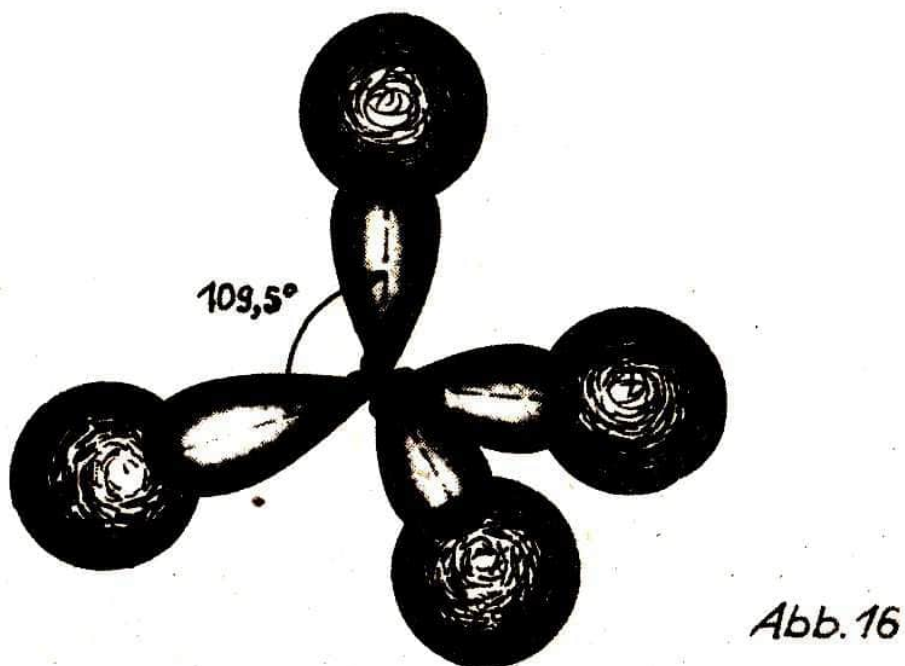
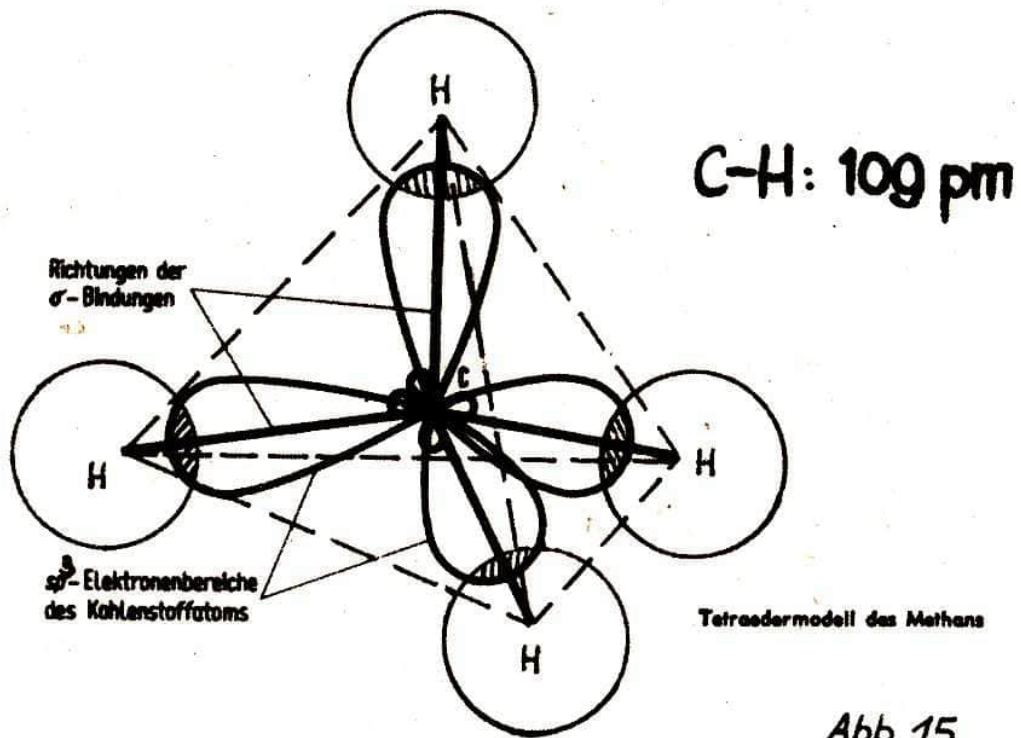
Abb. 13

Die Hybridisierung von einem  $2s$ -Orbital und drei  $2p$ -Orbitalen führt zu vier  $2 sp^3$ -Hybridorbitalen. Diese sind also transformierte Atomorbitale; sie zeichnen sich durch eine deutlich nach einer Seite gerichtete Ladungshäufigkeit aus, so daß sie in die Orbitale anderer Atome tief eindringen können. Dadurch entstehen recht feste Atombindungen.

Bindung im METHANmolekül:

Die vier völlig gleichwertigen  $2 sp^3$ -Hybridorbitale sind im Raum nach den Eckpunkten eines gedachten regelmäßigen Tetraeders ausgerichtet; dieser tetreedrische Valenzzustand ist der energieärmste und damit stabilste Zustand von Hybridorbitalen des Kohlenstoffatoms in seinen Bindungen überhaupt. Die experimentellen Befunde bestätigen die Anwendbarkeit dieses Modells.

Im Methanmolekül kommt es zu einer Durchdringung aller vier  $sp^3$ -Orbitale des Kohlenstoffatoms mit dem jeweils einen  $1s$ -Orbital von vier Wasserstoffatomen (Abb. 15). Das Ergebnis ist die Ausbildung von vier Bindungs- oder Valenz- oder Molekülorbitalen rotationssymmetrisch um die gedachten Verbindungslinien



zwischen den Atomkernen des Kohlenstoffatoms und der Wasserstoffatome. Es liegen also  $sp^3$ -s- $\sigma$ -Bindungen vor. Die genannten Verbindungslinien zwischen jeweils zwei Wasserstoffatomen schließen den tetraedrischen Bindungswinkel von  $109,5^\circ$  ein (Abb. 16).

Bindung in weiteren Alkanmolekülen (z.B. ETHAN):

Die C-C-Einfachbindung entsteht bei der Durchdringung von jeweils einem  $sp^3$ -Hybridorbital der beiden Kohlenstoffatome; sie ist eine  $sp^3-sp^3-\sigma$ -Bindung (Abb. 17). Das Orbitalmodell des gesamten Ethanmoleküls ist in Abb. 18 dargestellt

An diesem Beispiel wird ein weiteres wichtiges Merkmal der Bindung sichtbar, das sich aus der Rotationsymmetrie ergibt und für das Verständnis von Besonderheiten der organischen Chemie von Bedeutung ist:

$\sigma$ -Bindungen im Äthanmolekül

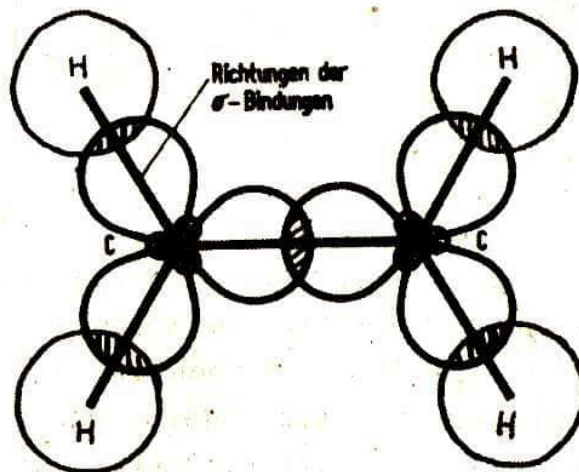


Abb. 17

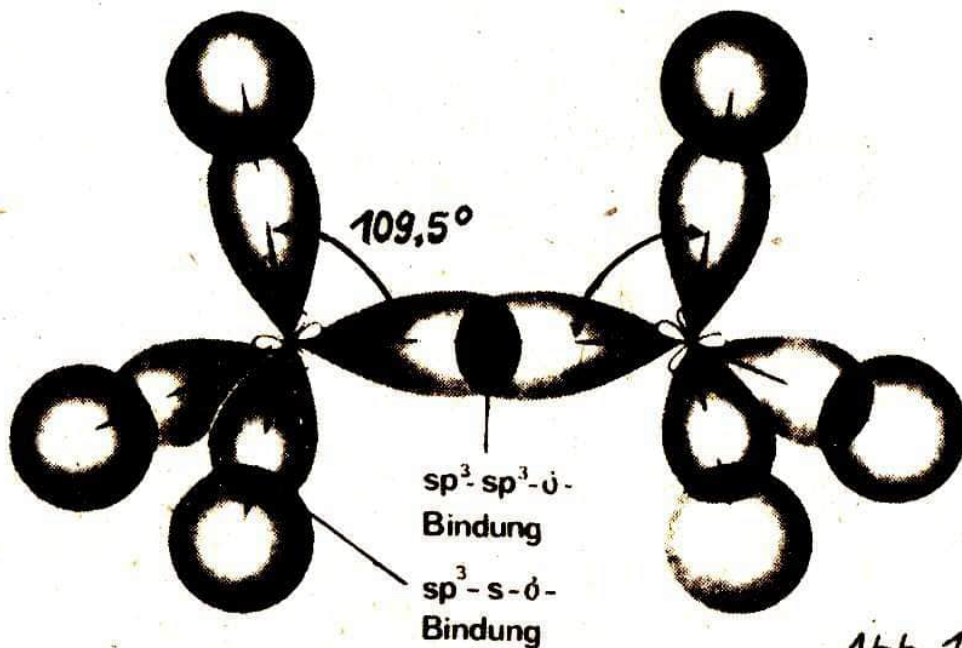


Abb. 18



die freie Drehbarkeit zweier Kohlenstoffatome gegeneinander, wenn sie - wie hier - durch Einfachbindung miteinander verknüpft ist.

Aus dem Tetraedermodell ergibt sich, daß im Falle des Propan das dritte Kohlenstoffatom nicht geradlinig an die Verbindungslinie  $C_1-C_2$  anschließen kann, sondern mit dieser einen Winkel von  $109,5^\circ$  bildet. Die allgemein übliche geradlinige Darstellung von Strukturformeln längerkettiger Kohlenstoffverbindungen ( $-C-C-C-C-$ ) stellt also eine Vereinfachung der tatsächlichen Verhältnisse ( $C-C-C-C$ ) dar.

Bei der Aufspaltung von längerkettigen Alkanen z.B. durch höhere Temperaturen (Pyrolyse) bilden sich (vorübergehend) auch Spaltprodukte mit einem oder mehreren ungepaarten Orbitalen, Radikale genannt (z.B.  $CH_3$ -Methylradikal oder  $C_4H_9$ -Butylradikal), die im allgemeinen sehr instabil und reaktiv sind und gezielt zur Herstellung von Petrochemikalien genutzt werden.

Bindung in Moleküle von HALOGENALKANEN:

Ähnlich wie das Methanmolekül ist das des Tetrachlormethans  $CCl_4$  aufgebaut; es bildet ebenfalls einen regelmäßigen Tetraeder, an dessen Ecken anstelle der Wasserstoffatome jetzt Chlortome mit ihren bindenden  $p_z$ -Atomorbitalen  $sp^3$ - $\sigma$ -Bindungen eingegangen sind (Abb. 19).

Beide Verbindungen sind, obwohl sie aus einzelnen polaren Atombindungen aufgebaut sind, aufgrund ihrer vollkommenen Symmetrie unpolar. Ihr Dipolmoment ist gleich NULL. Im Tetra-Molekül gibt es daher keinerlei "Neigung" zur Abgabe von Chlortomen als Ionen. Beim Versetzen mit Silbernitratlösung tritt bekanntlich keine Fällung ein.

Das Molekül des Monochlormethans  $CH_3Cl$  dagegen ist polar aufgebaut. Es liegen drei  $sp^3$ - $\sigma$ - sowie eine  $sp^3$ - $p$ - $\sigma$ -Bindung vor. Wegen der unterschiedlichen EN-Werte, die sich nicht kompensieren, bilden sich ein positiver und ein negativer Ladungsschwerpunkt; das Molekül verliert an Symmetrie. Die Folge ist eine Deformierung des Tetraeders; die Kohlenstoff-Wasserstoff-Bindungen schließen einen Winkel von  $110,3^\circ$  ein. Das Molekül hat Dipolcharakter (Dipolmoment  $\mu = 1,87 D$ )\*; das kommt - ähnlich wie im Falle des Chlorwasserstoffs - auch in den chemischen Eigenschaften zum Ausdruck.

\*  $1 D(\text{ebye}) = 3,3 \cdot 10^{-30} C(\text{oulomb}) \cdot m$

Die Möglichkeit der Abspaltung des Chlortoms als Ion ist gegeben:



Wenn Monochlorethan, Monobromethan und Monoiodethan getrennt zum selben Zeitpunkt mit Silbernitratlösung versetzt werden, dann tritt sofort eine gelbe Fällung von Silberiodid und später ein gelblicher Niederschlag von Silberbromid auf, während erst nach einigen Minuten eine schwache weißliche Trübung von Silberchlorid festzustellen ist. Die Begründung für diese Unterschiede wurde bereits im letzten Teil bei der Besprechung der Zusammenhänge innerhalb der Gruppe der Halogenwasserstoffe gegeben; sie haben letztendlich ihre Ursache in der unterschiedlichen Größe der p-Orbitale bei den einzelnen Halogenatomen.

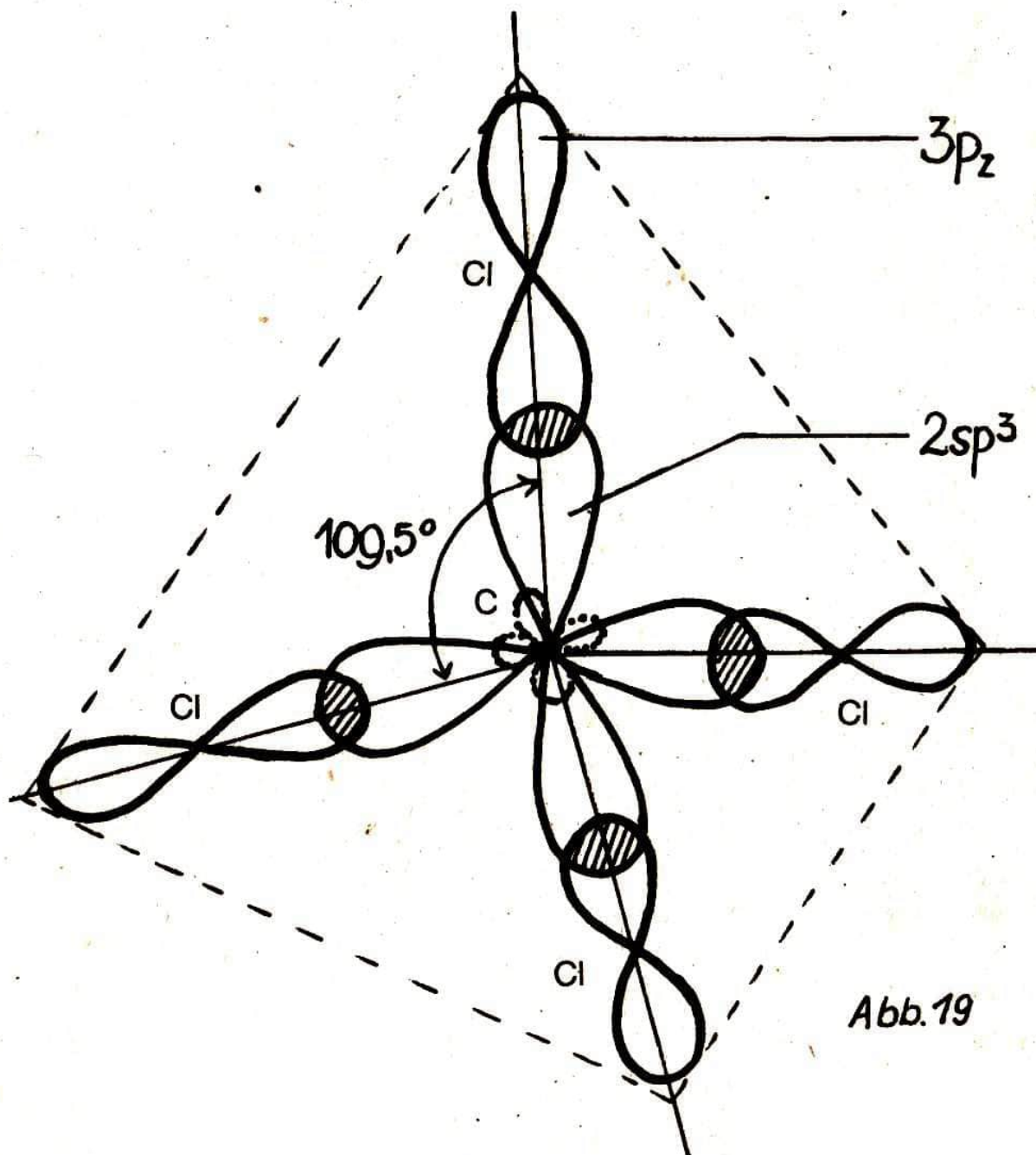


Abb. 19

Zur graphischen Behandlung von Schwingungsvorgängen wurde ein BASIC-Programm erstellt, welches die Lösung der auftretenden Differentialgleichungen durch die Anwendung elementarer Ansätze umgeht. Damit ist das Programm auch für Schüler verständlich, die über keine entsprechenden mathematischen Vorkenntnisse verfügen.

### Mathematische Grundlagen

Die Definitionen von Geschwindigkeit und Beschleunigung in der Form (1)  $v = \Delta s / \Delta t$  bzw. (2)  $a = \Delta v / \Delta t$  werden als bekannt vorausgesetzt. Ein Massenpunkt besitze zum Zeitpunkt  $t$  eine Geschwindigkeit  $v$  am Ort  $s$ . Welche Geschwindigkeit und welcher Ort ergeben sich zum Zeitpunkt  $t + \Delta t$ ?

Für kleine Zeitintervalle  $\Delta t$  läßt sich die Bewegung des Massenpunktes in guter Näherung als gleichförmige Bewegung auffassen:

$$(3) \quad t_{\text{neu}} = t_{\text{alt}} + \Delta t,$$

$$(4) \quad s_{\text{neu}} = s_{\text{alt}} + \Delta s = s_{\text{alt}} + v \cdot \Delta t \quad \text{wegen (1),}$$

$$(5) \quad v_{\text{neu}} = v_{\text{alt}} + \Delta v = v_{\text{alt}} + a \cdot \Delta t \quad \text{wegen (2).}$$

Dieser Ansatz, welcher auf den Mathematiker L. EULER (1707-1783) zurückgeht, läßt sich universell anwenden, weil für die Beschleunigung  $a$  jede beliebige, physikalisch sinnvolle Funktion eingesetzt werden kann.

Stehen die Beschleunigungswerte für verschiedene Schwingungsvorgänge zur Verfügung, können aus vorstehendem Ansatz heraus durch Iteration (d.h. ständige Wiederholung) die Ort-Zeit-Werte der Schwingung berechnet werden. Die Genauigkeit der Näherung ist von der Wahl des Zeitintervalls  $\Delta t$  abhängig. Zur Durchführung von iterativen Berechnungen ist, bedingt durch die große Anzahl sich wiederholender Einzelrechnungen, der Computereinsatz äußerst effektiv.

## Freie Schwingungen

Wird ein an einer Feder aufgehängtes Massenstück aus seiner Ruhelage ausgelenkt, so führt das System Feder plus Massenstück nach dem Loslassen **f r e i e** Schwingungen aus. Dabei ist die Beschleunigung der Masse, also auch die auf sie wirkende Kraft, die Rückstellkraft, dem Abstand  $s$  der Masse von der Ruhelage unter bestimmten Bedingungen proportional (HOOKEsches Gesetz). Es gilt:

$$(6) \quad F = m \cdot a = -k \cdot s ,$$

$k \dots$  Federkonstante in  $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$ ,  
 $m \dots$  Masse in kg,  
 $s \dots$  Elongation in m.

Die Beobachtung zeigt, daß die ausgelösten Schwingungen allmählich unter stetem Kleinerwerden der Amplitude aufhören, so daß schließlich wieder die Ruhelage erreicht wird. Die Schwingungen verlaufen **g e d ä m p f t**. Die Abnahme der Amplituden erfolgt durch die Wirkung von Kräften, die der Bewegung des Systems entgegenwirken, z.B. Luftwiderstand und Reibung innerhalb des Federmaterials. Es wird der Fall betrachtet, daß die diese Dämpfung hervorrufende Reibungskraft der Geschwindigkeit der schwingenden Masse proportional ist.

$$(7) \quad F_r = r \cdot v , \quad r \dots \text{Reibungskonstante in } \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Da die Reibungskraft hemmend auf die Schwingung einwirkt, gilt für die Kräfte am freien, gedämpften Federschwinger

$$(8) \quad F = m \cdot a = -k \cdot s - r \cdot v .$$

Um die gedämpften Schwingungen systematisieren zu können, wird die bekannte Gleichung für die Schwingungsdauer ungedämpfter Schwingungen herangezogen und unter Berücksichtigung der Reibung entsprechend ergänzt. Aus  $T = 2\pi(m/k)^{1/2}$  folgt  $f = \frac{1}{2\pi} (k/m)^{1/2}$  bzw.

$$(9) \quad \omega_0 = (k/m)^{1/2} , \quad \text{Kreisfrequenz einer ungedämpften Schwingung}$$

$$(10) \quad \omega_d = \left( \frac{k}{m} - \frac{r^2}{4m^2} \right)^{1/2} , \quad \text{Kreisfrequenz einer gedämpften Schwingung.}$$

Der Ausdruck unter der Wurzel von Gleichung (10), die Diskriminante, ermöglicht eine Fallunterscheidung. Mit  $D = \frac{k}{m} - \frac{r^2}{4m^2}$  gilt

- $D > 0$  Schwingfall,
- $D = 0$  aperiodischer Grenzfall,
- $D < 0$  (aperiodischer) Kriechfall.

## Erzwungene Schwingungen

Bisher wurde der Fall betrachtet, daß die Auslösung der Schwingung durch einen einmaligen Anstoß erfolgt, worauf das schwingungsfähige System **f r e i e** Schwingungen ausführt. Sehr wichtig und interessant ist der Fall, daß die Erregung ebenfalls durch ein schwingendes System erfolgt; es entstehen **e r z w u n g e n e** Schwingungen. Die äußere Kraft wird dann erfaßt durch die Gleichung

$$(11) F_{\text{err}} = F_a \cdot \sin(2\pi f_a \cdot t),$$

$F_a$ ... Amplitude der äußeren Kraft

$f_a$ ... Frequenz der äußeren Kraft.

Für die Kräfte am Federschwinger, der eine erzwungene gedämpfte Schwingung ausführt, gilt dann

$$(12) F = m \cdot a = F_a \cdot \sin(2\pi f_a \cdot t) - k \cdot s - r \cdot v$$

Nach der Division durch die Masse  $m$  steht damit ein Ausdruck für die Beschleunigung  $a$  zur Verfügung, mit dem die vorstehend erläuterten Schwingungsvorgänge erfaßt werden:

$$(13) a = a_0 \cdot \sin(2\pi f_a \cdot t) - \frac{k}{m}s - \frac{r}{m}v$$

### Programmaufbau

Das Programm ermöglicht die graphische Darstellung freier ungedämpfter und gedämpfter, sowie erzwungener Schwingungen durch Eingeben folgender Parameter:

Federkonstante $k$	in $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$
Masse $m$	in $\text{kg}$
Reibungskonstante $r$	in $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$
Amplitude der äußeren Kraft $F_a$	in $\text{N}$
Frequenz der äußeren Kraft $f_a$	in $\text{Hz}$

Im Eingabeteil (170...300) werden zusätzlich als Informationen über den jeweils erfaßten Schwingungsvorgang dessen Eigenfrequenz und der Betrag der Rückstellkraft (230...250) ausgegeben.

Damit sind Bezüge zu den Werten möglich, die als Parameter für die äußere Kraft gewählt werden. In Zeile 240 erfolgt die Definition der Zeitdifferenz für den Fall, daß für die Diskriminante in Gleichung (10)  $D \neq 0$  gilt.

In den Zeilen 310...470 wird die Verzweigung zu den unterschiedlichen Schwingungsformen vorgenommen, deren Bezeichnung im Kopfenster ausgegeben wird.

Der entscheidende Programmabschnitt ist der Schleifenteil 520.. 550, in dem die Momentanwerte für Elongation und Geschwindigkeit berechnet werden. In Zeile 510 erfolgen der Ansatz für die cos-Funktion und die Festlegung der Zeitdifferenz für  $D > 0$ .

Zur graphischen Darstellung von 2 Perioden der betrachteten Schwingung in einem zweiten Fenster dient der Programmteil 560( ...650; das Koordinatensystem wird durch das Unterprogramm 1000 bereitgestellt. Nach Darstellung von jeweils zwei Perioden wird vom Programm-Nutzer eine Entscheidung gefordert: entweder Überschreiben des bereits entstandenen Graphen während der nächsten beiden Perioden für Vergleichszwecke, oder Darstellung des weiteren Verlaufs der Schwingung in einem neuen Koordinatensystem.

Das Unterprogramm 2000 stellt eine Anregung dar zum Schaffen einer Abfragemöglichkeit zur Dauer des Einschwingvorgangs. Die Einschwingzeit wird bezogen auf die Schwingungsdauer der Erregerschwingung (äußere Kraft) ermittelt und ausgegeben. Wurde der Programmablauf zu diesem Zweck mit `<BRK>`

`<GOSUB 2000>` unterbrochen, so ist er mit `<CONT>` fortzusetzen. Dieser Programmabschnitt sollte von Interessenten weiter ausgebaut werden !

## Liste der verwendeten Variablen

Nachfolgend sind zum Zweck der Übersicht die verwendeten Variablen aufgeführt:

K	Federkonstante	
M	Masse	
$C = K/M$		
FU	Eigenfrequenz	} des ungedämpften Systems
TU	Schwingungsdauer	
B	Reibungskonstante	
FA	Amplitude	} der äußeren Kraft
FE	Frequenz	
$R = B/M$		
$DI = C - R^2/4$	Diskriminante in OM	
OM	Kreisfrequenz der gedämpften Schwingung	
TD	Schwingungsdauer des gedämpften Systems	
X	Elongation	
D	Zeitdifferenz	
A	Beschleunigung	
V	Geschwindigkeit	

## Programmlisting und Displayausschrift

```
10 :
20 !   UEBUNGSPROGRAMM "SCHWINGUNGEN"
30 !           04.12.1986
40 ! FRIEDRICH-SCHILLER-UNIVERSITAET JENA
50 ! SEKTION PHYSIK   WB PHYSIKMETHODIK
60 !
70 !   AUTOR: DR. H.-J.LOEHR
80 !
90 WINDOW:CLS:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT:PRINT
100 PRINTSPC(8)"*****"
110 PRINTSPC(8)**
120 PRINTSPC(8)**   SCHWINGUNGEN   **
130 PRINTSPC(8)**
140 PRINTSPC(8)"*****"
150 !
160 PAUSE 60:WINDOW:CLS
170 PRINT:PRINT:PRINT:PRINT"BITTE WERTE EINGEBEN!"
180 PRINT:PRINT:INPUT"FEDERKONSTANTE .....(N/m).... k=";K
190 IF K=0 THEN180
200 PRINT:INPUT"MASSE .....(Kg).... m=";M
210 IF M=0 THEN200
220 C=K/M:FU=1/2/PI*SQR(C):PRINT:PRINT:PRINT
230 PRINT" -Betrag der Rueckstellkraft F=";K;"N":PRINT
240 PRINT" -Eigenfrequenz des ungedaempften"
250 PRINT" Systems fu=";INT(FU*100+.5)/100;"Hz":PRINT:TU=1/FU
260 PRINT:INPUT"REIBUNGSKONSTANTE ...(N/m).... r=";B:PRINT
270 PRINT:PRINT"ERREGERSCHWINGUNG: Fa in N , fe in Hz":PRINT:PRINT
280 INPUT"AMPLITUDE DER AEUSSEREN KRAFT Fa=";FA
290 PRINT:INPUT"FREQUENZ DER AEUSSEREN KRAFT fe=";FE
300 PAUSE 10:CLS
310 R=B/M:DI=C-R*R/4:IF DI<=0 THEN360
320 OM=SQR(DI):TD=2*PI/OM
330 IF DI<>C THEN360:ELSE IF FA<>0 AND FE<>0 THEN410
340 IF FA=0 OR FE=0 AND B=0 THEN350:ELSE360
350 PRINT:PRINTSPC(2)"FREIE UNGEDAEMPFT SCHWINGUNG":TD=TU:PRINT:GOTO450
360 IF FA=0 OR FE=0 THEN370:ELSE410
370 PRINT:PRINTSPC(2)"FREIE GEDAEMPFT SCHWINGUNG"
380 IF DI>0 THEN PRINT:PRINT"SCHWINGFALL";:GOTO450
390 IF DI<0 THEN PRINT:PRINT"KRIECHFALL":TD=TU:GOTO470
400 PRINT:PRINT"APERIODISCHER GRENZFALL":TD=TU:GOTO470
410 PRINT:PRINT"ERZWUNGENE SCHWINGUNG":PRINT:PRINT"ERREGERSCHWINGUNG:"
420 PRINT:PRINT"FREQUENZ fe=";FE;"Hz";
430 PRINTSPC(3)"AMPLITUDE Fa=";FA;"N":GOSUB1030:!*UP KOORDINATENSYSTEM*
440 GOTO510
450 PRINTSPC(2)"f=";INT(1/TD*100+.5)/100;"Hz";
460 PRINTSPC(4)"T=";INT(TD*100+.5)/100;"s"
470 WINDOW 6,31,0,39:CLS:GOSUB1030:!*UP KOORDINATENSYSTEM**
480 !
490 !***BERECHNUNG DER MOMENTANWERTE***
500 !
510 X=1:D=INT(TD+.5)/100
520 X=X+V*D :!*ELONGATION**
530 A=FA/M*SIN(2*PI*FE*T)-C*X-R*V :!*BESCHLEUNIGUNG**
540 V=V+A*D :!*GESCHWINDIGKEIT**
550 T=T+D :!*ZEIT**
560 E=INT(68*X)+92 :!*ANPASSUNG ELONGATION AN ORDINATENACHSE**
570 Z=INT(T/2/TD*232)+48-S*232 :!*ANPASSUNG ZEIT AN ABSZISSENACHSE**
```

```

580 PSET Z,E,7
590 IF T<=(S+1)*2*TD THEN520:!!**DARSTELLUNG VON 2 PERIODEN**
600 S=S+1:!!**NAECHSTES PERIODENPAAR**
610 WINDOW 8,10,23,39
620 INPUT"GRAFIK LOESCHEN? Y/N";L$:IF L$="N" THEN CLS:GOTO520
630 WINDOW 7,31,0,39:CLS:GOSUB1030:!!**UP KOORDINATENSYSTEM**
640 GOTO520
650 END
660 !*****
1000 !
1010 ! UP "KOORDINATENSYSTEM"
1020 !
1030 FOR L=48 TO 290
1040 PSET L,92,7
1050 NEXT L
1060 PRINTAT(21,36);"t"
1070 IF S>=1 THEN RETURN
1080 FOR Q=24 TO 170
1090 PSET 48,Q,7
1100 NEXT Q
1110 PRINTAT(10,5);"X"
1120 RETURN
1130 !*****
2000 !
2010 ! UP "EINSCHWINGZEIT"
2020 WINDOW 8,10,23,39:CLS
2030 PRINT"T=";INT(T*FE)"*Ta"
2040 RETURN
2050 !*****

```

**BITTE WERTE EINGEBEN!**

**FEDERKONSTANTE .....(N/M).... K= 1**

**MASSE .....(KG).... M= 1**

**-BETRAG DER RUECKSTELLKRAFT F= 1 N**

**-EIGENFREQUENZ DES UNGEDAEMPFTEN  
SYSTEMS FU= .16 HZ**

**REIBUNGSKONSTANTE ...(N/M).... R= 0.05**

**ERREGERSCHWINGUNG: FA IN N , FE IN HZ**

**AMPLITUDE DER AUSSEREN KRAFT FA= 2.5**

**FREQUENZ DER AUSSEREN KRAFT FE= 0.5  
BREAK IN 290**

**OK**

**>**

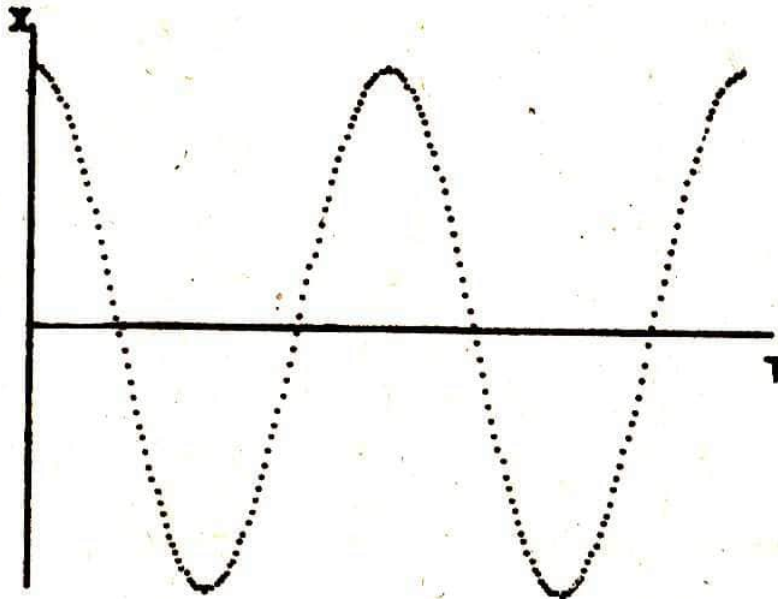


T            Zeit  
 E            Elongation } nach Anpassung an Koordinatensystem  
 Z            Zeit  
 L, S, Q, L\$ Hilfsvariablen

## Beispiele

### FREIE UNGEDÄMPFTE SCHWINGUNG

$F = .16 \text{ HZ}$      $T = 6.28 \text{ s}$



Parameter:

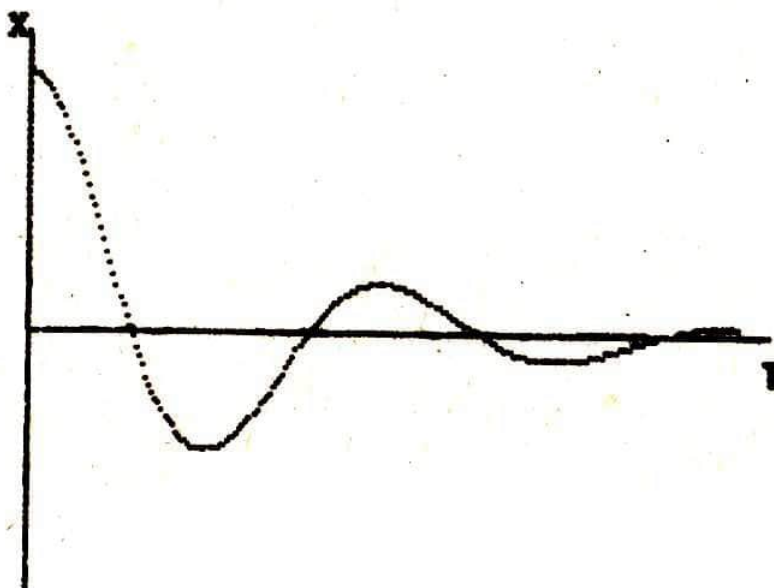
$$k = 1$$

$$m = 1$$

$$r = 0$$

### FREIE GEDÄMPFTE SCHWINGUNG

SCHWINGFALL     $F = .15 \text{ HZ}$      $T = 6.49 \text{ s}$

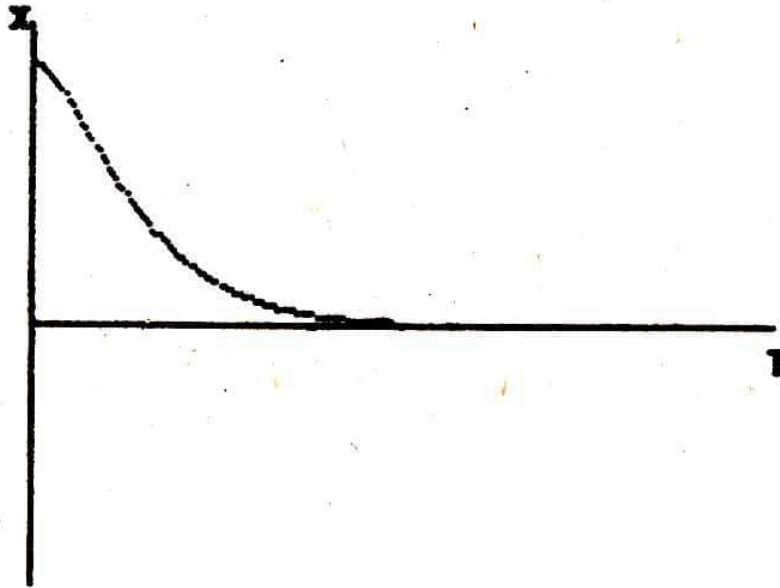


$$k = 1$$

$$m = 1$$

$$r = 0,5$$

**FREIE GEDÄMPFTE SCHWINGUNG  
APERIODISCHER GRENZFALL**



Parameter:

$$k = 1$$

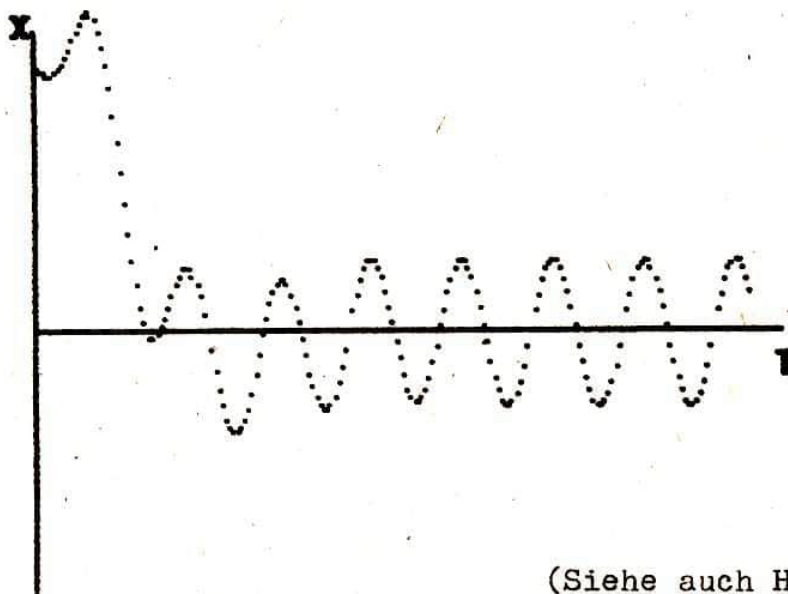
$$m = 1$$

$$r = 2$$

**ERZWUNGENE SCHWINGUNG**

**ERREGERSCHWINGUNG:**

**FREQUENZ  $f_E = .5$  HZ    AMPLITUDE  $F_A = 2.5$  N**



$$k = 1$$

$$m = 1$$

$$r = 1,2$$

(Siehe auch Heftrückseite !)

## Schlußbemerkungen

Mit diesem Beitrag wird einerseits eine Möglichkeit zur Untersuchung von Schwingungsvorgängen anhand von KC-Simulationen vorgestellt. Besondere Aufmerksamkeit sollte dabei den erzwungenen Schwingungen, insbesondere ihren Einschwingvorgängen gelten. Im Realexperiment erfordern entsprechende Untersuchungen (mit relativ freier Parameterwahl) einen großen gerätetechnischen Aufwand, experimentelle Fertigkeiten, sowie Exaktheit, Geduld und viel Zeit bei der Gewinnung aussagekräftiger Meßwertreihen. Andererseits sollte mit der dem Artikel zugrunde liegenden Gliederung eine Empfehlung zur Form von ausführlichen Programmdokumentation gegeben werden.

# BÜCHERMARKT

## Lindner, Klaus: Jugendlexikon Astronomie

VEB Bibliographisches Institut Leipzig, 1. Aufl. 1986  
192 S., 143 Abb., Bestell-Nr. 5778537, Preis: 6,50 M

Nur 65 Seiten weniger als sein Vorgänger, das Jugendlexikon "Astronomie und Raumfahrt" enthält das neue Jugendlexikon "Astronomie". Obwohl die Raumfahrt, die sicherlich später in einer Extraausgabe erscheint, herausgenommen wurde, ist es ein attraktives Nachschlagewerk geblieben, das würdig an die Seite von "Brockhaus ABC Astronomie" tritt. Das Jugendlexikon enthält (zum halben Preis verglichen mit dem Brockhaus ABC) nahezu das gesamte Fachvokabular, das ein Absolvent der 10.Klasse in Astronomie kennen sollte. Es ist im Wortschatz angepaßt, sehr handlich (120 mm x 190 mm), sowie von ansprechender Bild- und Druckqualität.

Klaus Lindner, früherer Mitautor des Jugendlexikons "Astronomie und Raumfahrt", hat den astronomischen Teil überarbeitet und einige Begriffe hinzugefügt. Durch den Verzicht auf die Astronautik konnte auch der Bildteil erweitert werden (z.B. Abbildungen von Sternwarten, extragalaktischen Objekten, Porträts von Astronomen u.a.). Er macht den alphabetisch geordneten Text

in hohem Maße anschaulich. Eine Bereicherung ist auch die Wiedergabe des Sternenhimmels zu verschiedenen Jahreszeiten (Südhorizont) im Anhang des Bändchens.

Dort, wo sich Hinweise auf das Lehrbuch Astronomie (10.Klasse) finden, wird wegen des neuen Lehrbuches ab Schuljahr 1987/88 in der nächsten Auflage eine Änderung notwendig sein.

**Wolfgang König**  
Schul- und Volkssternwarte Suhl

## **Krauß, Erika: Ernst Haeckel**

**Band 70 der Reihe „Bibliographien hervorragender Naturwissenschaftler, Techniker und Mediziner“,  
BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1984,  
Bestell-Nr. 6661488, Preis 8,80 M**

Der "deutsche Affenvater" hatte es gewiß nicht leicht, den darwinschen Entwicklungsgedanken zum Durchbruch zu verhelfen, durch eigene umfangreiche wissenschaftliche Arbeiten zu erweitern und weltanschauliche Konsequenzen zu ziehen.

Klerikale Kreise, aber auch namhafte Wissenschaftler, wie z.B. sein früherer Lehrer Virchow, griffen ihn wegen seiner Ansichten scharf an, beschuldigten ihn der Fälschung, der Beleidigung religiöser Gefühle, ja selbst der Staatsgefährdung. Und das preußische Abgeordnetenhaus verbot seine Schriften und schaffte den Biologieunterricht in den oberen Klassen ganz einfach ab. Nachzulesen in Erika Krauß's Biographie "Ernst Haeckel", die in der Teubner Verlagsgesellschaft erschien. Für nur 8,80 Mark wird auf knapp 150 Seiten eine umfangreiche, streng chronologisch gehaltene, sehr fundierte Biographie des großen Verfechters der Abstammungslehre angeboten. Angenehm auffallend die Auswahl der Abbildungen: Neben Photographien auch zeitgenössische Karikaturen und Zeichnungen Haeckels, einschließlich zweier seiner Aquarelle, die seine künstlerische Begabung und seine ausgezeichnete Beobachtungsgabe aufzeigen.

Wünschenswert für die Einordnung Haeckels in seine Zeit, wäre es aber gewesen, ausführlicher auf den damaligen Wissensstand, insbesondere von Biologie und Medizin (z.B. Katastrophentheorie, Rolle Goethes), als auch der Geisteswissenschaften (Marxismus, Anfänge des Sozialdarwinismus, theologische Standpunkte ...)

einzufragen. Die Relationen bezüglich gesellschaftlicher Situationen in seinem umfangreichen -eben (1834 - 1919) hätten ebenfalls umfassender dargelegt werden können. Und leider erfährt man nichts über die Autorin.

Besonders gelungen sind wiederum Wahl und Anordnung von Zitaten Haeckels, übersichtlich vom Autorentext abgesetzt. Übrigens, Ernst Haeckel war auch nicht gerade auf den Mund gefallen, wie ein derartiges Zitat aus einem seiner bekanntesten Werke:

"Generelle Morphologie der Organismen" zeigt:

"Interessant und lehrreich, ist dabei nur der Umstand, dass besonders diejenigen Menschen über die Entdeckung der natürlichen Entwicklung des Menschengeschlechts aus echten Affen am meisten empört sind und in den heftigsten Zorn gerathen, welche offenkundig ihrer intellektuellen Ausbildung und cerebralen Differenzierung sich bisher noch am wenigsten von unseren gemeinsamen tertiären Stammeltern entfernt haben."

**Karsten König**

## **Physikalisches Praktikum für Anfänger**

**Begr. v. Prof. Dr. W. Ilberg, Herausgegeben v. Dr. M. Krötsch**

**7., überarbeitete Auflage**

**BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1985,**

**Bestell-Nr. 6658449, Preis 24,50 M**

Oft überlegt sich der angehende naturwissenschaftlich interessierte Abiturient welche weitergehende Fachliteratur er sich kaufen könnte, die ihm auch im Studium noch von Nutzen sein kann.

Ein Geheimtip für ein solches Buch ist der "Ilberg", das Physikalische Praktikum für (Hochschul-) Anfänger. Dieses Buch hat nun mittlerweile eine ganze Generation von Hoch- und Fachschulstudenten naturwissenschaftlich-technischer Richtungen in den unteren Semestern begleitet, und wird vermutlich, insbesondere nach Vorliegen der überarbeiteten 7. Auflage, auch weiterhin vielen Studenten ein guter Begleiter sein.

Das Buch gibt eine Einführung zu Größen und Einheiten (das SI-System wird konsequent beibehalten), zur Fehlertheorie und Feh-

lerrechnung, zur Auswertung von Messungen mittels numerischer Verfahren und Graphen sowie zur Protokollführung.

Den Hauptteil des Buches bildet die Beschreibung von ca. 100 Experimenten aus allen Gebieten der Physik, beginnend von der Mechanik, über die Wärmelehre, die Elektrizitätslehre bis hin zur Optik und Atomphysik.

Einzelne zusammengehörende Versuche sind dabei in bestimmten Gruppen zusammengefaßt, zu denen allgemeine physikalische Grundlagen übersichtlich dargestellt werden.

In den Beschreibungen zu den einzelnen Versuchen sind dann die Versuchsaufgabe, die physikalischen Grundlagen der Lösung des Problems und die Versuchsdurchführung enthalten. Die Auswahl der Versuche kann als ausgewogen gelten, sie reichen von der Analysenwaage über den Kreisel; Schallwellen, Kennlinienbestimmung elektronischer Bauelemente, Interferometer bis hin zum Hall-Effekt und dem Franck-Hertz-Versuch.

Das Buch beinhaltet eine ganze Reihe von Versuchen, die durchaus in der Abiturstufe, zumindest aber in Physik-Zirkeln durchgeführt werden können. Insofern auch ein lohnendes Buch für Schüler und Lehrer. Bei einer Reihe weiterer Versuche ist die Grenze zwischen Schul- und Hochschulversuch fließend und wird sich eher zum Schulversuch hin verschieben.

Zum Schluß einige kritische Bemerkungen. Der neue Satz (zweispaltig) bringt in den meisten Fällen keinen Verlust an Übersichtlichkeit, in vielen Fällen ist sogar ein größerer Überblick über den gesamten Versuch durch das größere Format des Buches möglich. Der Kunstledereinband ist sowohl zweckmäßig wie ansprechend. Von Nachteil ist, insbesondere für Studenten, daß auf Grund des Satzes kaum ein Arbeiten mit dem Buch (Randnotizen etc.) möglich ist. Gewünscht hätte ich mir einen erweiterten Tabellenanhang und ein Literaturverzeichnis zum tieferen Eindringen in Probleme der Meßtechnik. Leider war im Buch kein Hinweis über den sinnvollen Einsatz der Kleinrechenteknik im Praktikum zu finden, dies sollte man m.E. bei einer sicher zu erwartenden neuen Auflage unbedingt berücksichtigen.

**Dr. M. Kaschke**

bunden wird. Durch die haarfeinen Fasern fließt Licht, das von einem Halbleiterelement erzeugt wird. Zerreißt das Kabel, ist der Lichtfluß unterbrochen, und der Alarm wird ausgelöst. Im Gegensatz zu herkömmlichen Kabeln können Lichtwellenleiter praktisch nicht überbrückt werden. Manipulationen an der Glasfaser werden von der nachfolgenden Elektronik erfaßt und führen zum Alarm.

### **Hinweis: BASIC-EXTRA**

Das Sonderheft BASIC-EXTRA kann über die vorliegenden Bestellungen hinaus in beschränktem Umfang in den Verkaufsstellen des Postzeitungsvertriebs erworben werden.

Voraussichtlicher Erscheinungstermin: 2. Maihälfte

Die uns übersandten Bestellungen sind dem Postzeitungsvertrieb übergeben worden und werden von dort realisiert.

### **Vorschau:**

Im nächsten Heft berichten wir über die Verleihung des diesjährigen Schülerpreises der Physikalischen Gesellschaft der DDR. Wir veröffentlichen ebenfalls die neuen Teilnahmebedingungen, deshalb: "impuls 68" Heft 3/87 besorgen !

### **Berichtigung:**

Im zweiten Teil der Artikelserie "Das wellenmechanische Atommodell" (Heft 1/87) sind uns einige Fehler unterlaufen, die hiermit berichtigt werden. Die Redaktion bittet um Entschuldigung.  
Seite 4, 22.Zeile, lies: ist auf das durch ein Maximum der Elektronendichte zwischen den Kernen erreichte Minimum...

Seite 7, 14.Zeile, lies:  $2p < 3p < 4p < 5p$

Seite 8, Abb.: Die grünen Dreiecke der letzten beiden Spalten beginnen wegen der im Text beschriebenen Wasserstoffbrückenbindung erst bei HCl !

Seite 9, 28.Zeile, lies: Halogenwasserstoffen

Seite 10, 20.Zeile, lies: ...zwei s-p- $\sigma$ - Bindungen

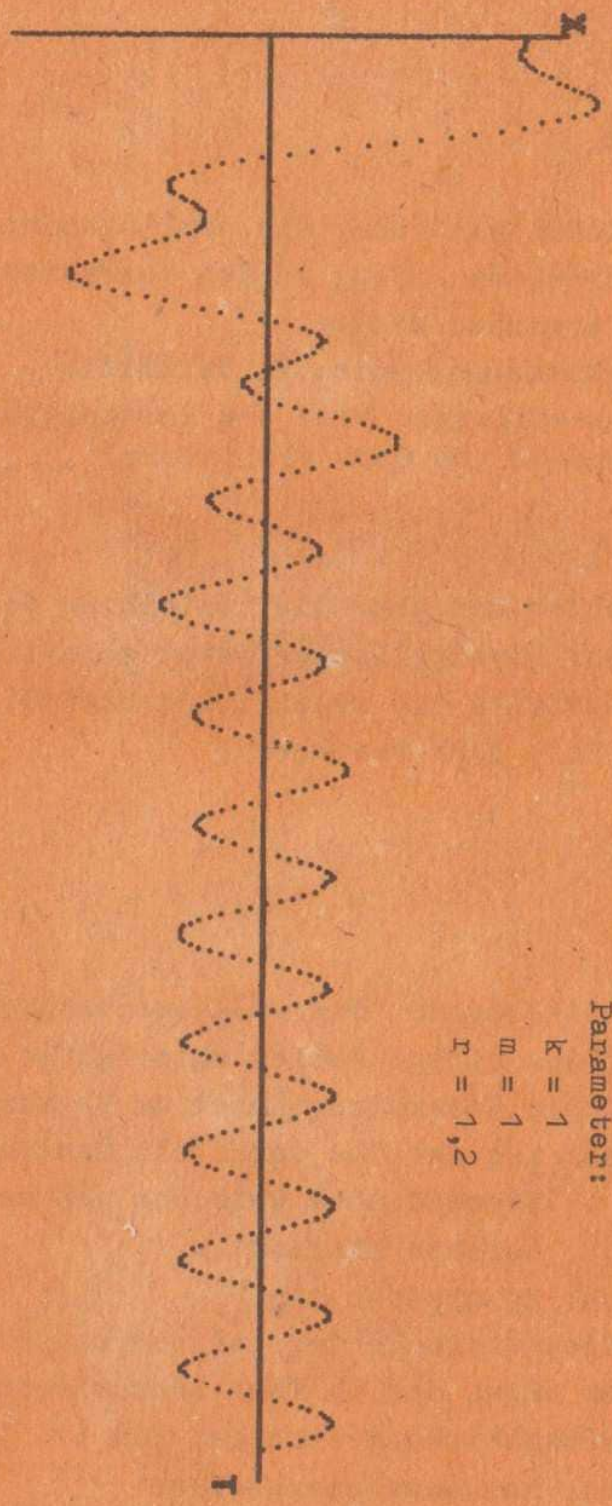
9072 2006 3265

GEET

ERZUNGENE SCHWINGUNG

ERREGERSCHWINGUNG:

FREQUENZ FE = .5 HZ      AMPLITUDE FA = 2.5 N



Parameter:

$k = 1$

$m = 1$

$r = 1,2$



68

# Impuls

Schülerzeitschrift für

PHYSIK · CHEMIE · BIOLOGIE

3/87 INDEX 322004 ISSN 0232-9220 PREIS 60 Pf. 21. Jg.

Pro-  
grammieren  
leicht-  
verständlich  
(Teil 8)

★

Jahres-  
tagung der  
Physikali-  
schen  
Gesellschaft

Das wellen-  
mechani-  
sche Atom-  
modell  
(Teil 4)

★

Der ewige  
Student  
zu Jena

Molekülwolken und die Entstehung  
von Sternen (Teil 2):

Die Dynamik der Molekülwolken

von Dr. Th. Henning und Dr. B. Stecklum



Alexander Niehardt	Jahreshaupt- und Schultagung der Physikalischen Gesellschaft der DDR		3
Karsten König	Der ewige Student zu Jena	GE	9
Dr. H.-J. Lühr	Programmieren leichtverständlich (Teil 8)	PHY	13
Siegfried Oertel	Das wellenmechanische Atommodell (Teil 4)	CHE	25
Dr. Thomas Henning Dr. Bringfried Stecklum	Molekülwolken und die Entstehung von Sternen (Teil 2)	ASTRO	38

### 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 27122/217  
 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: Dr. Roland Colditz, Sylvia Kaschke, Antje Katzer, Petra Richter, Peter Kroll,  
 Alexander Niehardt, Ralph Huonker, Rainer Strobel  
 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, Niehardt, Stecklum

Redaktionsschluß: 20. 3. 87

Titelbild: Der Orion-Nebel, ein Gebiet aktiver Sternentstehung  
 (Aufnahme: Universitäts-Sternwarte Jena)



---

## Jahreshaupt- und Schul- tagung der Physikalischen Gesellschaft der DDR

Alexander Niehardt

FSU Jena Sektion Physik, 4. Stdj.

---

Vom 24. bis 27. Februar fanden in Berlin die Schultagung und die Jahreshaupttagung der Physikalischen Gesellschaft der DDR statt. Innerhalb der Haupttagung veranstaltete die Arbeitsgruppe Physikgeschichte der Gesellschaft die II. Physikhistorische Tagung. Alle drei Veranstaltungen standen ganz im Zeichen des 750jährigen Stadtjubiläums von Berlin.

Das vom Fachverband Schulphysik der Physikalischen Gesellschaft vorbereitete Programm der Schultagung trug den umfassenden Aussagen des XI. Parteitages der SED zur Bildungspolitik Rechnung. Im Mittelpunkt standen die Schlüsseltechnologien Optoelektronik und Biotechnologie sowie der Einsatz von Kleincomputern in Schulen und Arbeitsgemeinschaften.

Bei der Behandlung ausgewählter Probleme der Biotechnologie, Bioinformatik und der physikalisch-chemischen Grundlagen photodynamischer Prozesse der Tumorbekämpfung wurden die Beiträge der Wissenschaft Physik herausgestellt. Gleichzeitig wurde an diesen Beispielen deutlich, daß der weitaus größte Erkenntniszuwachs heute auf Rand- und Übergangsbereichen verschiedener Wissenschaften erzielt wird, wozu aber interdisziplinäre Zusammenarbeit unabdingbar ist. Physiker, die in solchen Arbeitsgruppen mitarbeiten (Das ist mit steigender Tendenz der Fall.), müssen sich Wissen auf vielen anderen Gebieten aneignen, um erfolgreich arbeiten zu können.

Große Aufmerksamkeit fand am Nachmittag des ersten Tages ein Vortrag zur Anwendung der Plasmaphysik in modernen Lampen. Historische Betrachtungen zum Physikunterricht in Berlin um die Jahrhundertwende, die Darstellung physikalischer Grundlagen der Optoelektronik und ein Experimentalvortrag zur Optoelektronik

rundeten das Programm des ersten Tages ab.

Der Vormittag des zweiten Tages blieb traditionell der Verleihung der Gustav-Hertz-Preise und des Schülerpreises der Physikalischen Gesellschaft der DDR vorbehalten.

Die zweite Tageshälfte war in Fortsetzung einer Thematik der vorjährigen Schultagung ausschließlich der Anwendung von Kleincomputern in der Schule gewidmet.

Die dort vorgestellte Nutzung des KC zur elementaren Behandlung von Schwingungsvorgängen konntet Ihr bereits im Heft 2/87 kennenlernen.

Weiter wurden der Einsatz des KC beim Lösen physikalischer Aufgaben, bei der Behandlung von Bewegungsvorgängen mit Luftwiderstand und weitere Einsatzgebiete in der POS und EOS vorgestellt. In einem abschließenden Vortrag informierten wir die Tagungsteilnehmer über unsere Artikelreihe "Programmieren - leichtverständlich" und über die geplante Herausgabe unseres BASIC-EXTRA-Heftes.

**impuls 68 ruft Euch auf:**

**Nehmt teil am Wettbewerb um den Schülerpreis der Physikalischen Gesellschaft der DDR!**

Mit diesem Preis, der erstmals 1982 verliehen wurde, sollen talentierte Schüler angeregt werden, sich intensiv und tiefgreifend mit physikalisch(-technischen) Fragestellungen auseinanderzusetzen sowie Realisierungsmöglichkeiten ihrer Anwendung zu zeigen.

Als Arbeiten können Ergebnisse der wissenschaftlich-praktischen Arbeit, des fakultativen Physikunterrichts, der Beschäftigung in Arbeitsgemeinschaften, der außerschulischen Freizeitbeschäftigung, von Hausarbeiten und der MMM-Bewegung eingereicht werden.

Die gesellschaftliche Nützlichkeit der Arbeit sollte nachgewiesen werden und kann sich z.B. zeigen in

- einer Weiterentwicklung von Geräten für den obligatorischen und fakultativen Physikunterricht und deren Anwendung,

- der Realisierung eines Teilvorhabens innerhalb des Planes Wissenschaft und Technik,
- der unmittelbaren Verbesserung der Produktion.

Die Physiksektionen der Universitäten und Hochschulen, die Institute der AdW sowie Großbetriebe mit ihren Mitgliedern der Physikalischen Gesellschaft sind bei Anforderung zur Unterstützung bereit. Das betrifft auch die Nutzung von Geräteausrüstungen, soweit das möglich ist.

Wendet Euch auch an Eure Fachlehrer, die sicher für Eure Probleme und Wünsche ein offenes Ohr haben.

Zur Teilnahme anerkannt werden Arbeiten aus allen Teilgebieten der Physik. Elektronische, mikroelektronische und Computerlösungen technischer und pädagogischer Fragestellungen werden dann anerkannt, wenn dabei physikalische Sachverhalte umgesetzt bzw. verdeutlicht wurden.

Es sollte jedoch niemand dem Irrtum erliegen, daß heute nur noch mit Mikroelektronik und Computertechnik preisverdächtige Physik betrieben werden kann. Wir weisen ausdrücklich auch auf andere Gebiete der Physik hin, z.B. auf die Optik, die Festkörperphysik und die Thermodynamik.

Für alle, die am Wettbewerb um den Schülerpreis teilnehmen wollen, veröffentlichen wir nachstehend die

## Teilnahmebedingungen

1. Teilnahmeberechtigt am Wettbewerb um den Schülerpreis sind Schüler der Abiturstufe der EOS, der Spezialschulen und -klassen sowie der Klassen Berufsausbildung mit Abitur der Berufsschulen.
2. Die Arbeiten sind mit Schreibmaschine anzufertigen (30 Zeilen mit 60 Anschlägen je Zeile). Sie sollen einen Umfang von zehn Seiten nicht überschreiten. Jede Arbeit ist in doppelter Ausführung einzureichen.
3. Jede Arbeit enthält einen theoretischen Teil und die Beschreibung der praktischen Untersuchungen. Der theoretische Teil weist ein tiefes Verständnis der zugrundeliegenden Gesetzmäßigkeiten aus. Aus ihm wird ersichtlich, daß der (die) Bearbeiter das Experimentieren bzw. das Konstruieren beherrscht(en).

4. Die Arbeiten sind übersichtlich gegliedert. Experimentieranordnungen oder Geräteanordnungen können vom Autor vorgeführt werden. Fotografien über diese Geräte sind beizufügen.
5. Skizzen und Diagramme sind entsprechend den Normen des Technischen Zeichens auszuführen. Systemübersichten, Berechnungen, Fotografien sind zweckmäßig in die Arbeit einzufügen.
6. Jede Arbeit ist mit einer eidesstattlichen Erklärung darüber zu versehen, daß sie vom Autor (Autorenkollektiv) selbständig angefertigt wurde.
7. Die Fachlehrer, wissenschaftlichen Einrichtungen des Hochschulwesens, der Industrie oder der Akademie der Wissenschaften können Wettbewerbsteilnehmer unterstützen, z.B. durch Bereitstellung von Experimentiergeräten, Meßeinrichtungen, von Literatur.
8. Der Arbeit ist beizufügen, durch wen sie betreut wurde.
9. Die Arbeiten sind jedes Jahr bis zum 25. Oktober (Datum des Poststempels) in doppelter Ausführung an folgende Adresse zu senden:

Fachverband Schulphysik der Physikalischen Gesellschaft  
der DDR

Pädagogische Hochschule Erfurt

Sektion Mathematik/Physik

Prof.Dr. K. Jupe

Nordhäuser Str. 63

Erfurt

5064



Der Schülerpreis der Physikalischen Gesellschaft der DDR 1987 wurde an Claude Violet von der EOS "Klement Gottwald" in Berlin für seine Arbeit "Entwicklung eines digitalen Universalzählers" vergeben.

Die Arbeit entstand als Weiterentwicklung eines MMM-Exponates in der zwölften Klasse, die Claude im Juli 1986 abschloß. Frau Dr. Jacobi, Fachlehrerin für Physik und Mathematik, regte Claude zu Beginn der zwölften Klasse an, für die Schulmesse einen mehrstelligen Zähler als zentralen Bestandteil einer Besucherzähleinrichtung zu entwickeln und herzustellen.

Claude verfügte zu diesem Zeitpunkt bereits über einige Erfahrungen beim Entwickeln von Geräten, hatte er doch bereits in der elften Klasse gemeinsam mit seinem Mitschüler Carsten Mundt zwei Geräte für den Physikunterricht ersonnen:

- ein Gerät zur Bestimmung des Planck'schen Wirkungsquantums, welches als Weiterentwicklung eines Vorschlages aus der Fachzeitschrift "Physik in der Schule" entstand,
- ein Leuchtdiodenfeld zur Erzeugung monochromatischer Strahlung für optische Versuche in Diapositivgröße. Der wesentliche Vorteil gegenüber der Erzeugung monochromatischer Strahlung durch Filter und Diaprojektor besteht in der höheren Lichtausbeute, die den Verdunklungs- und Adaptationsaufwand erheblich senkt.

Claude griff die Idee seiner Lehrerin auf und entwickelte in einem halben Jahr nach intensivem Literaturstudium den Zähler. Nachfolgende Modifikationen und Verbesserungen zur Nutzung aller Möglichkeiten der verwendeten Schaltkreise führten zu einem Zähler mit folgenden Eigenschaften:

- Zählung positiver wie negativer, externer wie interner Impulse,
- Frequenzmessung mit Torzeit 1s und 1/10s,
- Periodendauermessung mit Frequenznormal 1MHz und 1kHz,
- Zeitmessung mit Anzeige in ms oder s,
- einschaltbare Wiederhol Sperre, um Doppelmessungen extrem dicht aufeinanderfolgender Vorgänge zu vermeiden,
- digitale Meßwertzwischen speicherung und automatische Meßwertwiederholung,
- sechsstellige LED-Anzeige,
- Frequenzgenerator, Teilung der 1Mhz-Quarzfrequenz durch n, mit n zwischen 1 und  $10^6$ .



Verleihung des Schülerpreises an Claude Violet durch Prof. Rompe, Vorsitzender der Physikalischen Gesellschaft der DDR (Foto: AdW/Fröbus)

Außerdem werden ungespeichert vorlaufende Nullen ausgeblendet. Durch zuschaltbare Einheiten ist eine optische und akustische Signalisierung des Eingangssignals möglich. Das Gerät zeichnet sich durch eine geringe Stromaufnahme aus, die auch durch eine gepulste Anzeige realisiert werden konnte. Das Gerät ist leicht für Betriebsspannungen zwischen 3 und 15 Volt entsprechend der Meßaufgabe und der zuzuschaltenden Einheiten auslegbar.

Das von Claude entwickelte Gerät braucht einen Vergleich mit kommerziellen Produkten dieser Art nicht zu scheuen. Eine Gerätedokumentation wurde in den Zentralen Nachweisspeicher Angewandte Mikroelektronik aufgenommen, den wir Euch in einer unserer nächsten Ausgaben vorstellen wollen.

Die besondere Leistung von Claude liegt darin, daß er für den Bau des Gerätes ausschließlich einfache integrierte Schaltkreise aus der Produktion sozialistischer Länder verwendete. Dadurch erhöht sich zwar der Schaltungsaufwand gegenüber der Verwendung von Spezialschaltkreisen, aber es ergeben sich einige wesentliche Vorteile:

- bedeutend geringerer Anzeigetreiberaufwand, der zur Stromersparnis führt,
- verwendete Schaltkreise sind leicht zu erhalten, dadurch zahlreiche Austauschvarianten je nach Angebot möglich, auch mit Bastlertypen (hohe Anwenderfreundlichkeit),
- sichere Arbeit des Gerätes über einen weiten Spannungsbereich ermöglicht Zuschaltung von Baugruppen.

Am Anfang stand lediglich die Anregung durch die Fachlehrerin Frau Dr. Jacobi, einen elektronischen Zähler für die Schulmesse zu bauen. Am Ende lag durch Verbesserung des Zählers und Ausnutzung aller Potenzen der verwendeten Schaltkreise eine ausgereifte Entwicklung, die den Vergleich mit kommerziellen Produkten nicht zu scheuen braucht. Das veranlaßte Frau Dr. Jacobi, Claude mit dem Wettbewerb um den Schülerpreis der Physikalischen Gesellschaft der DDR vertraut zu machen und ihm vorzuschlagen, eine Arbeit über seine Geräteentwicklung zur Teilnahme am Wettbewerb einzureichen. Sie wurde von der Jury gewogen und für die beste des vergangenen Jahres befunden. (Fortsetzung auf S. 12)



Noch steht es, das Haus in der Ballhausgasse 6, Ecke Zwätzen-  
gasse, obwohl es im Gebälk knarrt und das Dach nicht mehr  
Schnee und Eis abhalten kann.

In der oberen Etage aber gibt es noch zwei Räume, die trocken  
bleiben, wo ein mächtiger geschnitzter Balken das Zimmer  
durchzieht und die Hauswand mit dem Fußboden einen stumpfen  
Winkel bildet:  $96^\circ$  - diese verpaßten den Räumlichkeiten das At-  
tribut "schiefe Wohnung". Und in besagter wohnte vor etwa 150  
Jahren Jenas bekanntester Student: **Friedrich Wilhelm Demelius**,  
allgemein **Bierlatte** genannt.

Ihm zu Ehren ist an der Hauswand ein Schild angebracht:

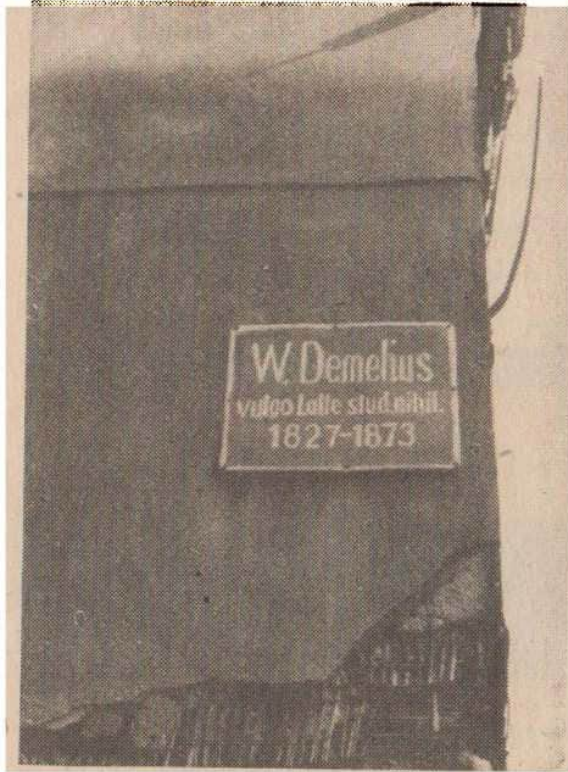
W. Demelius  
vulgo latte stud. nihil  
1827 - 1873

Gewiß eine Ausnahme unter den hundert Gedenktafeln zu Ehren  
würdiger Poeten, Philosophen und Wissenschaftlern der alten  
Universitätstadt. Auch besagtes Ballhausgassenappartement  
liegt in denkwürdiger Umgebung; nur wenige Schritte vom Hotel  
"Zum Schwarzen Bären", in dem einst Junker Jörg alias Martin  
Luther mit Schweizer Studenten diskutierte, und gegenüber dem  
ehemaligen Hotel "Victoria", in dem der einstmalige expressio-  
nistische Lyriker Johannes R. Becher "in stärkstem Winterfrost  
bei offenem Fenster und in Hemdsärmeln seitenweise Verse herun-  
terschrieb", zudem vielleicht 100 Schritte von einem Wohnort  
Schillers und des Wissenschaftlers Ritter entfernt mit dem "Ve-  
getarischen Speisehaus" vis-a-vis, in dem Liebknecht Ostern 1916  
sprach...

Hier also lebte jener Student, der nichts studierte, aber den-  
noch alle vier Fakultäten belegt hatte und von Semester zu Se-

mester eilte.

Die verstaubten Matrikel der Alma mater bescheinigen es, besagter Demelius, Pfarrerssohn aus dem nur eine Fußstunde von Jena entfernten Cospeda, jenem Ortchen, wo Napoleon Europas damaliges Schicksal entschied und das etwa zu dem Zeitpunkt, als der ewige Student noch in den Windeln lag, jener Demelius also wurde 1827 an der hiesigen Universität immatrikuliert und war über einige Jahrzehnte hinweg Studiosus.



Hier wohnte der ewige Student Friedrich Wilhelm Demelius, genannt Bierlatte.

Noch heute gilt es eine Reihe von Legenden um diesen ewigen Studenten und nicht immer ist ihr Wahrheitsgehalt gesichert. Fest steht aber, daß es Demelius mit dem Studieren nicht so ganz ernst nahm. Mehr als in die Hörsäle zog es ihn in Jenas Kneipen und die den Universitätsort umgebenden Bierdörfer, ganz besonders nach Ziegenhain. So war er dann auch kaum einem unter dem bürgerlichen Namen Demelius bekannt, wohl aber war der schlichte Name "Bierlatte" in ganz Jena ein Begriff. Ja, er verstand es, beides zu verbinden, das Leben und das Stu-

dium, wie ein Eintrag während seines 48. Semesters im Disziplinarregister der Universität bezeugt: "gegen die stud. Demelius und Consorten wegen Beschädigung fremden Eigentums und Beleidigung eines Nachtwächters."

Geldschwierigkeiten hatte die Bierlatte kaum. Seine reiche Tante soll ihm versprochen haben, ihn während seiner Studienzeit finanziell zu unterstützen. Und so konnte dann der Studiosus Demelius im Kreise seiner liebsten Saufkumpane im Jenaer Burgkeller den Entschluß fassen, Zeit seines Lebens "Studente" zu bleiben und als solcher in der Universitätsstadt Mauern zu sterben.

Er hat ihn gehalten, den Vorsatz. Am 18. Juni 1874 wurde der Student Demelius, inzwischen "Alte Latte" genannt, auf dem Jenaer alten Friedhof begraben.

Neben Eintragungen in den Matrikelbüchern und in diversen herzoglich-weimarschen Personalakten, sind einige seiner unbezahlten Wirtshausrechnungen und ein Report zu der Laudatio "Lattes" auf das Universitätsjubiläum von 1858, gehalten im Jenaer Burgkeller, die wegen "trunkenem Zustande des Redners" abgebrochen werden mußte, erhalten geblieben. Demelius war damals Student im 70. Semester. Ja, und seine beiden Bücher mit den Sauf- und Studentenliedern existieren noch. In einem, mit dem treffenden Titel: "Jena'sche Luft: Eine Sammlung wildgewachsener Studentenlieder als Beitrag zur akademischen Sittengeschichte dargebracht von der Alten Latte. Weimar, T.F.A. Kühn, 1858" heißt es charakteristisch:

Und in Jena auf der Rose  
Ist der Unsinn gar zu große.  
Junger Orthodox,  
Geh' nach Haus und Ochs',  
Aber Abends acht Uhr auf die Kneipe!

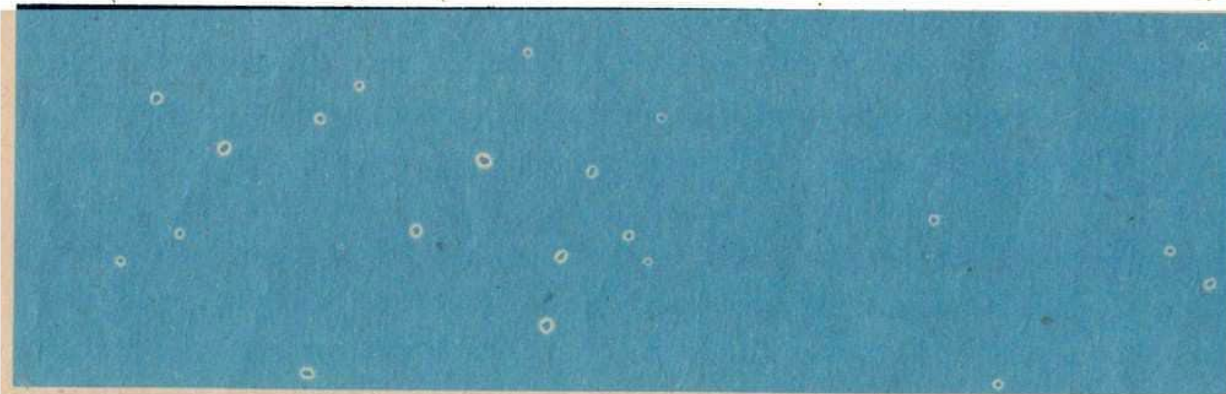
und an anderer Stelle:

Wenn einer geht nach Ziegenhain  
und kommtsaunüchtern wieder heim  
Und wälzet nicht im Drecke sich  
Nä das ist doch wahrlich lächerlich!

Heute wird das Haus Ballhausgasse 6 von Studenten und Assistenten der FSU-nebst einigen Negativbewohnern, alle (die ersten) trinken fleißig Bier, singen bisweilen auch. Wer weiß, vielleicht wird einer von ihnen auch ein ewiger Student. Dank der Staats-200-Mark geht es ja sogar ohne Tante. Auch Studenten brauchen ihre Idole - wie wäre es mit Demelius?

PS: "So existierte zu dieser Zeit neben dem gelehrten Studenten aus Göttingen und dem weltmännischen Studenten aus Leipzig auch noch ungebrochen der alte Rauf- und Saufbruder aus Jena, den der Minister Goethe im Weimarer Theater oft unter Androhung von Husaren zur Ordnung rufen mußte."

Karl Barth



Fortsetzung von Seite 8:

Wer sich für das entwickelte Gerät interessiert oder wer in einem Erfahrungsaustausch über die Teilnahme am Wettbewerb um den Schülerpreis treten will, der wende sich bitte an folgende Adressen:

Claude Violet  
Lessingstr.  
Berlin  
1183

EOS "Klement Gottwald"  
Straße am Plänterwald  
Berlin  
1193

Vielleicht können wir dann im nächsten Jahr über einen Preisträger oder Teilnehmer berichten, der durch einen solchen Erfahrungsaustausch zur Teilnahme am Wettbewerb angeregt wurde.

## 1. Problemstellung

Zur grafischen Behandlung der Verformung symmetrischer Rechteckimpulse durch passive RC-Glieder ist ein BASIC-Programm zu entwickeln, in welchem die bei der Erfassung der Umladevorgänge von Kondensatoren auftretenden Differentialgleichungen umgangen werden. Damit werden der physikalische Sachverhalt, seine mathematische Beschreibung und das Programm für Schüler auf der Grundlage ihrer Kenntnisse aus dem Physik- und Mathematikunterricht verständlich.

## 2. Mathematisch-physikalische Grundlagen

Rechteckimpulse werden durch die Bauelemente, die von ihnen passiert wurden, verformt. Von entscheidendem Einfluß sind die den Bauelementen anhaftenden Größen ohmscher Widerstand  $R$ , Kapazität  $C$  und Induktivität  $L$ .

Jeder Rechteckimpuls ist aus einer Reihe sinusförmiger Schwingungen mit verschiedenen Frequenzen zusammengesetzt. Werden nun aus einem derartigen Frequenzspektrum bestimmte Frequenzen weniger verstärkt oder gänzlich unterdrückt, so wird der angelegte Impuls verformt. Gleichzeitig tritt eine Veränderung der Amplitude des Eingangsimpulses ein. Letzteres soll in diesem Beitrag aber unberücksichtigt bleiben; ebenso das Verhalten von RL-Gliedern.

### 2. 1. Laden und Entladen von Kondensatoren

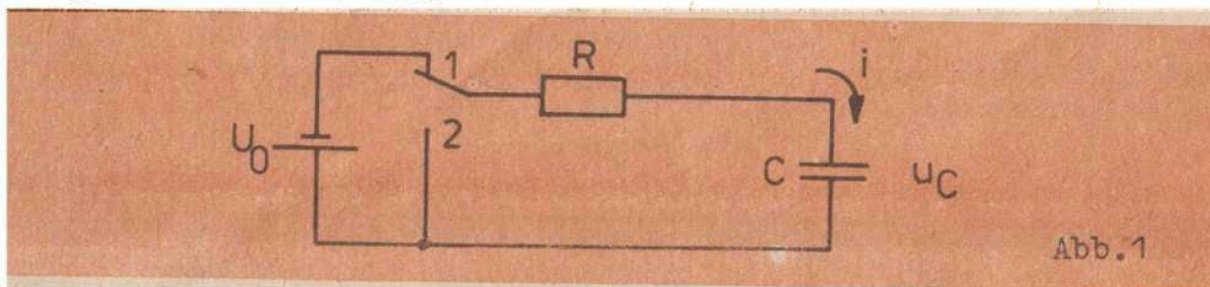
An Kondensatoren gibt es keine sprunghaften Spannungsänderungen. Als Bezugszeit zur Berechnung der Umladevorgänge betrachtet man die Zeitkonstante

$$(1) \quad \tau = R \cdot C .$$

Die Spannungsänderung wird durch

$$(2) \quad u_{C_{\text{neu}}} = u_{C_{\text{alt}}} + \Delta u$$

beschrieben. Zur Erfassung des Lade- bzw. Entladevorganges müssen die entsprechenden Änderungen  $\Delta u$  der Kondensatorspannung berechnet werden.



Aus den Definitionen  $Q = C \cdot U$  und  $Q = I \cdot t$  folgt

$$(3) \quad \Delta u_C = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{\Delta(I \cdot t)}{C} = \frac{i}{C} \cdot \Delta t$$

In Schalterstellung 1 (Abb. 1) gilt

$$(4) \quad U_0 = u_C + i \cdot R \quad \text{bzw.}$$

$$(5) \quad i = \frac{U_0 - u_C}{R}.$$

Wird (5) in (3) eingesetzt, so steht für den Ladevorgang unter Berücksichtigung von (1)

$$(6) \quad \Delta u = \frac{U_0 - u_C}{\tau} \cdot \Delta t$$

zur Verfügung.

Die entsprechenden Überlegungen führen in Schalterstellung 2 zur Spannungsänderung

$$(7) \quad u = - \frac{u_C}{\tau} \cdot \Delta t$$

beim Entladen des Kondensators.

Für die Änderung der Stromstärke beim Laden bzw. Entladen folgt aus dem OHMschen Gesetz

$$(8) \quad i = - \frac{\Delta u}{R}.$$

Damit stehen mit den Beziehungen

$$(2') \quad u_C = u_C + \Delta u, \quad \text{sowie (6) und (7)}$$

$$(9) \quad i = i + \Delta i, \quad \text{sowie (8)}$$

$$(10) \quad t = t + \Delta t$$

die Grundlagen zur Programmierung von Kondensator-Umladevor-

gängen zur Verfügung. Der Leser sollte sich daran versuchen! Die zugehörige grafische Darstellung wird in Abbildung 2 skizziert.

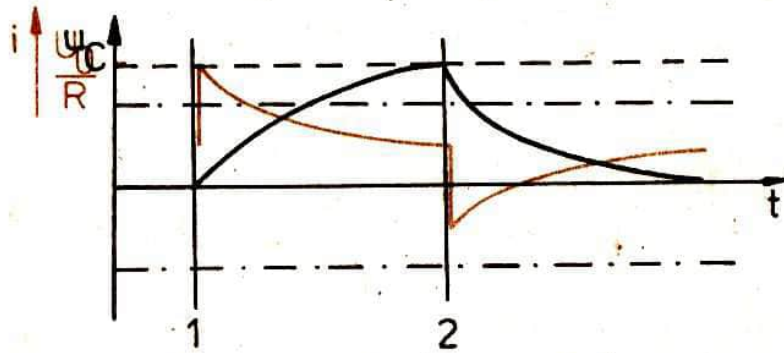


Abb.2

Die mit Definition (1) eingeführte Zeitkonstante  $\tau$  gibt beim Ladevorgang die Zeit an, in welcher sich ein Kondensator C über einen Widerstand R auf ca. 63 % der Ladespannung aufgeladen hat. Beim Entladen wird mit  $\tau$  die Zeit erfaßt, in der die Kondensatorspannung auf ca. 37 % ihres Anfangswertes abgesunken ist.

## 2.2. Tiefpaß-Verformungen

Ein RC-Tiefpaß wird aus einem ohmschen Widerstand R in Reihenschaltung und einer Kapazität C in Parallelschaltung gebildet (Abb. 3).

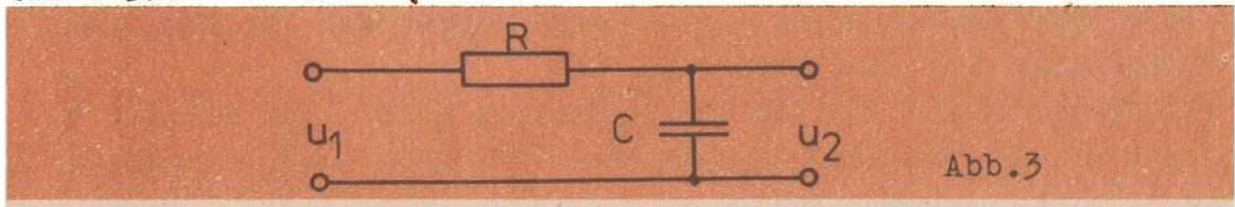


Abb.3

Diese Schaltung läßt sich auch als Spannungsteiler darstellen (Abb. 4).

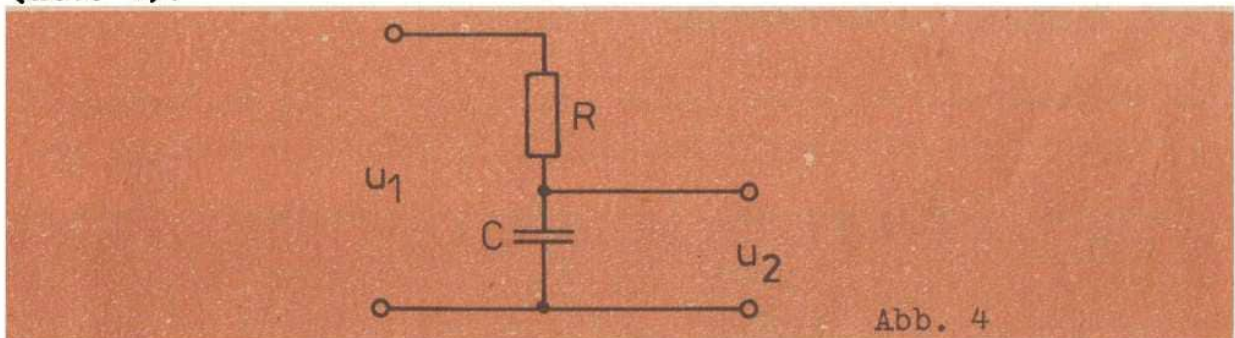
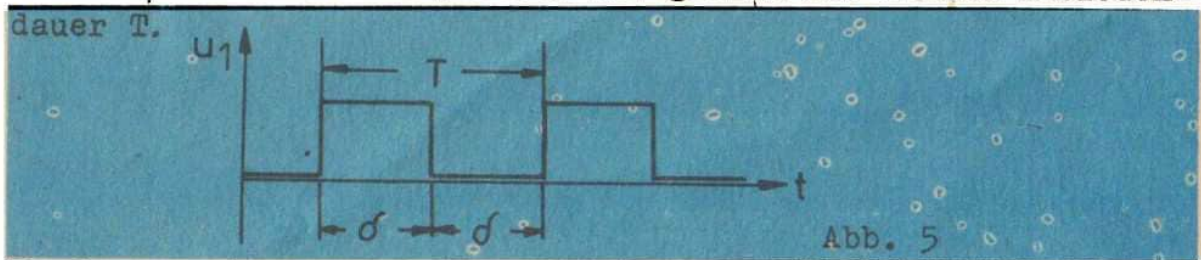


Abb. 4

Ein Tiefpaß dämpft tiefe Frequenzen weniger als hohe. Die an Rechteckimpulsen auftretenden Verformungen sind deshalb auf verkleinerte Amplituden der hohen Frequenzen zurückzuführen. Anstelle des Schalters in Abb. 1 wird eine Rechteckspannungs-

quelle mit symmetrischem Spannungsverlauf verwendet, d.h. die Zeitdauer  $\delta$  einer Halbperiode ist gleich der halben Periodendauer  $T$ .



Im folgenden wird der Verlauf der Ausgangsspannung  $u_2$  in Abhängigkeit vom Eingangsimpuls  $u_1$  für verschiedene Größenbeziehungen zwischen  $\tau$  und  $\delta$  angedeutet; genauere Untersuchungen sollen durch den Einsatz des Kleincomputers ermöglicht werden. Ist  $\tau \ll \delta$ , so kann der Kondensator in gegenüber  $\delta$  kurzer Zeit völlig umgeladen werden. Der Ausgangsspannungsverlauf nähert sich der Form des Eingangsimpulses (Abb. 8).

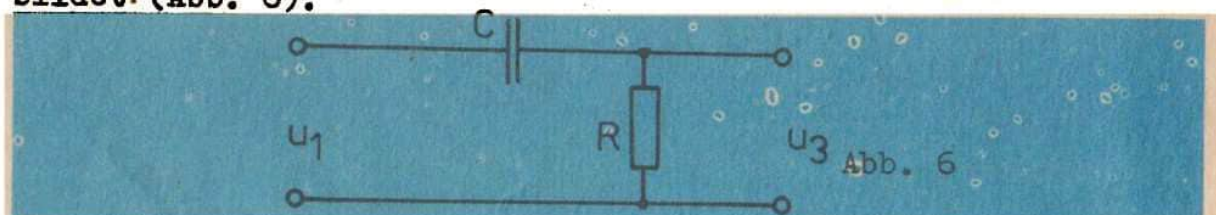
Wird  $\tau \approx \delta$ , so erfolgt während der gesamten Impulsdauer  $\delta$  ein Aufladen und danach bis zum erneuten Beginn des Eingangsimpulses ein Entladen des Kondensators mit dem in Abb. 2 dargestellten typischen Spannungsverlauf (vergl. Abb. 9!).

Für  $\tau \gg \delta$  kann während der Impulsdauer  $\delta$  nur ein sehr kleiner Bereich der Ladekurve und danach bis zum erneuten Beginn des Eingangsimpulses nur ein sehr kleiner Teil der Entladekurve durchlaufen werden. Der Spannungsverlauf für den Ausgangsimpuls ist dann nahezu linear.

Wird demnach ein Tiefpaß mit gegebenen Werten für  $R$  und  $C$  betrachtet, so ist wegen  $\tau \gg \delta$  ( $\Rightarrow R \cdot C \gg T/2 \Rightarrow R \cdot C \gg \frac{1}{2f} \Rightarrow R \cdot C \cdot 2 \cdot f \gg 1$ ) festzustellen, daß dieser für hohe Frequenzen als Integrierglied wirkt (Abb. 10).

### 2.3. Hochpaß-Verformungen

Ein RC-Hochpaß wird durch einen Kondensator  $C$  in Reihenschaltung und einen ohmschen Widerstand  $R$  in Parallelschaltung gebildet (Abb. 6).



Auch diese Schaltung stellt einen Spannungsteiler dar (Abb. 7).



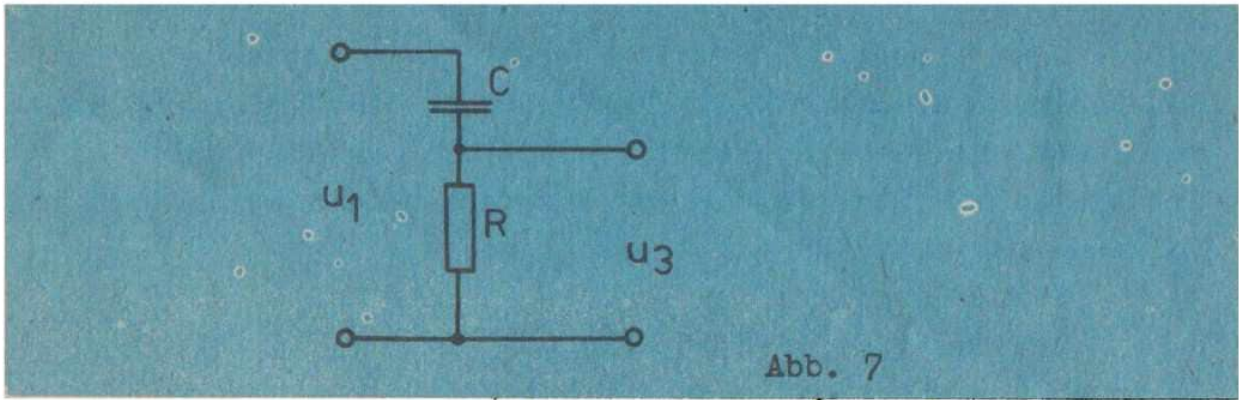


Abb. 7

Eine Kapazität bietet hohen Frequenzen einen geringen Widerstand. Da die Teilspannungen den Widerständen proportional sind und die Stromstärke durch R und C gleich ist, wird mit wachsender Frequenz die Ausgangsspannung  $u_3$  zunehmen. Tiefe Frequenzen werden deshalb nur wenig zur Form des Ausgangsimpulses beitragen.

Über den Verlauf der Ausgangsspannung für die bereits beim Tiefpaß gewählten Größenbeziehungen zwischen  $\tau$  und  $\delta$  liefert die Betrachtung der Spannung am Widerstand R Aufschluß. Diese ist dem in Abb. 2 erfaßten Lade- bzw. Entladestrom proportional.

Ist  $\tau \gg \delta$ , so erfolgt während der einzelnen Eingangsimpulse nur eine geringfügige Änderung der Stromstärke. Die Form der Ausgangsimpulse weicht nur geringfügig vom Rechteckimpuls ab und nähert sich diesem mit gegenüber  $\delta$  größer werdender Zeitkonstante  $\tau$  (Abb. 11).

Wird  $\tau \approx \delta$ , so erfolgt eine stärkere Umladung des Kondensators über den Widerstand. Der Ausgangsimpuls nähert sich der Form des Lade- bzw. Entladestromes in Abb. 2. (Vergl. Abb. 12!)

Für  $\tau \ll \delta$  wird der Kondensator während der Zeit T ganz umgeladen. Vor Eintritt des L-R-Spannungssprungs ist demnach der Kondensator C völlig entladen. Da es am Kondensator keine sprunghaften Spannungsänderungen gibt, muß dieser Eingangsspannungssprung einen ebensolchen am Ausgang auslösen. Es erfolgt dann eine sehr rasche Aufladung des Kondensators auf den Wert der Eingangsspannung, wobei die Teilspannung  $u_3$  am Widerstand auf 0 Volt sinkt. Gleiche Vorgänge entstehen beim H-L-Spannungssprung des Eingangsimpulses.

Ein Hochpaß wirkt für tiefe Frequenzen als Differenzierglied (Abb. 13).

### 3. Programmaufbau

Das Programm ermöglicht die Untersuchung der Verformung symmetrischer Rechteckimpulse durch RC-Hoch- und-Tiefpässe anhand der grafischen Darstellung der Eingangs- und Ausgangsimpulse. Folgende Parameter können variiert werden:

Zeitkonstante  $\tau$  in s

Zeitdauer einer Halbperiode  $\delta$  in s .

Da im Zusammenhang mit aussagekräftigen Untersuchungen nur das Verhältnis dieser beiden Zeiten von Bedeutung ist, wird im Programm auf die Festlegung einer Zeiteinheit verzichtet; bei Eingabe von  $\tau$  und  $\delta$  ist vom Nutzer auf die Wahl gleicher Einheiten zu achten!

Das Hauptprogramm (17...31) organisiert den Aufruf der Unterprogramme "KOORD.-SYSTEM + RECHTECKIMPULS" (64...97)

"EINGABE" (99...111) und

"BERECHNUNG" (47...62)

Das Unterprogramm "GRAFIK" (38..45) wird vom UP "BERECHNUNG" bedient.

Es werden zunächst 2 Perioden des zu untersuchenden Vorgangs dargestellt, wobei zwischen der Aufzeichnung des Verlaufs der Ausgangsspannung beider Pässe bzw. nur eines der Pässe gewählt werden kann (102, 103), (Abb. 14).

Danach ist die Fortsetzung der Darstellung des weiteren Spannungsverlaufs während der Perioden 3 und 4, anschließend 5 und 6 usw. möglich (26).

Die Fortsetzung der grafischen Darstellung ist durch "Überzeichnen" der Grafik, aber nach deren Löschen auch mit verlängerter Zeitachse möglich (28).

Da die anderen Unterprogramme keine Besonderheiten aufweisen, soll kurz auf das UP "BERECHNUNG" eingegangen werden. In den Zeilen 48 bzw. 55 erfolgt jeweils die Berechnung der Änderung der Kondensatorspannung anhand der Gleichungen (6) bzw. (7), die Zeilen 49 und 56 beziehen sich auf die Relationen (2) bzw. (2'), in den Zeilen 50 und 57 widerspiegelt sich die Beziehung (10) aus dem Abschnitt 2.1. dieses Beitrages.

Den Spannungsteilern in Abb. 4 und Abb. 7 ist die Gültigkeit der Gleichung  $u_2 - u_3 = u_1$  zu entnehmen, wobei  $u_1$  für die Eingangsspannung steht, sowie für die Ausgangsspannungen am Tiefpaß  $u_2$  und am Hochpaß  $u_3$ . Auf dieser Gleichung beruht die

Berechnung der Hochpaßspannungen in den Zeilen 51 und 58; dabei ist das Vorzeichen des H-L-Sprunges zu beachten (Siehe Abb. 14!). Die Hilfsvariable F zählt die Halbperioden, damit läßt sich der Pegel des Rechteckimpulses abtasten. Die Hilfsvariable N steuert den Aufruf des UP "GRAFIK" nach der Berechnung von jeweils 10 aufeinanderfolgenden Momentanwerten der Ausgangsspannung. Die Hilfsvariable K zählt die Doppelperioden; durch sie wird die Rückkehr ins Hauptprogramm nach der Darstellung von jeweils 2 Perioden veranlaßt. Die gewählte Reihenfolge der Unterprogramme und der Übergang zu niedrigen Zeilennummern erfolgt im Interesse eines schnellen Programmlaufes.

#### 4. Programm-Listing

```

1 !
2 !   UEBUNGSPROGRAMM "RC-PAESSE"
3 !       10.03.1987
4 ! FRIEDRICH-SCHILLER-UNIVERSITAET JENA
5 ! SEKTION PHYSIK   MB PHYSIKMETHODIK
6 !
7 !       AUTOR: DR. H.-J.LOEHR
8 !
9 WINDOW0,31,0,39:CLS:LOCATE 9,0
10 PRINTSPC(8)"*****"
11 PRINTSPC(8)"*                               *"
12 PRINTSPC(8)"*       R-C-PAESSE           *"
13 PRINTSPC(8)"*                               *"
14 PRINTSPC(8)"*****"
15 !
16 !***** HAUPTPROGRAMM *****!
17 PAUSE 60:COLOR 7,1:CLS
18 GOTO21
19 GOSUB68:!**** UP KOORD.-SYST.OHNE ORDINATENACHSE ****
20 GOTO24
21 GOSUB64:!**** UP KOORD.-SYSTEM ****
22 IF L$="Y" THEN24
23 GOSUB 99:!**** UP EINGABE ****
24 GOSUB47:!**** UP BERECHNUNG ****
25 WINDOW 25,31,12,30:COLOR 0,4:CLS
26 INPUT"Darstellung fort- setzen? Y/N   ";D$:IF D$="N" THEN STOP
27 PAUSE 5:CLS
28 INPUT"Grafik loeschen?      Y/N   ";L$:IF L$("<"N" AND L$(">"Y" THEN28
29 IF L$="N" THEN PAPER 7:CLS:WINDOW0,31,0,39:GOTO24
30 WINDOW0,31,0,39:PAPER 7:CLS:GOTO19
31 END
32 !
33 !
34 !*****!
35 !***** UNTERPROGRAMME *****!
36 !
37 !***** UP GRAFIK *****!
38 X=10+INT(T/D*76+0.5)-K*304

```

```

39 Y=120+INT(U*105+0.5)
40 Z=120+INT(H*105+0.5)
41 IF E=1 THEN44
42 IF E=2 THEN45
43 PSET X,Y,1:N=0
44 PSET X,Z,7:N=0:RETURN
45 PSET X,Y,1:N=0:RETURN
46 !***** UP BERECHNUNG *****!
47 F=F+1
48 DU=(U0-U)*DT/TAU
49 U=U+DU:N=N+1
50 T=T+DT
51 H=U0-U
52 IF N<10 THEN48:ELSE GOSUB38
53 IF T<=F*D THEN48
54 F=F+1
55 DU=-U*DT/TAU
56 U=U+DU:N=N+1
57 T=T+DT
58 H=-U
59 IF N<10 THEN55:ELSE GOSUB38
60 IF T<=F*D THEN55
61 IF F<(K+1)*4 THEN47
62 K=K+1:RETURN
63 !***** UP KOORD.-SYSTEM *****!
64 FOR Y=5 TO 245
65   PSET 10,Y,0
66 NEXT
67 PRINTAT(2,1);"u"
68 FOR X=10 TO 315
69   PSET X,120,0
70 NEXT
71 PRINTAT(17,38);"t"
72 FOR M=1 TO 8
73   PRESET M*38+10,120
74   PSET M*38+10,121
75 NEXT
76 FOR X=1 TO 30
77   PSET 10*X,225,3
78 NEXT
79 FOR M=1 TO 3
80   PRESET 10,M*35+120:PRESET 10,120-M*35
81   PSET 11,15+M*35,0
82 NEXT
83 PRINTAT(17,9);"DELTA"
84 FOR X=10 TO 86
85   PSET X,225,2
86   PSET 152+X,225
87 NEXT
88 FOR X=86 TO 162
89   PSET X,121
90   PSET 152+X,121
91 NEXT
92 FOR L=0 TO 105
93 FOR M=0 TO 2
94   PSET 86+M*76,120+L
95 NEXT
96 NEXT
97 RETURN

```

```

98 !***** UP EINGABE *****!
99 WINDOW 25,31,12,30:COLOR 1,7:CLS
100 PRINT"Geben Sie ein!"
101 INPUT"TAU,DELTA:";TAU,D
102 PRINT:PRINT"Wahl des Graphen:"
103 INPUT "nur HOCHPASS .....1nur TIEFPASS .....2  sonst (ENTER)";E
104 PAUSE20:CLS:WINDOW29,31,12,30
105 PRINT"TAU=";TAU/D;"*DELTA"
106 ON E+1 GOTO107,108,109
107 PRINTAT(2,5);"IMPULSFORM NACH HOCHPASS/TIEFPASS":GOTO110
108 PRINTAT(2,10);"IMPULSFORM NACH HOCHPASS":GOTO110
109 PRINTAT(2,10);"IMPULSFORM NACH TIEFPASS"
110 DT=D/760:U0=1
111 RETURN

```

## 5. Beispiele

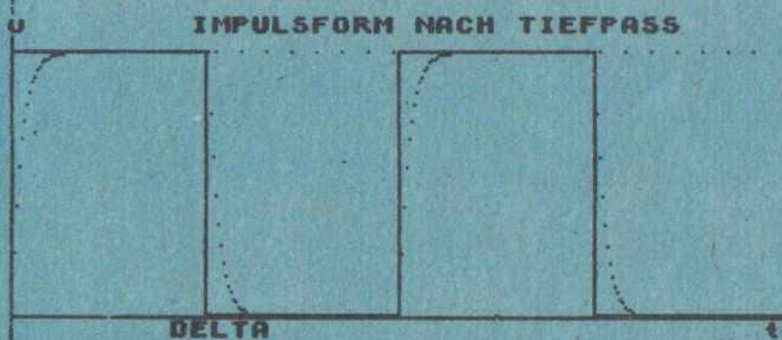


Abb. 8

$\tau:\delta=1:20$

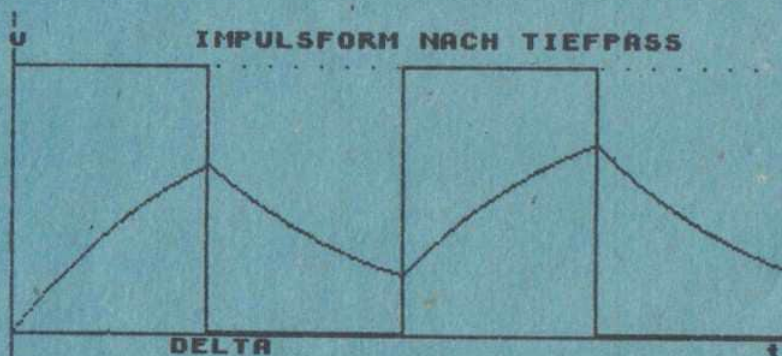


Abb. 9

$\tau:\delta=1:1$

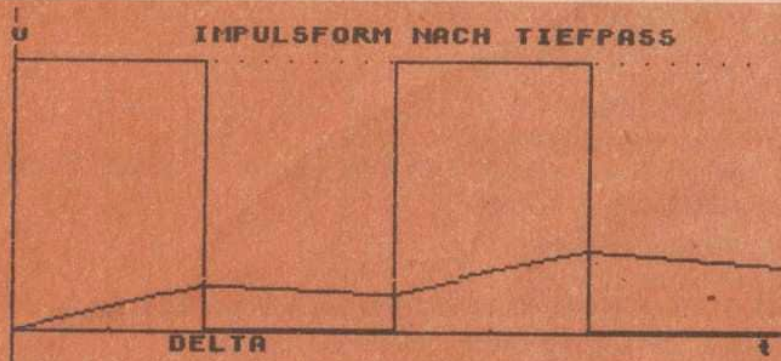


Abb. 10  
 $\tau:\delta=5:1$



Abb. 11  
 $\tau:\delta=10:1$

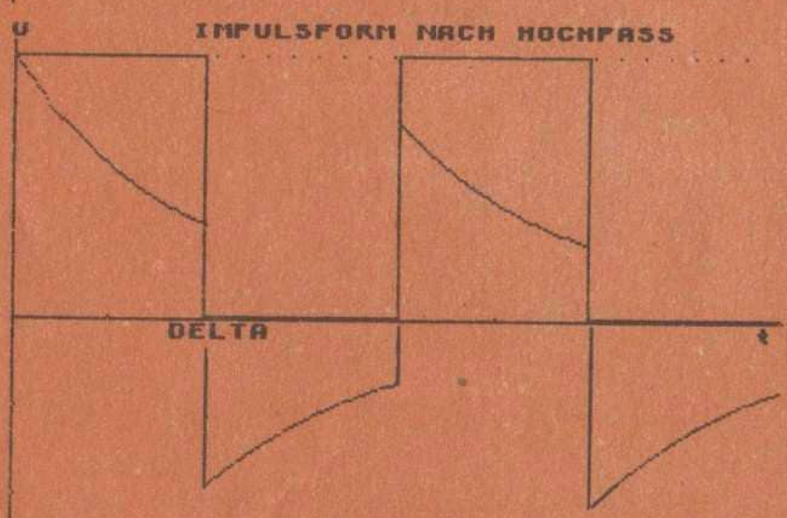
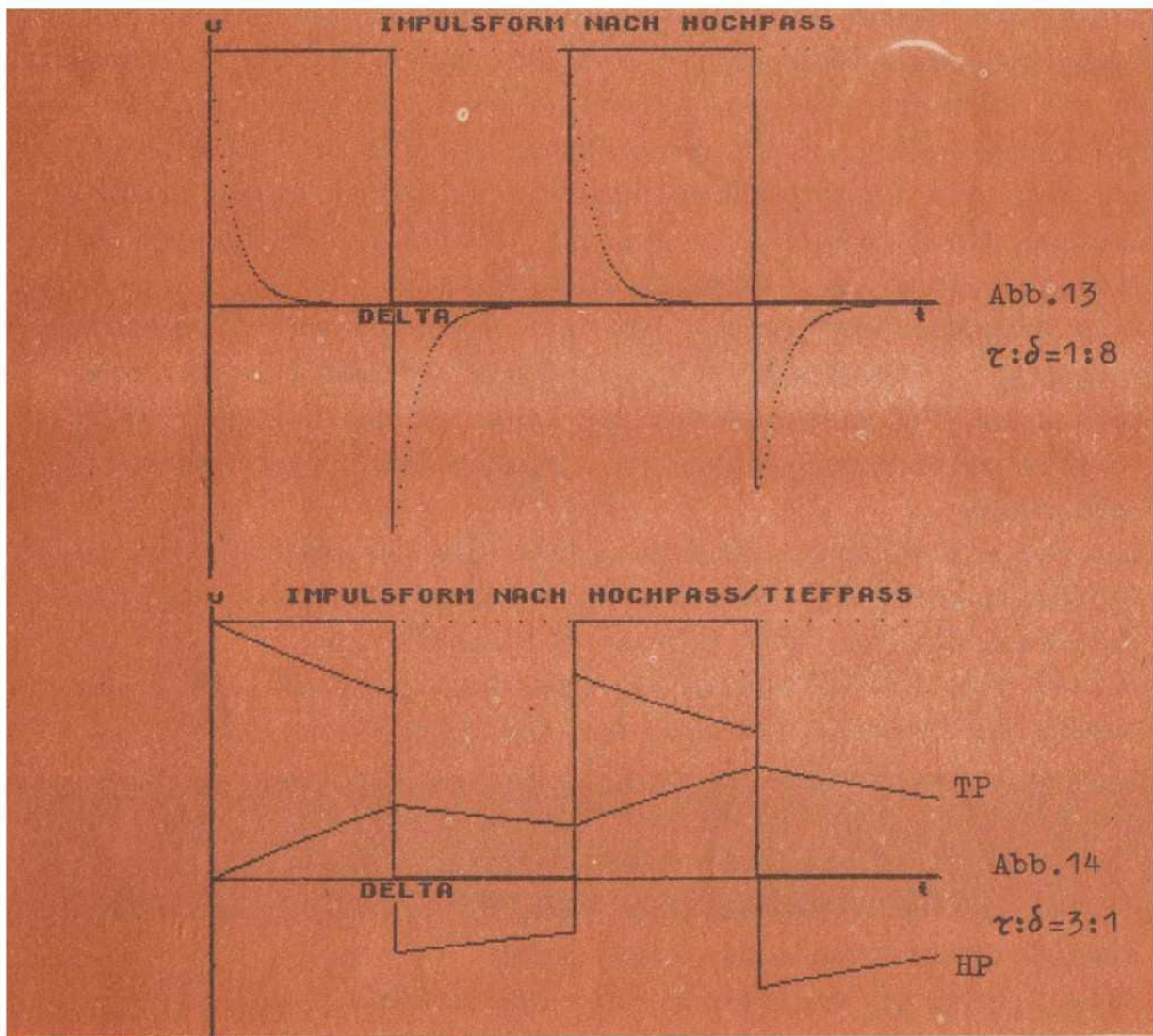


Abb. 12  
 $\tau:\delta=1:1$



## 6. Schlußbemerkungen

Unser Beitrag wählt zur Umgehung des "mathematischen Defizits" vieler Leser dieser Zeitschrift den auch im Artikel des Heftes 2/1987 genutzten computerfreundlichen Ansatz zur iterativen Berechnung als Alternative zur geschlossenen mathematischen Behandlung des zu lösenden Problems. Dieses besteht hier in der Erfassung der Umladevorgänge von Kondensatoren. Dem Leser soll die Tragfähigkeit dieses Lösungsverfahrens verdeutlicht und er zu dessen selbständiger Anwendung angeregt werden. Die Kenntnis, Berücksichtigung, Minimierung und das Rückgängigmachen von Impulsverformungen, die durch RC-Glieder her-

vorgerufen werden, sind besonders in der Digitalelektronik (Rechentechnik, Meßtechnik) von Bedeutung, da hier vorzugsweise mit Rechteckimpulsen gearbeitet wird. Erinnerung sei in diesem Zusammenhang an die Impulsdiagramme für einfache Gatter und komplexe digitale Schaltungen, auf die in einer früheren Artikelreihe dieser Zeitschrift ausführlich eingegangen worden ist (siehe die Jahrgänge 1982/83/84!).

Auch bezüglich der Impulsform nach RC-Pässen sind Einschwingvorgänge zu beachten (vergl. dazu die Bemerkung im Beitrag Heft 2/1987!); diese sollte der Leser anhand der mit dem vorgestellten Programm gegebenen Computer-Simulation genauer untersuchen.

Aus der einleitenden Bemerkung über die Zusammensetzung einer Rechteckschwingung aus einer Reihe sinusförmiger Schwingungen läßt sich die folgende Aufgabe ableiten:

Es ist ein BASIC-Programm zu entwickeln, welches die Veranschaulichung dafür liefert, daß durch den Ausdruck

$$y = \frac{4}{\pi} \left( \sin x + \frac{\sin 3x}{3} + \frac{\sin 5x}{5} + \dots \right)$$

eine Rechteckschwingung erfaßt wird!

Dieses Programm realisiert eine FOURIER-Synthese.

## **Wissenswertes:**

Neuseeland ist weltweit führend auf dem Gebiet der Nutzung geothermaler Energie. Schon 1958 hatte man ein Kraftwerk gebaut, das auf der Basis von Dampf und heißem Wasser arbeitet. Die Anlage in Wairakei kann allein 5% der in Neuseeland benötigten Elektrizität liefern. Neuerdings fand man zur Überraschung der Geochemiker auf der Innenseite einiger Bohrlochverkleidungen eine Schicht Gold. Gold in geothermalen Systemen hatte man bisher in dieser Form nicht beobachtet. Es wird vermutet, daß das Metall einen Komplex mit gelöstem Schwefelwasserstoff bildet, der bei Verringerung des Drucks zerfällt. Die Goldvorkommen in der Tiefe hatte man stets aufgrund der geringen Mengen, die im genutzten Wasser vorkamen, für unwesentlich gehalten. Jetzt muß man davon ausgehen, daß die hydrothermalen Vorräte beachtlich sind.

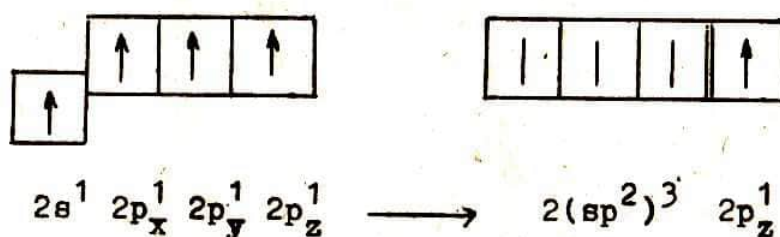


Mit den im letzten Heft beschriebenen Beispielen der optimalen Hybridisierung zum  $sp^3$ -Valenzzustand, die ausnahmslos zu  $\sigma$ -Bindungen führt, sind die Bindungsmöglichkeiten des Kohlenstoffatoms nicht erschöpft.

Bindung im ETHENmolekül:

Die Bindungsenergie der Doppelbindung ist nicht doppelt so groß wie die einer Einfachbindung. Die C-C-Doppelbindung setzt sich also offensichtlich aus unterschiedlichen Bindungsanteilen zusammen.

Im Ethenmolekül sind nur zwei der drei im angeregten Zustand des Kohlenstoffatoms vorhandenen  $2p$ -Elektronen an der Hybridisierung mit dem  $2s$ -Elektron beteiligt; das  $2p_z$ -Orbital bleibt davon ausgeschlossen:



Das Ergebnis ist eine  $sp^2$ -Hybridisierung. Die drei entstandenen Hybridorbitale, deren Form weitgehend mit denen der  $sp^3$ -Hybridisierung übereinstimmt, liegen energetisch günstig, wenn sie sich in die Ecken eines gedachten gleichseitigen Dreiecks ausrichten (Abb. 20). Der Bindungswinkel in dem trigonal genannten Valenzzustand beträgt demzufolge  $120^\circ$

Es besteht nun die Möglichkeit der Durchdringung von jeweils einem  $sp^2$ -Orbital der beiden Kohlenstoffatome untereinander

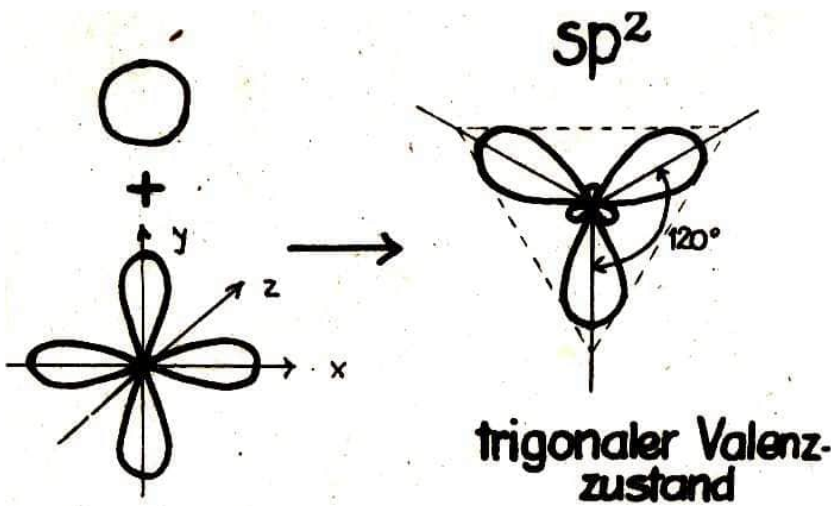


Abb. 20

( $sp^2-sp^2-\sigma$ -Bindung), während die beiden anderen Hybridorbitale mit je einem Wasserstoffatom in Wechselwirkung treten ( $sp^2-s-\sigma$ -Bindung). Die nicht an der Hybridisierung teilnehmenden  $p_z$ -Orbitale, die senkrecht zur Ebene der Hybridorbitale ausgerichtet sind, durchdringen ebenfalls einander, aber - da eine  $p-p-\sigma$ -Bindung wie z.B. im Chlormolekül schon aus räumlichen Gründen ausgeschlossen ist - auf andere Weise: Abb.21. Wegen der Form der  $p$ -Orbitale und deren räumlicher Lage sowie des Abstandes der beiden Kohlenstoffatome ist die Durchdringung geringer als in einer  $\sigma$ -Bindung. Dazu kommt, daß das entstandene

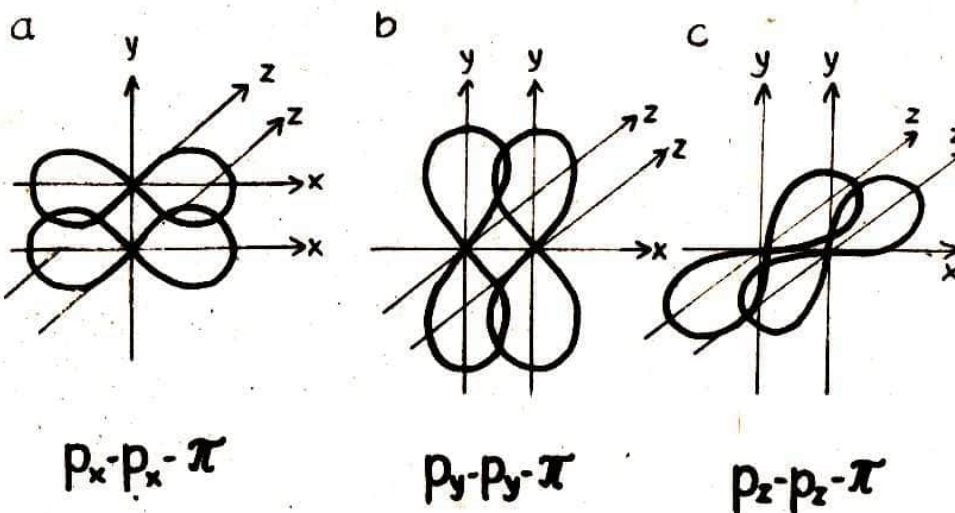


Abb. 21

Bindungsortital praktisch eine geteilte "Ladungswolke" ausbildet: ein Teil über und ein Teil unter der von den Kernen aller Atome gebildeten Ebene.

Eine Atombindung mit einem solchen flächensymmetrischen Bindungsortital nennt man  $\pi$  - (Pi-) Bindung. Die Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Elektronen ist dabei entlang der gedachten Verbindungslinie zwischen den Atomkernen des Kohlenstoffatoms gleich Null.

Die Doppelbindung besteht also tatsächlich aus zwei verschiedenen Bindungen: einer stärkeren  $sp^2-sp^2-\sigma$  - Bindung und einer schwächeren p-p- $\pi$  - Bindung. Abb. 22 zeigt eine übersichtliche Zusammenfassung der Bindungsverhältnisse im Ethen.

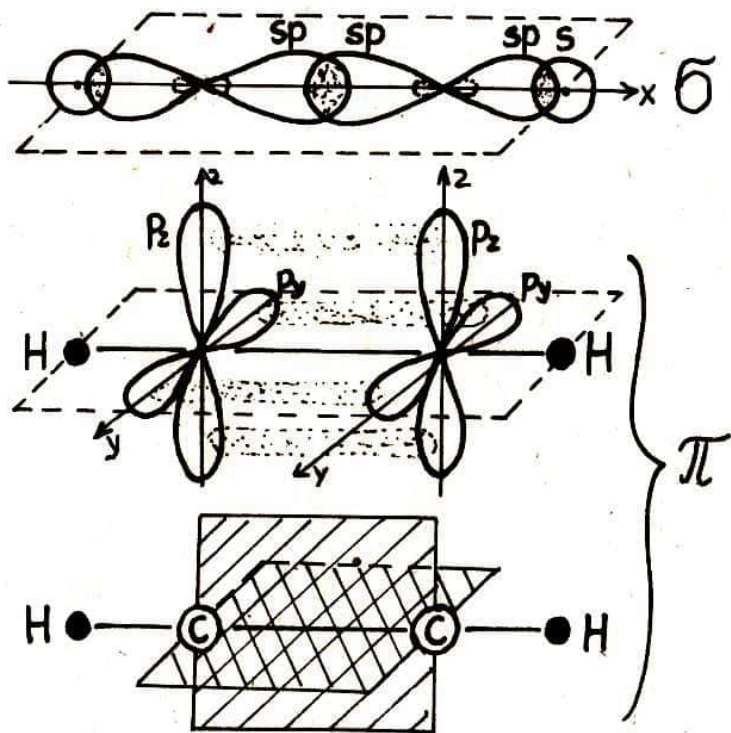


Abb. 22

Aus dieser Darstellung wird deutlich: Die in C-C-Einfachbindungen vorliegende freie Drehbarkeit zwischen den Kohlenstoffatomen ist nicht mehr vorhanden.  $\pi$  - Bindungen können niemals allein, sondern immer nur gemeinsam mit einer  $\sigma$  - Bindung auftreten.

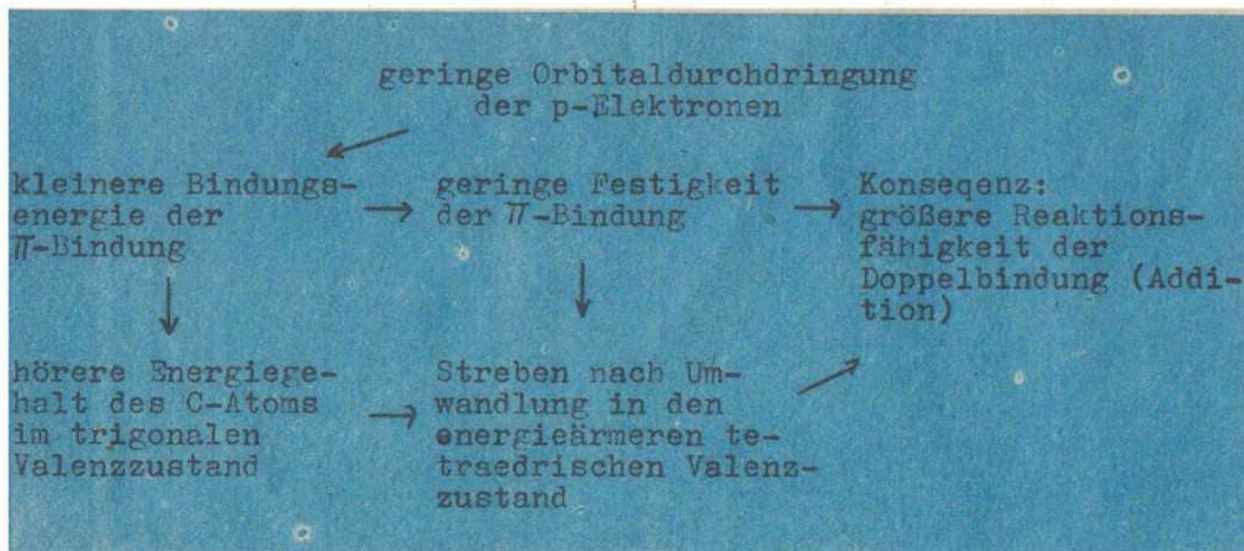
ten. Schließlich können eine solche Bindung nur gleichartig im Raum orientierte p-Orbitale eingehen, z.B.  $p_x-p_x$ , aber z.B. nicht  $p_x-p_y$ .

Die geringere (und zudem geteilte) Durchdringung der p-Orbitale zur  $\pi$ -Bindung erklärt deren geringere Bindungsenergie.

Ethen hat also einen größeren Energieinhalt als Ethan. Das stimmt mit der chemischen Praxis überein: Ethen reagiert bekanntlich leicht mit Brom durch dessen Addition, wobei die  $\pi$ -Bindung gelöst und die Doppelbindung dadurch in eine Einfachbindung, der trigonale ( $sp^2-sp^2$ ) in den energetisch günstigeren tetraedrischen Valenzzustand ( $sp^3-sp^3$ ) umgewandelt wird. Das an jedem Kohlenstoffatom freiwerdende p-Orbital geht mit den addierenden Bromatomen je eine  $sp^3-p-\sigma$ -Bindung ein.

Es entsteht ein Halogenderivat des Ethans (1,2-Dibromethan).

Ethen kann dagegen Brom nicht addieren. Hier bleibt bei der Substitution des Wasserstoffatoms durch ein Bromatom der (bereits energieärmste) tetraedrische Valenzzustand erhalten. Eine Substitution im Ethen kann nur unter bestimmten Bedingungen eintreten; vorrangig findet immer Addition statt.



Die aufgehobene freie Drehbarkeit zwischen Kohlenstoff-Kohlenstoff-Doppelbindungen erklärt das Auftreten der geometrischen Isomerie bei Disubstitutionsprodukten des Ethens und anderer Alkene Beispiel:

	σ - Bindung	π - Bindung
	Atombindung (Durchdringung von Atomorbitalen zum Molekülorbital)	
Symmetrie des Molekülorbitals	rotasymmetrisch	flächensymmetrisch
freie Drehbarkeit zwischen Kohlenstoffatomen	vorhanden	aufgehoben
Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Elektronen entlang der Verbindungslinie zwischen Kohlenstoffatomen	erreicht Maximum	gleich Null
Stärke der Orbitaldurchdringung ↓ Betrag der Bindungsenergie ↓ Festigkeit der Bindung ↓ Energieinhalt des Kohlenstoffatoms	größer	kleiner
Auswirkung auf chemisches Verhalten	nur Substitution (oder Zerstörung!)	(vorrangig) Addition

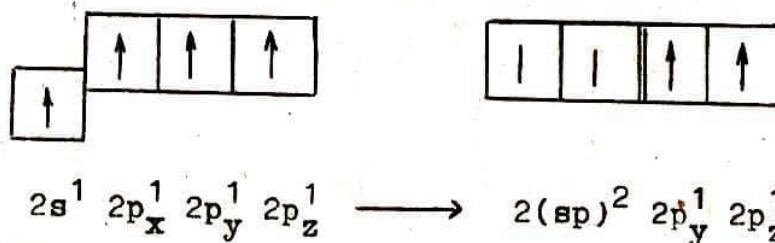
	*) cis-1,2-Dichlor- ethen	*) trans-1,2-Dichlor- ethen
	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \quad \text{H} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{C} = \text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{Cl} \quad \quad \text{Cl} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \quad \text{Cl} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{C} = \text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{Cl} \quad \quad \text{H} \end{array}$
Schmelztemperatur	-81,5 °C	-49,4 °C
Siedetemperatur	60,2 °C	48,4 °C
Dichte (bei 15 °C)	1,293 g·cm <sup>-3</sup>	1,265 g·cm <sup>-3</sup>
Dipolmoment	1,89 D	0

\*) neuerdings bezeichnet man sie mit Z bzw. E

Zwischen beiden Isomeren bestehen doch erhebliche Unterschiede in bestimmten physikalischen Eigenschaften; in ihren chemischen Eigenschaften unterscheiden sie sich kaum. Im handelsüblichen Gemisch ist überwiegend die trans-Verbindung enthalten. Diese ist aufgrund der größeren Symmetrie (Dipolmoment!) die energetisch stabilere Form von beiden.

#### Bindung im ETHINmolekül:

Die Dreifachbindung zwischen Kohlenstoffatomen in Alkinmolekülen besteht aus einer  $\sigma$ -Bindung und zwei  $\pi$ -Bindungen. Eine Hybridisierung tritt hier zwischen dem 2s- und nur einem 2p-Elektron im angeregten Zustand des Kohlenstoffatoms auf, während das  $p_y$ - und das  $p_z$ -Orbital daran unbeteiligt bleiben:



Auf diese Weise entstehen sp-Hybride, die sich energetisch günstig entgegengesetzt auf einer gedachten Geraden anordnen; der Bindungswinkel beträgt also 180°. (Abb. 23).

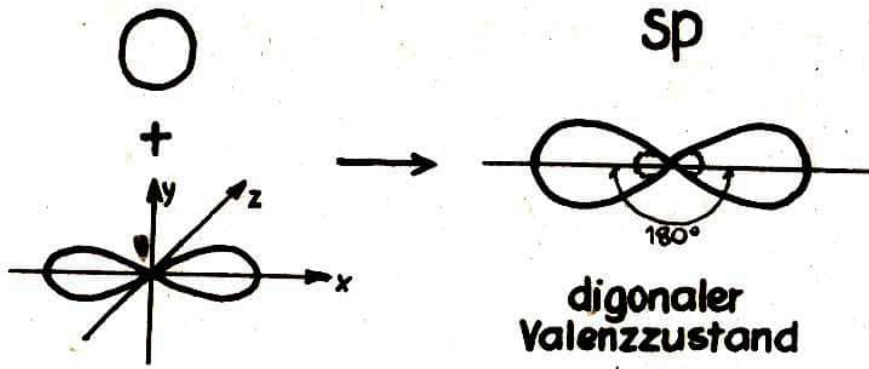


Abb. 23

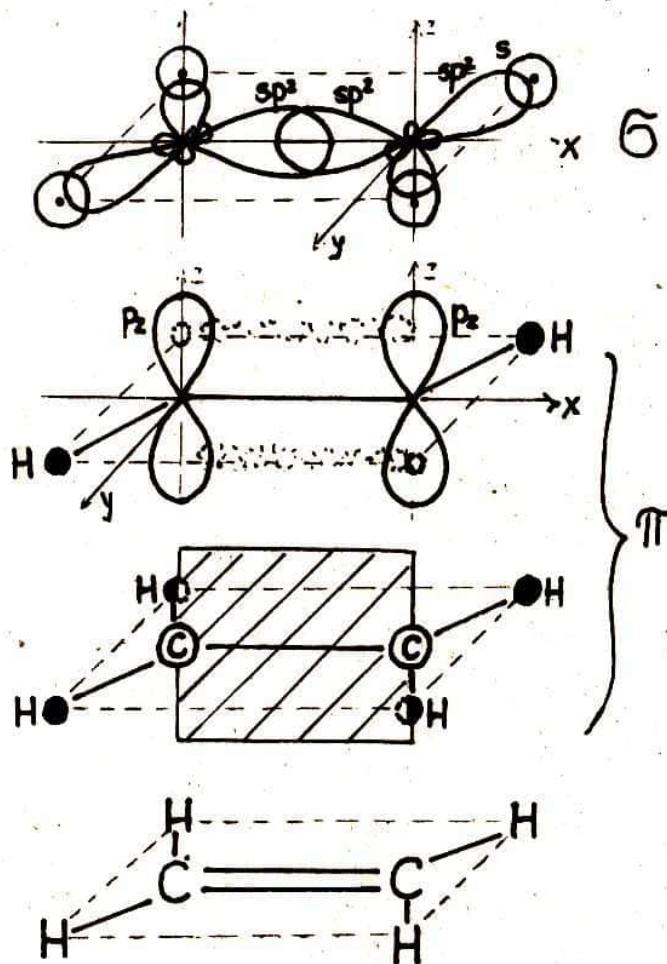
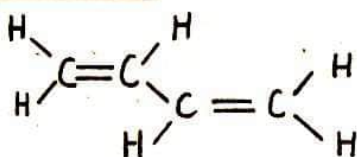


Abb. 24

Je ein  $sp$ -Orbital der beiden Kohlenstoffatome gehen untereinander eine  $sp-sp-\sigma$ -Bindung ein. Alle Atomkerne sind linear angeordnet. Die zwei  $p$ -Orbitale durchdringen einander - wie im Falle des Ethens beschrieben - paarweise zu Bindungsoptionalen, so daß sich zwei senkrecht zueinander angeordnete  $p-p-\pi$ -Bindungen ausbilden (Abb. 24).

Die chemischen Eigenschaften bestätigen die Modellvorstellungen: Durch Addition gehen Moleküle im digonalen Valenzzustand des Kohlenstoffatoms leicht in energieärmere Zustände (zunächst in den trigonalen und dann in den tetraedrischen) über.

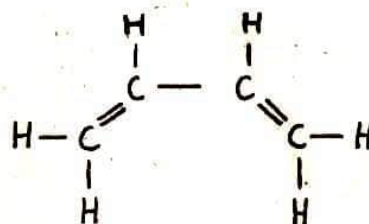
#### Bindung im BUTADIENmolekül:



Das Molekül des trans-Buta-1,3-diens enthält konjugierte Doppelbindungen, d.h. zwischen zwei C-C-Doppelbindungen liegt eine C-C-Einfachbindung vor.

(Die trans-Verbindung ist gegenüber der cis-Verbindung um den Energiebetrag von  $10,9 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$  stabiler.

Grund: größere Symmetrie!)



Alle vier Kohlenstoffatome sind - wie beim Ethen -  $sp^2$ -hybridisiert und bilden untereinander sowie mit den Wasserstoffatomen  $\sigma$ -Bindungen aus. Sie alle liegen in einer Ebene. Zwischen  $C_1$  und  $C_2$  sowie  $C_3$  und  $C_4$  treten außerdem nach Durchdringung der  $p_z$ -Orbitale dieser Atome  $\pi$ -Bindungen auf, die sich wiederum senkrecht zu dieser Ebene ausrichten (Abb. 25).

Diese bilden hier aufgrund ihrer räumlichen Nachbarschaft (der Abstand  $C_2-C_3$  ist kürzer als im Ethen!) eine einheitliche "Ladungswolke" oberhalb und unterhalb der Ebene der  $\sigma$ -Bindung (Abb. 26). Die sie bildenden vier Elektronen sind nicht mehr an einen bestimmten



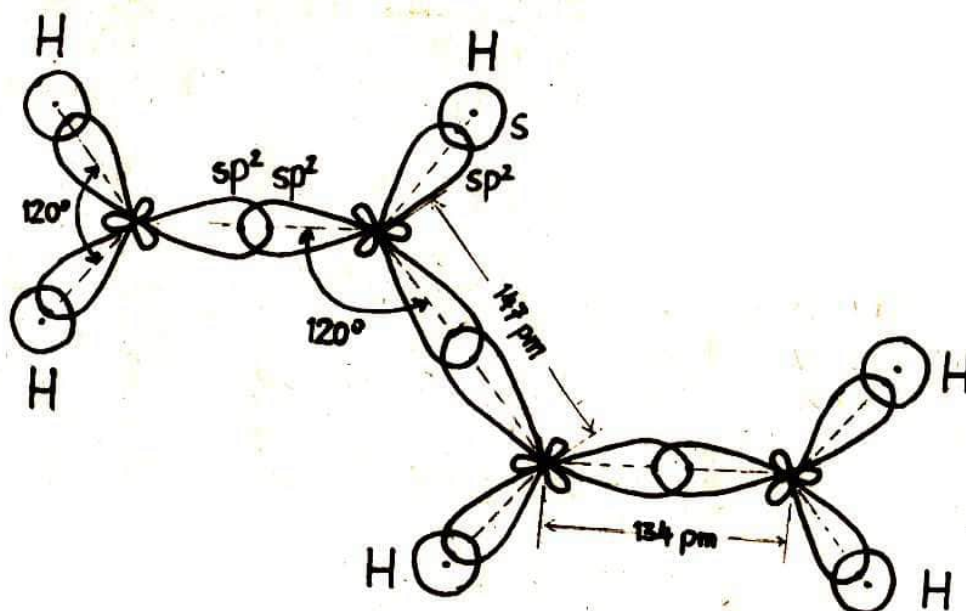


Abb. 25

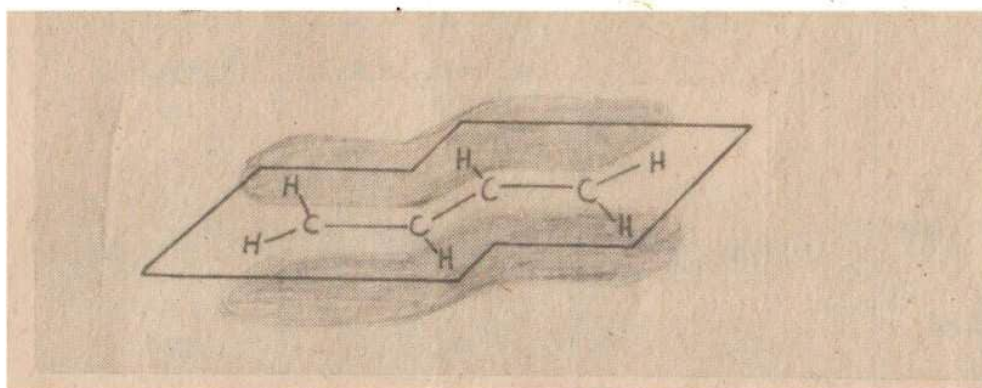


Abb. 26

Raum gebunden; sie sind delokalisiert. Wegen dieser  $\pi$ -Bindungen - die Delokalisierungsenergie, also die zur Trennung der gemeinsamen delokalisierten "Ladungswolke" notwendige Energie, ist mit etwa  $15 \text{ kJ.mol}^{-1}$  sehr gering - ist Butadien sehr reaktionsfreudig. Das wird bekanntlich zur Polymerisation (Spezialfall der Addition) genutzt. Im Polybutadien liegen - je nach Art der Polymerisation in der Hauptkette oder in den Seitenketten - noch Doppelbindungen (aus jeweils einer  $\sigma$ - und  $\pi$ -Bindung aufgebaut) vor. Das erklärt die typischen Eigenschaften des Polymerisats, das zu deren Verbesserung (Herstellung von Gummi) noch vulkanisiert werden muß. Je nach Anteil des Schwefels wird ein mehr oder weniger großer Anteil dieser Doppelbindungen (trigonaler Valenzzustand) zu energetisch günstigeren Einfachbindungen (tetraedrischer Bindungszustand) umgewandelt.

	Ethan	Ethen (Ethylen)	Ethin (Acetylen)	
Strukturformel				
Elektronenkonfiguration des C-Atoms im Hybridzustand	 $1s^2 2(sp^3)^4$	 $1s^2 2(sp^2)^3 p_z$	 $1s^2 2(sp)^2 p_y p_z$	
Bindungszustand des C-Atoms	tetraedrisch	trigonal	digonal	
Geometrie des Hybridorbitals	Tetraeder	gleichseitiges Dreieck	Gerade	
Bindungswinkel	$109,5^\circ$	$120^\circ$	$180^\circ$	
Kohlenstoff-Kohlenstoff	Art der Bindung(en)	$sp^3-sp^3-\sigma$	$sp^2-sp^2-\sigma$ $p_z-p_z-\pi$	$sp-sp-\sigma$ $p_y-p_y-\pi$ $p_z-p_z-\pi$
	molare Bindungsenergie (in $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ )	346,5	597,7	810,9
	Bindungslänge (in pm)	154	135	121
	EN-Wert des C-Atoms	2,5	2,1	2,0
	Bindungsdipolmoment (in D)	0	0	0
Kohlenstoff-Wasserstoff	Art der Bindung	$sp^3-s-\sigma$	$sp^2-s-\sigma$	$sp-s-\sigma$
	molare Bindungsenergie (in $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ )	430,5	443,1	505,8
	Bindungslänge (in pm)	109	107	106
	EN-Wert des C-Atoms	2,5	2,7	3,0
	Bindungsdipolmoment (in D)	0,31	0,63	1,05

Dabei bilden sich zwischen den freiwerdenden 2p-Orbitalen der Kohlenstoffatome und den 3p-Orbitalen des Schwefelatoms p-p- $\sigma$ -Bindungen aus. (Hoher Schwefelanteil  $\rightarrow$  geringere Anzahl von Doppelbindungen  $\rightarrow$  geringere Elastizität und größere Härte des Gummis).

#### Bindung im BENZENmolekül:

Im Molekül der einfachsten "aromatischen" Verbindung befinden sich die sechs ringförmig angeordneten Kohlenstoffatome im  $sp^2$ -hybridisierten, also trigonalen Valenzzustand. Daraus folgt: Zwischen den Kohlenstoffatomen liegen gleichwertige  $sp^2-sp^2$ - $\sigma$ -Bindungen vor; zwischen diesen und den ebenfalls gleichwertigen Wasserstoffatomen  $sp^2-s$ - $\sigma$ -Bindungen. Das entspricht der wissenschaftlichen Erfahrung: Es gibt jeweils nur ein Monosubstitutionsprodukt des Benzens.

Alle 12 Atome liegen in einer Ebene; das Benzenmolekül hat die Form eines ebenen, regelmäßigen Sechsecks (Abb. 27). Die nicht an der Hybridisierung teilnehmenden  $2p_z$ -Elektronen (Abb. 28) gehen  $\pi$ -Bindungen ein. Diese sind aber - ähnlich wie beim Butadien - nicht isoliert, sondern bilden wegen ihrer gleichen geringen Abstände untereinander einheitliche Ladungsräume, die nur durch die Ebene der  $\sigma$ -Bindungen voneinander getrennt sind. Sie sind delokalisiert und stellen ein einheitliches, ringförmiges " $\pi$ -Elektronensextett" dar (Abb. 29).

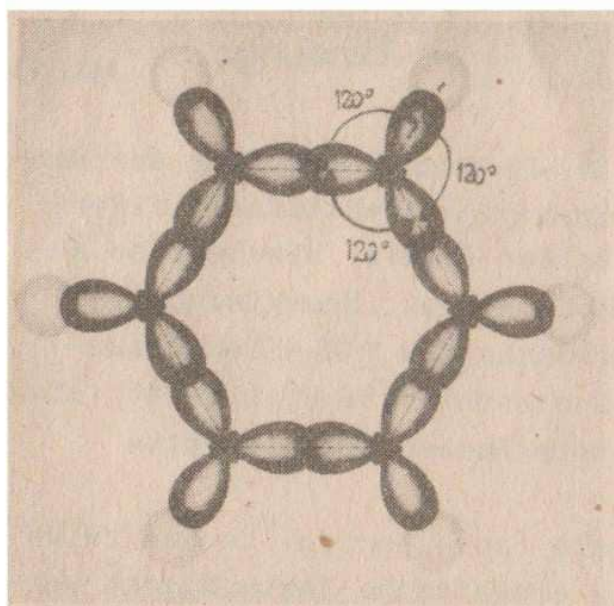
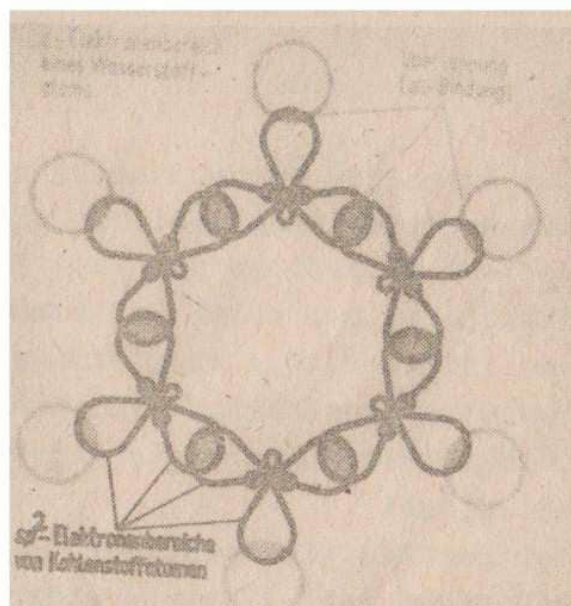


Abb. 27



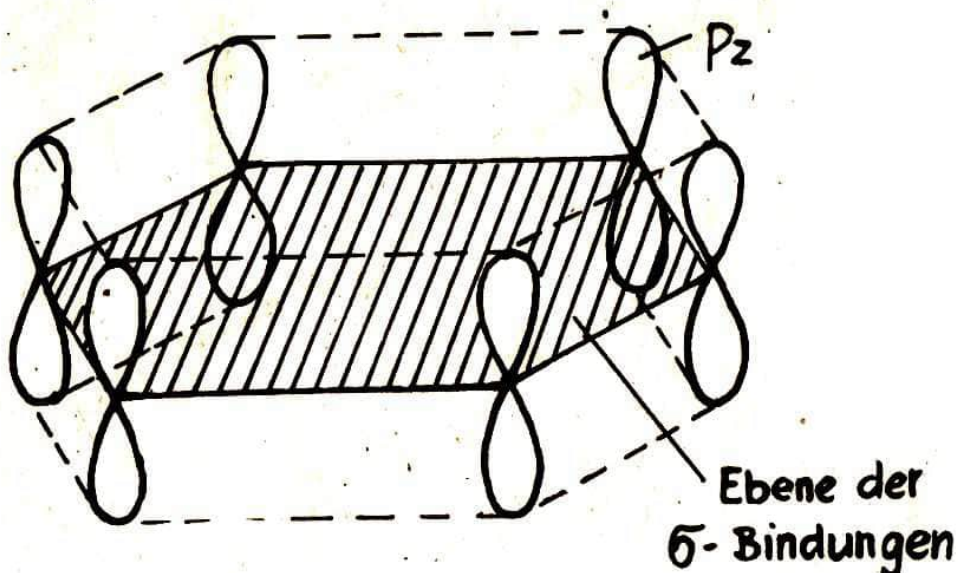


Abb. 28

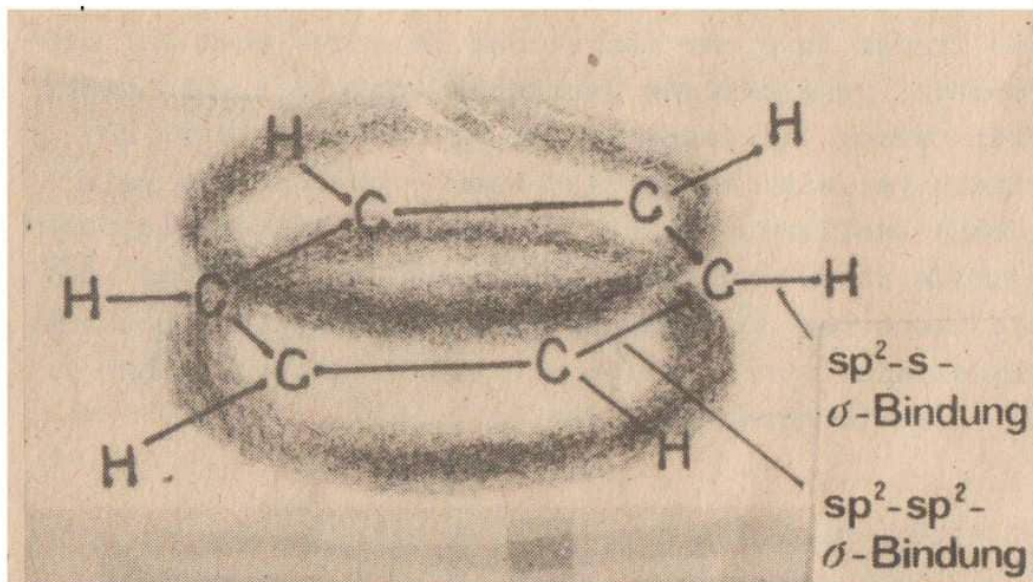


Abb. 29

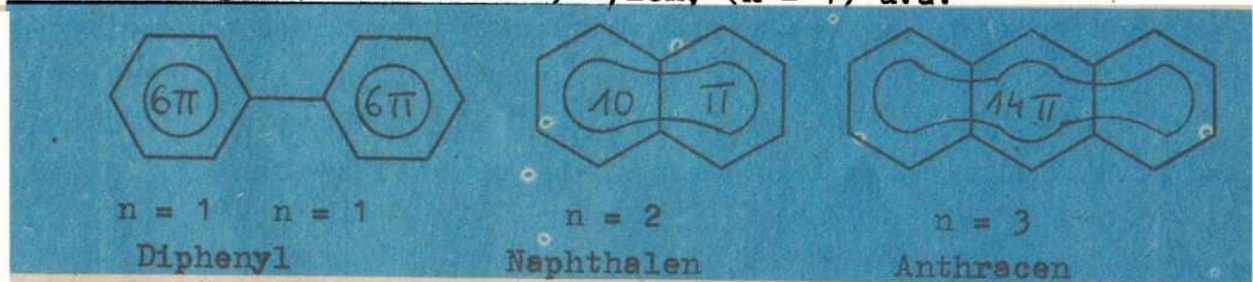
Die durch das Vorhandensein von  $\pi$ -Bindungen auch für das Benzen zu erwartende Addition als vorrangige Reaktionsart widerspricht allerdings der experimentellen Praxis. Eine solche Addition ist nur unter bestimmten Bedingungen (Energiezufuhr) realisierbar. Die ringförmige Anordnung des " $\pi$ -Elektronensextetts" verleiht dem Molekül eine recht gute Stabilität; die Delokalisierungsenergie beträgt beim Benzen immerhin etwa  $150 \text{ kJ.mol}^{-1}$ .

Bei der Addition geht der trigonale ( $sp^2$ -)Zustand in den tetraedrischen ( $sp^3$ -)Zustand über; der aromatische Zustand geht verloren. Im Falle der Addition von Wasserstoff zu Cyclohexan bilden sich zwischen den Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen  $sp^3-s$ - $\sigma$ -Bindungen sowie bei der Addition von Brom zu Hexabrom-

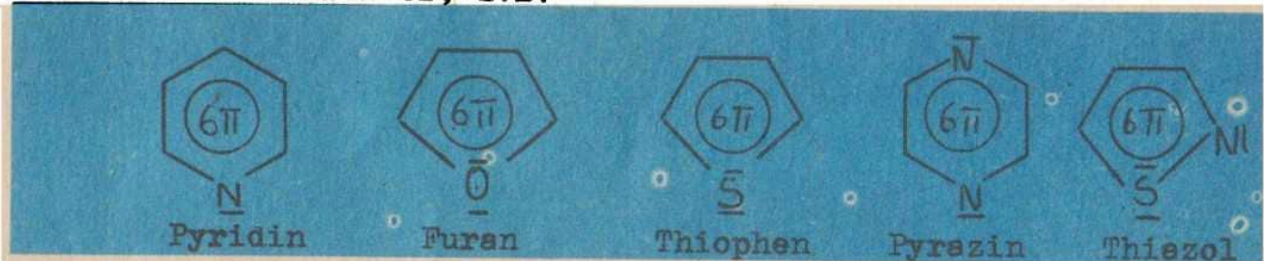
cyclohexan zwischen den Kohlenstoff- und Bromatomen  $sp^3$ -p- $\sigma$  Bindungen.

Bei der durch das Benzen bevorzugten Substitution (z.B. Halogenierung, Nitrierung, Sulfonierung) - erleichtert durch den Einsatz von Katalysatoren - bleibt der aromatische Zustand erhalten.

Aromaten sind cyclische, eben gebaute und daher recht stabile Kohlenwasserstoffe (und deren Derivate) mit delokalisierten  $\pi$ -Bindungen, von denen besonders stabil diejenigen mit  $(4n+2)$  " $\pi$ -Elektronen" sind. Dazu gehören neben dem Benzen und seinen "Homologen", z.B. Toluol, Xylen, ( $n = 1$ ) u.a.



Es gibt auch zahlreiche Heterocyklen (Verbindungen, die neben Kohlenstoff auch andere Elemente im Ringsystem enthalten) mit aromatischem Charakter, z.B.



Erhöhter  $CO_2$ -Gehalt in der Atmosphäre führt nicht nur zu verstärkter Photosynthese, sondern bewirkt auch, daß sich die Stomata, die Spaltöffnungen der Blätter, verkleinern. Das hat zur Folge, daß sich die Transpiration der Pflanze und damit ihr Wasserverbrauch verringert. Wo Wasser der den Ertrag begrenzende Faktor ist, bedeutet also  $CO_2$ -Vermehrung in der Atmosphäre höhere Ernteerträge. Auf bewässerten Anbauflächen geht bei  $CO_2$ -Vermehrung der Wasserverbrauch zurück. Die negativen Auswirkungen des sogenannten "Treibhaus-Effekts" bei  $CO_2$ -Zunahme wie Verschiebung von Klimazonen usw. werden daher durch diesen günstigen Effekt auf die Pflanzenerträge zum Teil wieder aufgewogen. Sojabohnen und Baumwolle würden bei Verdopplung des  $CO_2$ -Gehalts der Atmosphäre etwa halb so viel Wasser wie gegenwärtig verbrauchen. Mais etwa um ein Drittel weniger

Dr. Thomas Henning  
 Dr. Bringfried Stecklum  
 FSU Jena  
 Sektion Physik  
 Universitäts-Sternwarte

**Molekülwolken und die  
 Entstehung von Sternen  
 (Teil 2):  
 Die Dynamik der  
 Molekülwolken**

Bei der radioastronomischen Durchmusterung des Milchstraßensystems nach Molekülwolken stellte sich heraus, daß sich eine Vielzahl dieser Wolken in der Nähe sehr junger Sterne befindet. Dies ist durchaus nicht selbstverständlich, wenn man bedenkt, daß die Molekülwolken nur einen sehr kleinen Anteil am Gesamtvolumen der Galaxis einnehmen. Der Informationskasten 1 gibt Aufschluß darüber, wie man Aussagen zum Alter von Sternen erhalten kann.

Die Nachbarschaft von Molekülwolken und jungen Sternen weist darauf hin, daß diesen kühlen Gaswolken aus molekularem Wasserstoff eine entscheidende Rolle bei der Entstehung von Sternen zukommt. Aus Abb.1 ersieht man, wie eng diese Beziehung in einem Gebiet ist, das sich über die Sternbilder Perseus, Cassiopeia und Cepheus erstreckt.

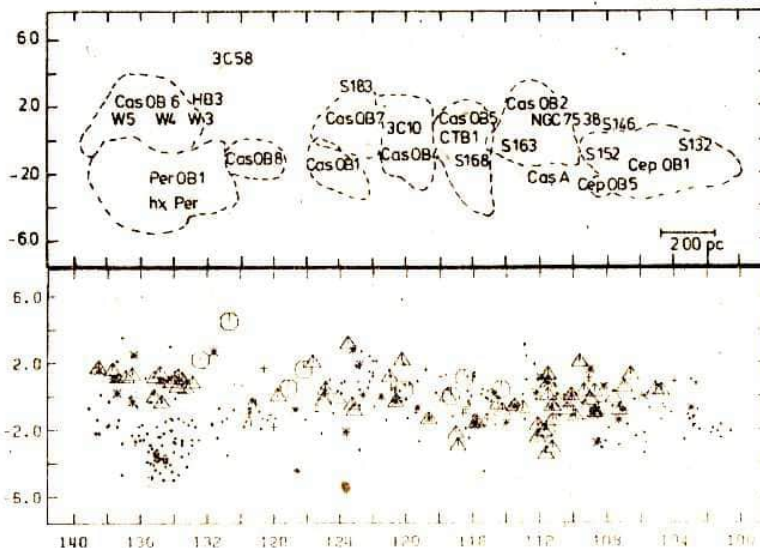


Abb.1: Im oberen Teil der Abbildung sind zusammen mit den Positionen einiger spezieller Objekte die Bereiche dargestellt, in denen sich Assoziationen befinden. Im unteren Teil sind zu sehen: OB-Sterne (+), junge Sternhaufen (+), H II-Gebiete (\*), Molekülwolken ( $\Delta$ ) und Supernovaüberreste ( $\circ$ ). Die Achsen bezeichnen das galaktische Koordinatensystem.

## Info 1: Wieviel Geburtstage hat ein Stern?

In der Astrophysik ist es auf verschiedene Weise möglich, Aussagen zum Alter von Sternen zu treffen. Betrachten wir zunächst die nukleare Zeitskala, die angibt, wie lange ein Stern seine Energiefreisetzung durch Kernfusion aufrecht erhalten kann. Der wichtigste Energiefreisetzungsprozeß ist die Umwandlung von Wasserstoff in Helium, wobei 0,71% der Ausgangsmasse gemäß  $E=mc^2$  in Energie umgewandelt werden (Massendefekt). Die gesamte Strahlungsleistung eines Sterns bezeichnet man als Leuchtkraft  $L$ , die in Einheiten der Sonnenleuchtkraft  $L_{\odot}=3,847 \cdot 10^{26} \text{ W}$  angegeben wird. Mit Hilfe der Sonnenmasse  $M_{\odot}=1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$  und unter Berücksichtigung eines Anteils von 70% Wasserstoff an der Gesamtmasse der Sonne läßt sich ihre nukleare Zeitskala zu

$$\tau_{\odot} = \frac{0,7 \cdot M_{\odot} \cdot 0,0071 \cdot c^2}{L}$$
$$\tau_{\odot} = 2,3 \cdot 10^{18} \text{ s} \approx 7 \cdot 10^{10} \text{ a}$$

abschätzen. Für Sterne mit anderen Massen kann man eine Aussage erhalten, wenn berücksichtigt wird, daß es einen Zusammenhang zwischen Leuchtkraft und Masse gemäß  $L \sim M^3$  gibt (Masse-Leuchtkraft-Beziehung). Für diese Sterne ergibt sich die nukleare Zeitskala zu

$$\tau = \tau_{\odot} \frac{M}{L} = \tau_{\odot} \frac{M}{M^3} = \tau_{\odot} \frac{1}{M^2}, \text{ wobei } M \text{ in Einheiten von } M_{\odot} \text{ zu verwenden ist.}$$

Massereiche Sterne, z.B. vom Spektraltyp O und B (OB-Sterne), besitzen demzufolge nur eine geringe Lebensdauer. Ein Stern von  $25M_{\odot}$  kann nur ein Alter von etwa  $10^8$  Jahren erreichen; er stirbt astronomisch gesehen einen frühen und spektakulären Tod, nämlich in Form einer Supernovaexplosion. Aber auch während seiner Existenz macht er nachdrücklich auf sich aufmerksam, indem die von ihm ausgehende UV-Strahlung das umgebende Gas ionisiert und zum Leuchten anregt (H II-Gebiet, Emissionsnebel).

Ein anderer Zugang zu einer Altersaussage besteht in der Dynamik von Sternsystemen. Bereits vor 40 Jahren wies V.A. Ambarzumjan darauf hin, daß es sich bei sogenannten Sternassoziationen um junge Objekte handeln muß. Eine Assoziation wird von mehreren zehn bis einigen hundert Sternen gebildet, die sich relativ zueinander mit Geschwindigkeiten bis zu  $10 \text{ km s}^{-1}$  bewegen. Abschätzungen der Gesamtmasse zeigen, daß diese nicht ausreicht, um die Mitglieder gravitativ aneinander zu binden. Die Mitglie-

der der Assoziationen, meist kurzlebige massereiche Sterne oder masseärmere Sterne mit spektralen Besonderheiten, wandern deshalb in das allgemeine Sternenfeld ab. Nach etwa  $10^7$  bis  $10^8$  Jahren haben sich Assoziationen aufgelöst.

Ambarzumjan erklärte die Expansion dieser Systeme mit der Explosion superdichter Objekte, aus denen die Sterne entstanden sein sollten. Wie man heute jedoch weiß, ist die Expansionsbewegung eine Folge der geringen Effektivität der Sternentstehung in Molekülwolken und der Rückwirkung der jungen Sterne auf das sie umgebende Gas.

In analoger Weise kann festgestellt werden, daß trapezförmige Konfigurationen von vier Sternen (Trapezsysteme) ebenfalls jung sein müssen. Eine solche dynamisch wenig stabile Anordnung wird sich bald unter dem Einfluß des galaktischen Schwerfeldes z.B. in ein Paar von Doppelsternen umbilden. Das bekannteste Beispiel eines Trapezsystems befindet sich im Sternbild Orion nahe dem Orionnebel, einem aktiven Sternentstehungsgebiet.

Die gegenwärtig allgemein akzeptierte Ansicht über die Entstehung von Sternen besteht darin, daß interstellare Gaswolken sich unter dem Einfluß ihrer Eigengravitation verdichten. Aus dem numerischen Experiment weiß man, daß dabei im Laufe der Entwicklung ein zentrales sternähnliches Gebilde entsteht, das von einer Gaswolke geringerer Dichte umgeben ist, und auf das weiterhin Material einfällt. Es befindet sich nahezu im Gleichgewicht gegenüber der Gravitation, da beim Kontraktionsprozeß potentielle Energie in Wärmeenergie umgewandelt wird, und der daraus resultierende Gasdruck den Protostern stabilisiert. Durch eine weitere langsame Kontraktion nimmt die Zentraldichte zu, bis bei etwa 10 Millionen Kelvin die Kernfusion zündet. Ein neuer Stern ist entstanden. Natürlich läuft dieser hier schematisch dargelegte Vorgang in der Realität komplizierter und unter dem Einfluß einer Vielzahl von Faktoren ab.

Eine grobe Abschätzung über die Stabilität einer Gaswolke der Temperatur  $T$  (in Kelvin) und der Teilchendichte  $n_{H_2}$  (in  $cm^{-3}$ ) gibt die Jeans-Masse:

$$M_J \approx 2,3 \cdot \sqrt{\frac{T^3}{n_{H_2}}} M_\odot .$$

Übersteigt die Masse  $M$  einer Wolke die Jeans-Masse, so ist die Wolke instabil gegenüber dem Kollaps und kontrahiert. In der



Tat übersteigt die große Masse der Riesenmolekülwolken bei weitem ihre aufgrund der niedrigen Temperatur relativ geringe Jeans-Masse, so daß man erwarten sollte, daß diese Wolken kollabieren und Sterne bilden. Nimmt man an, daß der Kollaps einer Wolke ungehindert im freien Fall erfolgt, so läßt sich die Zeitdauer der Sternentstehung durch die Freifall-Zeitskala abschätzen:

$$\tau_{\text{ff}} \approx 6,7 \cdot 10^7 \cdot \frac{1}{\sqrt{n_{\text{H}_2}}} \text{ a}, \quad n_{\text{H}_2} \text{ in cm}^{-3}.$$

Geht man weiterhin von einer völligen Umsetzung der Wolke in Sterne aus (100% Effektivität der Sternentstehung), so ergibt sich die gegenwärtige Sternentstehungsrate (Gesamtmasse der pro Zeiteinheit im Milchstraßensystem entstehenden Sterne) zu mehreren tausend Sonnenmassen pro Jahr. Aus einer Reihe unterschiedlicher Beobachtungen leitet man jedoch einen Wert von etwa  $3 M_{\odot} \text{ a}^{-1}$  ab. Diese Diskrepanz läßt sich nur lösen, wenn sich nicht alle Molekülwolken in einem Zustand des Kollaps befinden und die Sternentstehung eine sehr geringe Effektivität aufweist. Die im ersten Teil der Artikelreihe beschriebenen Beobachtungen der Linienbreiten der Moleküllinien lassen sich also nicht auf einen einheitlichen Kollaps zurückführen, was natürlich nicht ausschließt, daß in kleineren Bereichen solche Kollapsbewegungen stattfinden. Ein Beispiel hierfür ist das Objekt IRAS 16293-2422, das mit Hilfe des Infrarot-Satelliten IRAS entdeckt, und nachfolgend radioastronomisch untersucht wurde. Es befindet sich in der  $\rho$  Ophiuchus-Wolke, einem Sternentstehungsgebiet, in dem sich möglicherweise gerade ein Sternhaufen bildet.

Als Ursache der Linienverbreiterung sieht man heute die turbulente Bewegung innerhalb der Molekülwolke an. Desweiteren tragen neben dem Gasdruck zusätzliche Faktoren, wie z.B. Magnetfelder, zur Stabilisierung der Wolke bei.

Das Auftreten von Kollapsbewegungen in kleineren Bereichen, wie auch die Existenz eines dichten Kerns (oder mehrerer) in der Molekülwolke, deuten auf einen Fragmentationsprozeß hin, der der Sternentstehung vorausgehen muß. Dabei kommt es zur Herausbildung von Bereichen mit wesentlich höherer Dichte als in der Umgebung, deren Masse allerdings nur wenige Prozent der Gesamtmasse ausmacht. Die geringe Effektivität der Fragmentation wird besonders deutlich, wenn man die Massen der Riesenmolekülwolken von  $10^5$  bis  $10^6 M_{\odot}$  mit den Massen der aus ihnen entstehenden

offenen Sternhaufen und Assoziationen vergleicht, die nur zwischen  $10^2$  und  $10^3 M_{\odot}$  liegen.

Zu bemerken ist, daß dieser Fragmentationsprozeß nicht nur auf einer Ebene, sondern auf mehreren wirksam ist. Als Folge dessen entsteht in den Sternentstehungsgebieten eine Hierarchie, die sich bildlich gesprochen darin zeigt, daß mit wachsender räumlicher Auflösung über mehrere Größenordnungen hinweg ähnliche Strukturen auftreten (Selbstähnlichkeit).

Hierarchische Struktur bei M 17 (im Sternbild Sagittarius)

	Ausdehnung L (pc)	Masse M ( $M_{\odot}$ )	Anzahldichte <n> ( $\text{cm}^{-3}$ )
Region M 16 - M 17	250 x 30	$4 \cdot 10^5$	40
Gebiet I - N	15	$8 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^3$
Kerne	3	$1 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$
Kondensationen	0,7	$1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^5$
"Klumpen"	<0,3	<250	$1 \cdot 10^6$

Neben den hierarchischen, geordneten Mustern sind auch chaotische, stark fluktuierende Züge vorhanden. Das gleichzeitige Auftreten dieser Eigenschaften ist eine interessante Erscheinung vieler nichtlinearer Systeme. Ein schematisches Modell der hierarchischen Fragmentation zeigt Abb.2. In diesem Modell bilden sich neue Fragmente aus bereits entstandenen und dem restlichen Gas, woraus sich die Verteilung der Fragmentmassen ableiten läßt.

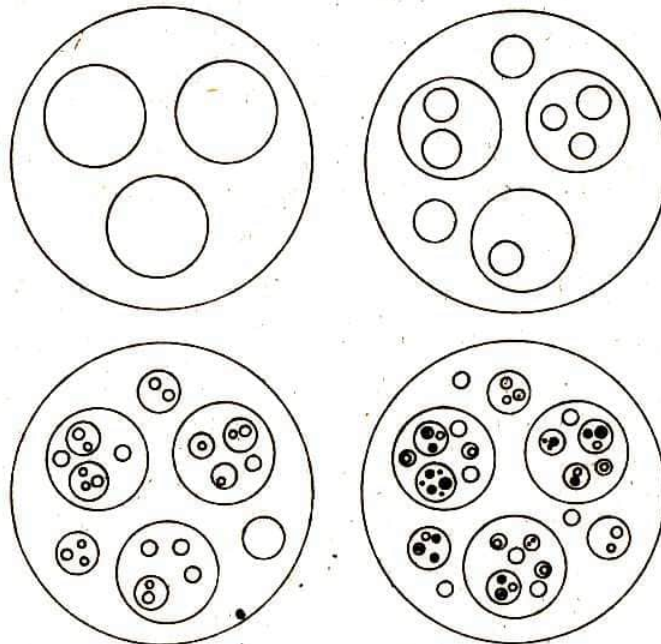


Abb.2

## Hierarchie, Turbulenz und empirische Beziehungen

Bei der Untersuchung der Zusammenhänge zwischen wesentlichen physikalischen Parametern der Fragmente wurden drei empirische Beziehungen gefunden, deren Gültigkeitsbereich mehrere Größenordnungen umfaßt.

Das sogenannte Kondensationsgesetz beschreibt die Abhängigkeit der mittleren Anzahldichte  $\langle n \rangle$  von der Ausdehnung der Struktur  $L$  (in pc), und ist bis zu  $L \approx 0,2$  pc gültig:

$$\langle n \rangle = a \cdot L^{\alpha} ; a = 290 \dots 3900 \text{ cm}^{-3}, \alpha = -0,75 \dots -1,2 .$$

In Abbildung 3 ist dieser Zusammenhang dargestellt, wie er erstmals 1981 von R.B. Larson gefunden wurde.

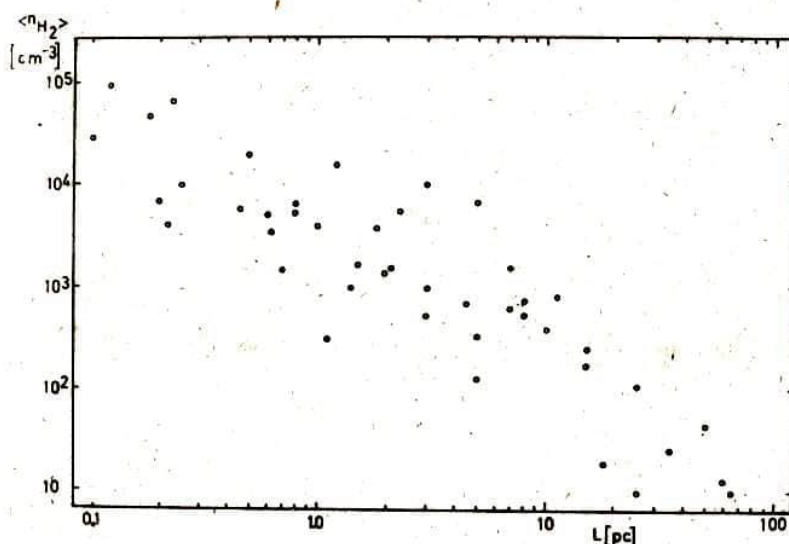


Abb. 3

Die zweite Beziehung besteht zwischen der beobachteten Geschwindigkeitsdispersion  $\zeta$  (in  $\text{kms}^{-1}$ ) und der Ausdehnung  $L$ . Zwischen der bereits erwähnten Linienbreite  $\Delta_{\text{FWHM}}$  (full width at half maximum) und der Geschwindigkeitsdispersion besteht für eine Linie mit Gaußprofil der Zusammenhang  $\Delta_{\text{FWHM}} = 2,36 \zeta$ .

$$\zeta = b \cdot L^{\beta} ; b = 0,4 \dots 1,2 \text{ kms}^{-1}, \beta = 0,3 \dots 0,6 .$$

Die größten Linienbreiten werden demzufolge bei Molekülwolken großer Ausdehnung beobachtet.

Die dritte Beziehung beinhaltet eine Gesetzmäßigkeit, die von wesentlicher physikalischer Bedeutung ist, den Virialsatz. Er trifft eine Aussage über die zeitlichen Mittelwerte der kinetischen und potentiellen Energie eines physikalischen Systems. Eine Erläuterung dazu gibt der Informationskasten 2.

## Info 2: Der Virialsatz

Bei der Darlegung des Virialsatzes gehen wir von der Bewegungsgleichung des  $i$ -ten Massenpunktes eines Systems von  $N$  Massenpunkten aus:

$$m_1 \ddot{\vec{r}}_1 = \vec{K}_1 .$$

Hierbei sind  $\ddot{\vec{r}}_1$  die Beschleunigung (zweite zeitliche Ableitung des Ortsvektors  $\vec{r}_1 = (x_1, y_1, z_1)$ ) und  $\vec{K}_1$  die auf den Massenpunkt wirkende Kraft. Die skalare Multiplikation dieser Gleichung mit dem Ortsvektor  $\vec{r}_1$  (Skalarprodukt) und eine nachfolgende Summation über alle Massenpunkte führt zu:

$$\sum_{i=1}^N m_i (x_i \ddot{x}_i + y_i \ddot{y}_i + z_i \ddot{z}_i) = \sum_{i=1}^N (x_i K_{x,i} + y_i K_{y,i} + z_i K_{z,i}) .$$

Die linke Seite läßt sich durch

$$\frac{d}{dt} \sum_{i=1}^N m_i (x_i \dot{x}_i + y_i \dot{y}_i + z_i \dot{z}_i) - \sum_{i=1}^N m_i (\dot{x}_i^2 + \dot{y}_i^2 + \dot{z}_i^2)$$

ersetzen, wobei die rechte Summe das Zweifache der kinetischen Energie darstellt (die Substitution wird plausibel, wenn man die Zeitableitung von  $x_i \dot{x}_i$  bildet). Wir erhalten also:

$$\frac{d}{dt} \sum_{i=1}^N m_i (x_i \dot{x}_i + y_i \dot{y}_i + z_i \dot{z}_i) - 2 \cdot T = \sum_{i=1}^N (x_i K_{x,i} + y_i K_{y,i} + z_i K_{z,i}) .$$

Da wir eine Aussage über zeitliche Mittelwerte erhalten wollen, müssen wir den Zeitmittelwert  $\bar{f}$  einer Funktion  $f(t)$  entsprechend

$$\bar{f} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} f(t) dt$$

berechnen. Vor allem interessiert uns der Zeitmittelwert des Ausdrucks vor dem die Zeitableitung  $\frac{d}{dt}$  steht:

$$\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{d}{dt} \sum_{i=1}^N m_i (x_i \dot{x}_i + y_i \dot{y}_i + z_i \dot{z}_i) dt = \frac{1}{t_2 - t_1} \left[ \sum_{i=1}^N m_i (x_i \dot{x}_i + y_i \dot{y}_i + z_i \dot{z}_i) \right]_{t_1}^{t_2}$$

Bleiben die Bewegungen aller Massenpunkte auf ein endliches Raumgebiet und endliche Geschwindigkeiten beschränkt, so verschwindet obiger Mittelwert für genügend große Zeitintervalle  $t_2 - t_1$ . Wir erhalten somit:

$$2 \cdot \bar{T} + \sum_{i=1}^N (x_i K_{x,i} + y_i K_{y,i} + z_i K_{z,i}) = 0 .$$

Wie nachfolgend gezeigt wird, entspricht die auch als Virial bezeichnete Summe bis auf einen Faktor der potentiellen Energie

des Systems. Sie ist in unserem Fall gegeben durch:

$$U = -G \sum_{i=1}^N \sum_{j=i+1}^N \frac{m_i m_j}{r_{ij}}$$

wobei  $r_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2}$  der Abstand des  $i$ -ten vom  $j$ -ten Massenpunkt und  $G$  die Gravitationskonstante sind.

Um plausibel zu machen, daß das Virial im Fall der Gravitation gerade der negativen potentiellen Energie entspricht, reduzieren wir die Anzahl der Massenpunkte auf zwei, d.h.:

$$U = -G \frac{m_1 m_2}{r_{12}}$$

Die Berechnung der Kraftkomponenten erfolgt durch partielles Differenzieren des Potentials nach der jeweiligen Koordinate, z.B.  $K_{x,1} = -\partial U / \partial x_1$ ,  $K_{y,2} = -\partial U / \partial y_2$ . Der Kürze wegen seien hier nur die Resultate für  $x_1$  und  $x_2$  angegeben (die anderen Ableitungen nach  $y_1, y_2$  und  $z_1, z_2$  ergeben sich analog):

$$\frac{\partial U}{\partial x_1} = G \frac{m_1 m_2}{(r_{12})^3} \cdot (x_1 - x_2) \quad , \quad \frac{\partial U}{\partial x_2} = G \frac{m_1 m_2}{(r_{12})^3} \cdot (x_1 - x_2) \cdot (-1)$$

Das Virial erhält man durch Multiplikation der Kraftkomponente mit der jeweiligen Komponente des Ortsvektors und Summation, was für die zwei Massenpunkte zu

$$G \frac{m_1 m_2}{(r_{12})^3} \cdot [x_1(x_1 - x_2) - x_2(x_1 - x_2) + y_1(y_1 - y_2) - y_2(y_1 - y_2) + z_1(z_1 - z_2) - z_2(z_1 - z_2)]$$

führt. Durch Zusammenfassen erkennt man, daß der Ausdruck in den eckigen Klammern gleich  $(r_{12})^2$  ist, was gekürzt werden kann, womit im Nenner  $r_{12}$  stehen bleibt. Das Resultat ist demzufolge

$$G \frac{m_1 m_2}{r_{12}} = -U$$

Für  $N$  Massenpunkte läßt sich, wenn auch etwas umständlicher, auf diese Weise zeigen, daß

$$\sum_{i=1}^N (x_i \frac{\partial U}{\partial x_i} + y_i \frac{\partial U}{\partial y_i} + z_i \frac{\partial U}{\partial z_i}) = -U$$

gilt. Man bezeichnet deshalb das Potential des Gravitationsfeldes als homogene Funktion vom Grad  $-1$ . Damit haben wir die Aussage des Virialsatzes erhalten, daß nämlich im Zeitmittel die Summe aus doppelter kinetischer Energie und potentieller Energie gleich Null ist:

$$2 \cdot \bar{T} + \bar{U} = 0$$

Für die Gesamtenergie  $\bar{E} = \bar{T} + \bar{U}$  folgt dann  $\bar{E} = \bar{T} - 2\bar{T} = -\bar{T}$ , d.h. sie

ist gleich der negativen kinetischen Energie.

Wie A.S. Eddington 1916 zeigte, führt der Virialsatz im Fall eines Sternhaufens auf

$$\bar{v} = 0,046 \cdot \sqrt{\frac{M}{R}},$$

wobei  $\bar{v}$  die Geschwindigkeitsdispersion (in  $\text{kms}^{-1}$ ),  $M$  die Gesamtmasse (in  $M_{\odot}$ ) und  $R$  der Radius (in pc) des Haufens sind. Der Virialsatz bietet somit die Möglichkeit, aus den beobachteten Geschwindigkeitsdispersionen auf dynamischen Weg Massen von z.B. Stern- und Galaxienhaufen zu bestimmen.

Tatsächlich wird die aus dem Virialsatz folgende Beziehung zwischen der Geschwindigkeitsdispersion, der Gesamtmasse und Ausdehnung der Molekülwolke durch die bei den meisten Molekülwolken ermittelten Parameter erfüllt. Das weist darauf hin, daß sich diese Objekte in der Nähe des Virialgleichgewichtes befinden. Nur in einigen Fällen, insbesondere bei sogenannten Globulen, ist der Virialsatz nicht erfüllt, was mit der gravitativen Kontraktion in Zusammenhang gebracht wird.

Bemerkenswert ist die Tatsache, daß von den drei genannten Beziehungen nur zwei grundlegend sein können, da sich die jeweils dritte aus ihnen ableiten läßt. So folgt das Kondensationsgesetz aus der zweiten Beziehung und dem Virialsatz unter Verwendung der Proportionalität zwischen Anzahldichte und Massendichte  $\langle n \rangle \sim M/L^3$ . Wählt man dabei für  $\beta$  den Wert  $1/3$ , so ergibt sich für den Exponenten  $\alpha = -4/3$ , was etwa dem ermittelten Maximalwert entspricht. Der Wert  $\beta = 1/3$  ist insofern interessant, da er sich bei der Turbulenz einer inkompressiblen Flüssigkeit ergibt (Heisenberg-Kolmogorov-Turbulenz). Da die ermittelten Parameter in der Nähe dieses Wertes liegen, ist die Vermutung berechtigt, daß in den Molekülwolken turbulente Bewegungsverhältnisse vorhanden sind. Allerdings ist heute klar, daß sich das Problem der Turbulenz in den meisten Molekülwolken nicht auf herkömmliche Weise behandeln läßt. Um die näheren Ursachen dafür zu verstehen, soll kurz die Turbulenz inkompressibler Medien skizziert werden. Dabei spielt die Reynoldszahl  $Re$  eine wesentliche Rolle, die sich zu

$$Re = v \cdot L / \nu$$

ergibt. Hier sind  $v$  die mittlere Strömungsgeschwindigkeit und  $L$  die Ausdehnung der Strömung. Die im Nenner stehende Größe  $\nu$

ist die kinematische Viskosität, die die innere Reibung des Mediums kennzeichnet. Man hat experimentell festgestellt, daß für  $Re \ 10^3 \dots 10^4$  eine Strömung vom laminaren in den turbulenten Zustand übergeht (man beachte die Änderung der Rauchströmung einer gerade gelöschten Kerze mit wachsender Höhe).

Verwendet man zur Berechnung der Reynoldszahl die entsprechenden Angaben für Molekülwolken, so erhält man Werte für  $Re$  von  $10^{10} \dots 10^{11}$ , d.h. bei Molekülwolken ist sicher mit dem Auftreten von Turbulenz zu rechnen !

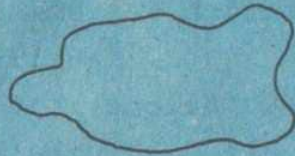
Bei der Heisenberg-Kolmogorov-Turbulenz geht man davon aus, daß die Einspeisung der Energie, die die Turbulenz aufrecht erhält, auf einer Größenskala erfolgt, die der Ausdehnung der Strömung bzw. der größten Turbulenzelemente entspricht (äußere Skala). Die Übertragung der Energie auf kleinere "Wirbel" soll ohne Verluste erfolgen, bis auf der Ebene der kleinsten Turbulenzelemente (innere Skala) die Bewegungsenergie vollständig in Wärmeenergie umgesetzt wird. Man bezeichnet dies auch als Dissipation der Energie als Folge der turbulenten Viskosität.

In diesem Modell der Turbulenz sind die innere und äußere Skala entkoppelt, so daß aus der Wirkung der Turbulenz nicht auf ihre Ursache geschlossen werden kann. Wäre dies auch bei Molekülwolken so, dann hätten wir wenig Chancen herauszufinden, was die Entstehung von Sternen auslöst. Das ist jedoch (glücklicherweise) nicht der Fall. Zunächst einmal handelt es sich bei der Substanz der Molekülwolken um ein kompressibles Medium, das, wie der Virialsatz deutlich zeigt, unter dem Einfluß der Eigengravitation steht. Weiterhin treten bei der Herausbildung der Turbulenzkaskade auf allen Ebenen Prozesse auf, die sowohl zur Energiedissipation als auch zur Verstärkung der Turbulenz führen können. Eine Reihe von Faktoren sind in Abbildung 4 erwähnt, in der die Turbulenz in Molekülwolken der Turbulenz einer inkompressiblen Flüssigkeit schematisch gegenübergestellt wird (siehe Hefrückseite).

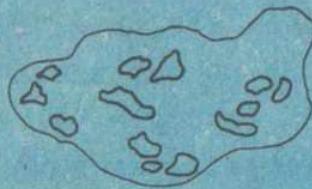
Offensichtlich ist eine theoretische Beschreibung der Turbulenz in Molekülwolken, eine Grundvoraussetzung zur Modellierung der Sternentstehung, nur dann möglich, wenn die Vielfalt all dieser Prozesse berücksichtigt wird. Auf einige von ihnen wollen wir im nächsten Beitrag näher eingehen.

## Heisenberg- Kolmogorov- Turbulenz

Einspeisung der  
Energie



Turbulenzkaskade  
mit verlustfreier  
Energieübertragung



Energiedissipation  
durch Viskosität



## Turbulenz in Molekülwolken

Gravitationsinstabilität  
Galaktische Rotation  
Dichtewellen

Gravitative Fragmentation,  
beeinflusst durch Magnet-  
felder und Rotation

Fragment-Fragment-Wechsel-  
wirkung

Energiedissipation in  
Stoßfronten

Energiezufuhr durch Stern-  
winde, expandierende H II-  
Gebiete und Supernova-  
explosionen



Führen Magnetfelder zu  
einem neuen Bild von der  
Turbulenz in Molekül-  
wolken ?



# 68

# Impuls

Schülerzeitschrift für

PHYSIK · CHEMIE · BIOLOGIE

4/87 INDEX 322004 ISSN 0232-9220 PREIS 60 Pf. 21. Jg.

Inter-  
nationale  
Chemie-  
olympiaden

★

Die Grund-  
lagen des  
Farbfern-  
sehens  
(Teil 2)

★

Das wellen-  
mechani-  
sche Atom-  
modell  
(Teil 5)



Laser  
in der  
Herz-  
chirurgie

★

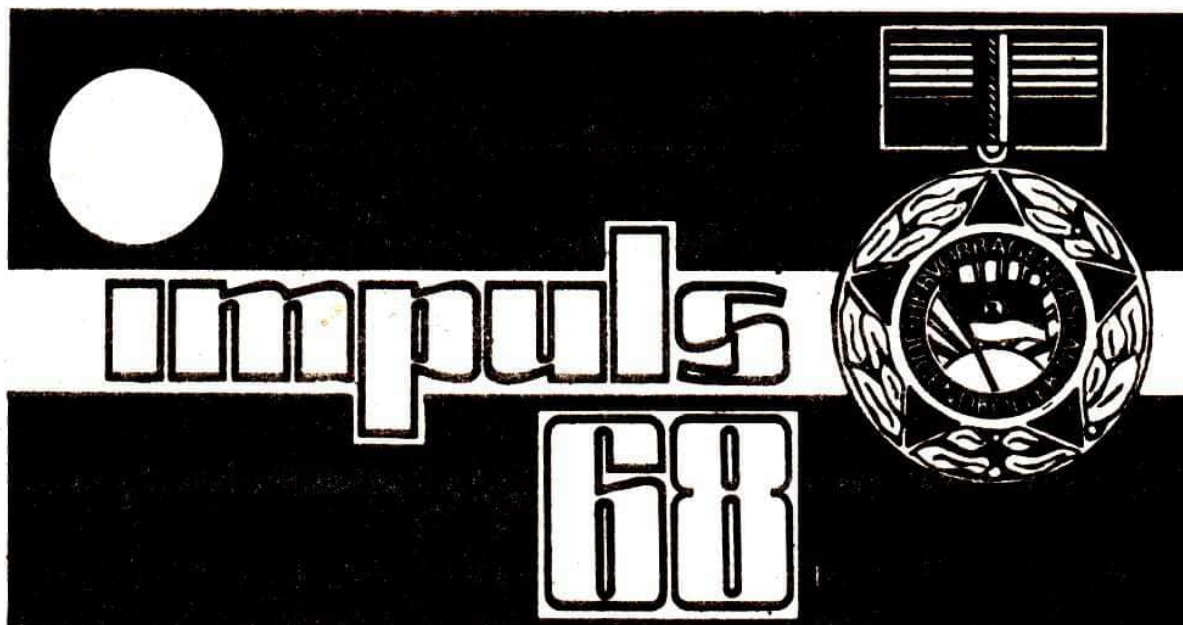
Die  
Supernova  
1987A

★

Bücher-  
markt

**Die Friedensfähigkeit des Menschen  
aus der Sicht der Anthropologie**

von J. Pittelkow



Jörg Pittelkow	Die Friedensfähigkeit des Menschen aus der Sicht der Anthropologie	BIO	3
Dr. H. Bauer	Internationale Chemieolympiaden	CHE	15
Dr. Tobias Damm	Die Grundlagen des Farbfernsehens (Teil 2)	PHY	17
Karsten König	Excimer-Laser in der Herzchirurgie	PHY	22
Siegfried Oertel	Das wellenmechanische Atommodell (Teil 5)	CHE	31
Dr. Bringfried Stecklum	Die Supernova 1987A – ein vorläufiges Fazit	ASTRO	39
	BÜCHERMARKT		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 27122/217

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: Dr. Roland Colditz, Sylvia Kaschke, Antje Katzer, Petra Richter, Peter Kroll,

Alexander Niehardt, Ralph Huonker, Rainer Strobel

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, König, Stecklum

Redaktionsschluß: 22. 5. 1987

Titelbild: zum nebenstehenden Beitrag (Foto: WiFo)

Jörg Pittelkow  
Jena

## Die Friedensfähigkeit des Menschen aus der Sicht der Anthropologie

Immanuel Kant beschrieb in seiner Schrift "Zum ewigen Frieden" den Menschen als von zwei Kräften beherrscht, dem seinem Wesen eigenen Kriegsdrang -den Krieg hielt er für den Naturzustand des Menschen- und dem gleichfalls natürlich bedingten Friedensdrang. Aus beider Wechselwirkung ergäbe sich bei entsprechender Staatsform und Erziehung die Möglichkeit des friedlichen Zusammenlebens. Damit beschreibt Kant das Erscheinungsbild des menschlichen Verhaltens. Wenngleich Kants Vorstellungen über das Zusammenleben der Naturvölker spätestens durch Morgans Forschungen, auf die sich Engels stützte, revidiert sind, wird im Menschen noch heute gern ein "Mörderaffe" gesehen (R. Ardrey), um die Notwendigkeit von Kriegen biologisch zu beweisen.

Hier soll der Versuch des Nachweises der "biologischen Friedensfähigkeit" des Menschen und der Erklärung seines aggressiven Verhaltens unternommen werden.

Organismen, also auch der Mensch, besitzen keinen immanenten Aggressions- oder Tötungstrieb. Kriege sind folglich nicht auf biologische, sondern auf politisch-ökonomische Ursachen zurückzuführen. Jedoch wirkt in diesen Prozessen auch biotisch Determiniertes. Das soll in diesem Beitrag angesprochen werden. Im Mittelpunkt der Betrachtungen steht das Aggressionsverhalten.

### Aggressionsverhalten und tierliches Verhalten

Aggressionsverhalten, das sich qualitativ von der Aggression im politischen Sinne unterscheidet, ist jedes Verhalten, das Artgenossen hemmend zu beeinflussen versucht (Stephan 1977). Es ist Bestandteil des arttypischen Gesamtverhaltens. Das Verhalten ist die Interaktion des Individuums mit der Umwelt auf der Grundlage eines Informationsaustausches (Tembrock 1984), also die Reaktion auf Umwelt- sowie körpereigene Reize. Jeder Organismus besitzt sechs Umweltansprüche, nämlich Raum-, Zeit-, Informations-,

Stoffwechsel-, Schutz- und Partneransprüche. Mit seinem Verhalten sichert der Organismus seine vitalen Lebensinteressen gegenüber der abiotischen und der biotischen Umwelt. Gegenüber letzterer dient Schutzverhalten bzw. agonistisches Verhalten, das gegen Artgenossen gerichtet ist und dessen extreme Variante das Aggressionsverhalten ist.

Die Umweltansprüche differenzieren sich jeweils in drei Ordnungen, so daß sich folgende Ebene des agonistischen Verhaltens ergeben:

1. Agonistisches Verhalten zwischen zwei Individuen zur Sicherung der individuellen Umweltansprüche
2. Agonistisches Verhalten in einer Gruppe, etwa bei Herausbildung einer Rangordnung zur Sicherung der biosozialen Ansprüche
3. Agonistisches Verhalten zwischen Gruppen zur Sicherung der Umweltansprüche für die Gruppen" (Tembrock 1984).

Entsprechend den einzelnen Ereignisfeldern des Verhaltens zeigt sich das Aggressionsverhalten in unterschiedlichen Formen: Im Kontaktfeld, in dem der physische Kontakt zum Verhaltensobjekt gegeben ist, kommt es zu Kämpfen zwischen Artgenossen. Im Nahfeld, in dem das Verhaltensobjekt identifiziert und seine Raumlage bestimmt ist, wird durch Imponieren Kampfbereitschaft angezeigt, um den Kontrahenten zur Flucht zu veranlassen. Im Distanzfeld, in dem eine Orientierung auf ein potentiell Verhaltenobjekt beginnt, wird "gegen Unbekannt" gedroht indem Reviergrenzen gekennzeichnet werden, sei es durch Duftmarken, durch Gesang oder Abschreiten des beanspruchten Territoriums.

Das Aggressionsverhalten im Nah- und Distanzfeld dient folglich der bloßen Information; nur im Kontaktfeld werden Kämpfe ausgetragen, die zur Dominanz des Stärksten führen.

Zum Schutzverhalten gehört das sog. mobbing, das Aufhassen gegen den Freßfeind, mit dem sich das potentielle Beutetier verteidigt. Dazu gehören die passive Mimikry, die Flucht sowie der Angriff. Das Jagen ist kein Aggressionsverhalten, sondern Nahrungserwerb.

Verursacht wird das Aggressionsverhalten durch konkurrierende Ansprüche von Artgenossen, wobei sich der stärkste durchsetzt,

was im Sinne der Selektionslehre arterhaltend wirkt, da erstens das bestangepaßte Individuum seine Erbanlagen weitergeben kann und zweitens eine Überbevölkerung des Territoriums vermieden wird (vergl. Behrens/Padberg 1976). Stephan (1977) verweist andererseits darauf, daß sozialer Streß bei Tieren ein Regulationsmechanismus der Populationsdichte unter Ausschluß des Aggressionsverhaltens sein kann. Drittens bildet sich eine Rangordnung heraus, die aufgrund der Rollenverteilung innerhalb der Gemeinschaft Konflikte auf ein Minimum reduziert und eine sichere Führung durch das Leittier gewährleistet. Mitunter bilden sich (z.B. bei Pavianen) Führungsgruppen heraus, weil die alten, aber sehr erfahrenen Männchen einzeln in Rankämpfen den kräftigen adulten Männchen unterlegen wären.

Notwendigerweise kann es nicht Ziel solcher Rankämpfe sein, den Gegner zu töten, da das erstens die Art bzw. die Gruppe schwächen würde und zweitens das Nachrücken zur Zeit noch unterlegener Tiere verhinderte. Drittens wäre eine Verpaarung von Territorien beanspruchenden Partnern unmöglich, da die Abwehrbereitschaft des einen mit dem immer weiteren Eindringen des anderen in besetzte Gebiete ansteigt. Die Selektion brachte ein kompliziertes System der Aggressionshemmung hervor. Bei revierbeanspruchenden Arten erkennt das Männchen das Weibchen, greift nur scheinbar an und droht, da das Aggressionsverhalten als genetisches Programm gespeichert ist und bei entsprechenden Reizen abgerufen wird, gegen einen imaginären Gegner oder gegen einen Nachbarn (Lorenz 1966). Die wirklichen Kämpfe sind ritualisiert, und zwar um so stärker, je gefährlicher die Waffen der betreffenden Art sind. Das schließt Beschädigungskämpfe mit tödlichem Ausgang zwischen Gruppen derselben Art nicht aus. Nach Behrens/Padeberg (1976) und Stephan (1977) besitzen Ratten, Wölfe und Löwen offenbar keine Tötungshemmung gegenüber Artgenossen, die nicht dem Sozialverband angehören. Die Kämpfe beginnen mit dem Imponieren, das den deutlich Schwächeren zur Flucht bzw. Unterwerfung veranlaßt. Ausgeführt werden sie durch Kräftemessen, bei dem die Waffen entweder gar nicht oder kaum tödlich wirkend eingesetzt werden. Das unterlegene Tier flieht, wobei es durch sein Verhalten oder die Färbung seiner Rückseite beim Sieger eine genetisch fixierte Kampfhemmung auslöst. Die gleiche Hemmung wird durch das Verschwinden

aggressionsauslösender Signale erreicht. Die dritte Möglichkeit, die bei Beschädigungskämpfe führenden Arten (z.B. Wolf) auftritt, ist die Einnahme der Demutshaltung. Dabei wird die Kehle ungeschützt dargeboten und infantiles Verhalten gezeigt, was beim Sieger Pflegeverhalten auslöst, wodurch jegliches aggressive Verhalten gegenüber dem Unterlegen erlischt. Nach Rubinstein (1977) ist der Wechsel der psychischen Grundprozesse Erregung und Hemmung der Aufgabe untergeordnet, die Beziehung zwischen den Individuen und deren Lebensbedingungen zu verwirklichen.

Aggressives Verhalten gegen Jung- und weibliche Tiere ist im Normalfall nicht möglich. Bei Menschenaffen ist ein wesentliches Kriterium der Führungsqualitäten des Leitiers seine Kinderfreundlichkeit. Das Pflegeverhalten gegenüber Jungtieren führt zu engen Mutter-Kind-Beziehungen, in denen die Jungen geprägt werden und Verhaltensweisen erlernen. Das Jungtier ist für die Mutter nicht Artgenosse sondern Pflegeobjekt, das durchaus einer gänzlich anderen Art angehören kann. Je höher eine Art entwickelt ist, umso mehr Verhaltensweisen muß das Jungtier neben in sensiblen Phasen erfolgenden Prägungen erlernen. Die zwischenindividuellen Beziehungen führen bei einigen Arten zu längerandauernden Partnerschaften. Vogel (1984) berichtet von einem Mantelpavianweibchen, das durch raffiniertes "Intervenieren" und Ausnutzen von Rangkämpfen in eine Partnerschaft mit dem von ihm begehrten Männchen zu kommen suchte. Bei Schimpansen wurden sogar Adoptionen beobachtet (Feustel 1978), die normalerweise und auch bei rezenten Naturvölkern nicht üblich sind.

Während das Aggressionsverhalten weitestgehend der Abgrenzung, der Information dient, primär dem Vermeidungsverhalten zuzurechnen und so gesehen relativ passiv ist, erweist sich das Kontakt- und Pflegeverhalten hingegen als wesentlich aktiver. Daraus ergibt sich, daß der Mensch aufgrund seiner biotischen Anlagen wesentlich stärker zu Friedfertigkeit als zu ernsthafter Auseinandersetzung neigt. Das Aggressionsverhalten ist keiner der großen Triebe (Durst, Hunger, Fortpflanzung), wie es Lorenz sah, sondern Teil des Verhaltensspektrums, also Mittel und nicht Selbstzweck. Das Verhalten ändert sich, bis hin zu Fehlreaktionen und Bioneurosen, wenn die Tiere in Gefangenschaft isoliert oder mit zu vielen Artgenossen vergesellschaftet werden bzw. eine

anderweitige Einschränkung ihrer Umweltansprüche erfolgt. Das führt häufig zu übersteigter Aggressivität bei Außerkraftsetzung der Tötungshemmung, die sich als Autoaggression gegen den eigenen Körper richten kann, wenn ein Gegner fehlt. Offensichtlich kann es dabei bis zur Ausrottung einer Sozietät durch eine andere derselben Art kommen. Mit dem Phänomen des sogenannten egoistischen Gens ist der Babymord bei den Languren und den Afrikanischen Löwen zu erklären. Übernehmen Männchen einen Harem, töten sie für eine gewisse Zeit die zum Harem gehörenden neugeborenen Jungtiere, wodurch dann ausschließlich eigene Nachkommen aufgezogen werden (Lundberg 1982). Gerade solche Überlastungen (Streß) sind für psychische Erkrankungen, aggressives Verhalten bis zum Amok oder Suizid des Menschen verantwortlich. Solches äußert sich im täglichen sozialen Leben, ist aber keine Kriegsursache (vgl. Tembrock 1983, Woit 1984).

### **Aggressive Komponenten im Verhalten des Menschen**

Im System der Organismen nimmt der Mensch eine Sonderstellung ein. Während die Selektion bei allen anderen Arten eine Anpassung an spezielle Umweltbedingungen, eine Spezialisierung, hervorbrachte, blieb der Mensch universal angepaßt, körperlich unspezialisiert. Das gestattete ihm die Ausprägung des Sozialverhaltens, die Ausbildung und Anwendung der Denkfähigkeit sowie die Anpassung der Umwelt mittels Arbeit (Osche 1983). Zur biotischen trat die soziale Komponente hinzu und wurde für das Verhalten bestimmend, ohne daß das Biotische an Wirkung verlor. Solange beide Komponenten relativ übereinstimmen, bedeutet das für das Individuum eine enorme Leistungsfähigkeit. Stimmen sie nicht überein, erfahren die Betroffenen Streß und Frustration.

Das menschliche Zwischenhirn speichert die während der Evolution erworbenen und genetisch fixierten Erfahrungen, die die Grundlage für Emotionen bilden. In der stammesgeschichtlich jüngeren Großhirnrinde vollziehen sich alle Denkprozesse. Ein Reiz durchläuft zuerst das Zwischenhirn, bevor er im Großhirn anlangt, und kann bei entsprechender Intensität eine Affekthandlung ausgelöst haben, ehe die rationale Reizverarbeitung beginnt. Folglich gibt es kein Denken ohne Emotionen und keine gedankenlosen Gefühle (Fro-

low/Pastuschny/Bergner 1982).

Im Gegensatz zu Tieren bildet das Verhalten des Menschen trotz genetisch determinierter Grundverhaltensmuster ein offenes System, das durch gesellschaftliche Gegebenheiten geprägt wird. Dennoch wirken ursprüngliche Verhaltensmuster vor allem durch ihre Signalwirkung, die oft entsprechendes Antwortverhalten auslöst. Äußerlich mögen sich viele biotische Verhaltensweisen und politische Gesten gleichen. Sie wurden entlehnt, werden deshalb verstanden, tragen aber andere Inhalte (vgl. Hollitscher 1972, Drvota 1986). Es existiert kein kausaler Zusammenhang zwischen grundlegenden biotischen Eigenschaften des Menschen und den hochkomplexen sozialökonomischen und politischen Prozessen. "Biologisch gesehen gibt es keinerlei Verbindung zwischen einer exerzierenden Armee und dem weit aufgerissenen Maul, mit dem ein Pavian seinen zeitweiligen Konkurrenten bedroht" (Leakey/Lewin 1980).

Zwei Faktoren schränken die Sozialansprüche des Menschen erheblich ein: Erstens das Leben in der anonymen Großgesellschaft, das zu einer gewissen Entindividualisierung und Orientierungslosigkeit mit Identifikationsschwierigkeiten bis hin zu psychischen Störungen führen kann, denn "Der Mensch ist ursprünglich für ein Leben in individualisierten Verbänden geschaffen" (Eibl-Eibesfeldt 1981). Wegen des Überangebotes von Kontakten kommt es zur Kontaktarmut, gleichzeitig jedoch zur Herausbildung kleiner Gruppen (Interessengemeinschaften), die durchaus in der Großgesellschaft erfahrene Frustrationen ausgleichen. Reaktionen auf die Großstadtreize, zu denen Lärmbelästigung, künstlicher Langtag, Arbeitstempo, Monotonie, fehlende Freiräume gehören, sind vor allem Flucht "my home is my castle"/"Flucht ins Grüne", Abneigung gegen Fremde und erhöhte Bereitschaft zu aggressivem Verhalten. Die Anpassung an diese besonderen Umweltbedingungen bildet das Spannungsfeld unserer gegenwärtigen Evolution (Eibl-Eibesfeldt 1971, 1983; Drvota 1986; Stephan 1977; Tembrock 1984).

Zweitens, das ist der am stärksten wirkende Faktor, die Frustration, die die Angehörigen der Klassengesellschaft erfahren. Die Unterwerfung aller vitalen Interessen, wie auch der individuellen Schöpferkraft der Massen unter die politisch-ökonomischen Interessen einer Minorität führt ganz wesentlich zu sich in allen Klas-



sen und Schichten zeigendem Aggressionsverhalten, das von Grzimek treffend als "Radfahrerverhalten" bezeichnet wurde. Wird es orientiert, bildet es quasi die biologische Grundlage des Klassenkampfes, was zu verhindern die herrschende Klasse bestrebt ist. Neben der Organisierung der Klassen, die bekanntlich erhebliche ideologische Arbeit erfordert, kommt es zu anarchistischen Aktionen und zu solchen Fehlhandlungen wie Kindesmißhandlungen und Fremdenhaß. Um im täglichen Leben kein Aggressionsverhalten zu provozieren, setzte sich eine Uniformierung ("Vermausgrauung des Mannes" Eibl-Eibesfeldt 1971, 1984) durch, die jegliches Imponieren vermeidet bzw. dieses bei bestimmten Anlässen mit übermäßigem Aufwand an Rangabzeichen und Statussymbolen zuläßt. Bei den Naturvölkern gehört das Imponieren zum täglichen Leben, wodurch kein Mitglied der Gemeinschaft ernsthaft eingeschränkt wird. Auch gilt das Erringen einer Führungsposition nicht als Lebensziel. Mit ihr verbinden sich im wesentlichen kaum Vorteile, weshalb nur solche Personen Häuptlinge o.ä. werden, die das persönliche Wohl hinter das Gemeinwohl stellen.

Nicht selten reagiert der sogenannte zivilisierte Mensch im täglichen Leben unangemessen aggressiv. Das rührt wohl aus der Überreizung und der sich nun ergebenden Kanalisierung des Ärgers her. Zudem unterliegt der Mensch einer sozialen Normierung, die mitunter unsinnige, z.T. inhumane Vorstellungen hervorbringt. Durch Alkohol oder Drogen hervorgerufenen Bewußtseinsstörungen können ebenfalls Fehlverhalten zulassen. Bei Anwendung einer Waffe kann er deren Wirkung rein emotional nicht abschätzen. Für Lorenz (1966) ist das äußerste Ziel des Aggressionsverhaltens, den Gegner "abzuwatschen", niemals aber ihn zu töten. Letzteres geschieht, so makaber es klingen mag, ungewollt und gleicht eher einem hart zu bestrafenden Unfall. Hiervon muß Mord deutlich getrennt werden. Das relative Unvermögen, die Wirkung von Werkzeugen, Knüppeln oder Waffen einzuschätzen, führte in urgeschichtlicher Zeit bei Auseinandersetzungen auch zum Totschlag (Behrens/Padberg 1976, Kunter 1981, Lorenz 1966), jedoch war die Urgesellschaft nicht von Kämpfen gekennzeichnet, sondern von der Notwendigkeit, Existenzmittel für die Gemeinschaft zu gewinnen (Löther 1976). Die von R. Dart als Folgen von Innergruppenauseinandersetzungen interpretierten Frakturen vieler südafrikanischer

Australopithecinenfossilien erwiesen sich nach Johanson (1984) und Leakey (1980, 1981) als von Raubtieren oder vom Druck der die Fossilien umschließenden Sedimente verursacht. Die Theorie vom Killer-Affen wurde damit endgültig unhaltbar.

Sehr rasch entwickelten sich Normen, die das Töten vor allem von Angehörigen der eigenen Gemeinschaft verhinderten. Diese Tabus sind um so strenger, je aggressiver solche Gruppen veranlagt sind. Die unterschiedlich starke Ausprägung des Aggressionsverhaltens ist möglicherweise genetisch bedingt. Es wird eine Beziehung zwischen dem männlichen Gen XYY und gesteigerter Aggressionsbereitschaft vermutet. Bei ungünstigen sozialen Verhältnissen sollen die Träger dieser Erbkombination anfälliger für kriminelle Handlungen sein (Vogel 1983, Tembrock 1977). Hollitscher (1975) meint, die gesteigerte Aggressivität ergäbe sich nicht aus dem Gen, sondern entspringe der Frustration, die diese aufgrund ihrer Erbkombination sehr großen Menschen erfahren. Krankhafte Veränderungen bzw. Zerstörungen bestimmter Hirnareale können ebenso wie elektrische Reizung mittels implantierter Elektroden zu starkem Aggressionsverhalten führen, wie Haschke (1986) zeigte.

Ein weiteres Phänomen der Urgesellschaft ist der Kannibalismus. Er ist jedoch keine spezielle Form zur Lösung von Ernährungsproblemen, sondern trägt religiös-kultischen Charakter. Dabei wird sogar die Hemmung, Artgenossen zu fressen, überwunden, was auf die starke soziale Überformung hinweist (Feustel 1978, Pittelkow 1981). Herrmann (1974) bezeichnet den Kannibalismus als erste große Fehlleistung der Menschheit; es war der Versuch, Macht über das Leben zu erlangen (Herrmann 1984). Pauli (1978a, b; 1979) zeigt, daß sich der kannibalistische Kult in bestimmten Sonderformen bis ins Mittelalter hinein gehalten hat. Kannibalismus steht in keiner Weise mit Aggressionsverhalten in Beziehung.

Über Auseinandersetzungen zwischen Gruppen rezenter Naturvölker gibt es zum Teil gegensätzliche Aussagen. Einerseits sollen solche Auseinandersetzungen im allgemeinen unblütig verlaufen, andererseits wird von erbitterten grausamen Kämpfen, die bis zum Auslöschen der gegnerischen Gruppe führen können, berichtet. Interessanterweise sind die Krieger nicht der Meinung, Artgenossen (also Menschen) zu töten, sondern Nicht-Menschen. Diese Vor-

stellungen sind offensichtlich so alt wie die entsprechenden Stammesfehden, deren Ursprung niemand mehr kennt, und die nun in der Vorstellungswelt der betreffenden Stämme einen festen Platz eingenommen haben. Hier fallen Ähnlichkeiten sowohl zum Kannibalismus-Phänomen, als auch zu modernen polit-ideologischen Praktiken der Kriegsvorbereitung und des Völkerhasses auf. Die Verbindung solcher Kampfakte mit kulturell-geistigen Vorstellungen macht deutlich, daß Tötungshandlungen nicht durch einen angeborenen Tötungstrieb hervorgerufen werden.

Teilweise werden die Kämpfe durch Rituale geregelt, oder ersetzt, so daß sie eher sportlichen Wettbewerben ähneln oder in Form von Schimpfkanonaden bzw. Sängerwettstreiten durchgeführt werden. Zu beachten ist, daß neben dem Imponieren vieles unternommen wird, um ein Band zwischen den Gruppen zu knüpfen oder zu festigen. Methoden dazu sind gemeinsame Feste, Handel, Gespräche, gemeinsame Jagden (überhaupt die Suche nach Gemeinsamkeit), das Lächeln als universellste aller Kontaktgesten, die Androhung des Abbruchs der Beziehungen. Symbolisiert wird die Friedfertigkeit durch Kinder, die Pfelegeverhalten auslösen, das sich auf die Gruppe überträgt. Die absolute Sicherheit eines Kindes (und eines hilfebedürftigen Erwachsenen) hinsichtlich Schutz und Pflege wird als Urvertrauen bezeichnet (Eibl-Eibesfeldt 1971, 1981, 1983). Dieses wird häufig enttäuscht, was zu Fehlverhalten führen kann. Deutlich wird das am Deprivatisierungssyndrom, das durch ungenügenden oder fehlenden Kontakt des Kindes zur Mutter-Person hervorgerufen wird (Drvota 1986, Hellbrügge 1981).

In der Kindheit werden soziale Verhaltensweisen erlernt, die den biotischen Veranlagungen im wesentlichen nicht widersprechen dürfen und ein Zusammenleben mit möglichst wenigen Auseinandersetzungen gewährleisten müssen. Es sollte ernsthaft an der Entwicklung von Umwelt- und Sozialkonzepten gearbeitet werden, die den Menschen kein kulturelles Unbehagen bereiten, sondern sich an den determinierten biologischen Eigenschaften orientieren, die bei ihrer vollen Entfaltung die notwendigen Bedingungen für die Herausbildung des Sozialen sind.

Wichtig ist die Erziehung zu Hilfsbereitschaft und Toleranz. Tiere schließen abweichende (kranke) Artgenossen aus, was für die menschliche Gesellschaft indiskutabel ist. Jedoch ertragen die

Menschen Abweichungen von der Norm in ihrer Umgebung nur schwer, was bis zu Diskriminierung und Gewaltanwendung führen kann. Die Neigung zu Konformität und Intoleranz ist vor allem Ergebnis der gesellschaftlichen Erziehung, zugleich aber auch biotisch veranlagt. Die häufig bei Kindern sehr starke Intoleranz macht eine erzieherische Überformung dieses Verhaltens erforderlich (Drvota 1986, Tembrock 1984 Wolf/Hess 1985). Dafür gibt es reale Chancen, denn selbst Schimpansen nehmen gelegentlich Adoptionen vor; urgeschichtliche Funde weisen darauf hin, daß Krüppel von ihrer Gemeinschaft versorgt wurden. Zerner (1986) berichtet von Erfolgen der Psychotherapie beim Abtrainieren übermäßigen Aggressionsverhaltens bei Kindern und Jugendlichen. Sehr wesentlich ist die Ausprägung von nichtaggressiven Verhaltensweisen, die Angriffe und Drohungen gegen andere Menschen verhindern. Bei Naturvölkern lernen die Kinder, ihre Wut ausschließlich an Dingen auszulassen. Weitere Möglichkeiten sind das Sporttreiben oder das Lösen komplizierter Areitsaufgaben bzw. politisches und soziales Engagement (Lorenz 1966, Eibl-Eibesfeldt 1971). Dies ist nicht widerspruchsfrei, denn die unbedingte Erziehung zum Frieden steht einer notwendigen Verteidigungsbereitschaft gegenüber.

Die Kinder können jedoch ebenso zur Aggressivität erzogen werden. Drvota (1986) und Johst (1976) weisen darauf hin, daß die Nachkommen aggressiver Eltern deutlich aggressiver reagieren als Kinder friedfertiger Eltern. Vor allem in frühkindlichen kritischen Phasen (3. bis 6. Monat, 2. Lebensjahr) erfahrene Frustrationen haben im Vergleich zum Einfluß der Geschlechtshormone eine wesentlich stärkere irreversible Wirkung, die sich später in überdurchschnittlich ausgeprägtem Aggressionsverhalten ausdrückt. Hier zeigt sich wiederum die Verflechtung der sozialen und der biotischen Determination menschlichen Verhaltens.

Frustrationsvermeidung durch Verbesserung der Lebensbedingungen sowie bestmögliche Befriedigung der emotionalen Grundbedürfnisse der Säuglinge und Kleinkinder sind wichtige Aufgaben bei der notwendigen Humanisierung der Umwelt.

Inkonsequenz, nachlässige Erziehung und die sogenannte non-frustration-children-Erziehungsmethode fördern ebenfalls das Aggressionsverhalten. Zerner (1986) nennt als weitere begünstigende Faktoren die Anonymität der Gruppe, weil einzelne Mitglieder

glauben, sich der Verantwortung entziehen zu können, die Anwesenheit von Außenseitern, denen gegenüber aggressives Verhalten als gerecht empfunden wird, Befehle/Anweisungen einer (vermeintlichen) Autorität, Hinweisreize auf aggressives Verhalten (Waffen, Slogans) sowie aggressive Idole (Filmhelden, Sieger bestimmter Sportarten). So vorbereitet können sich im täglichen Leben anstauende Frustrationen durch geschickte Manipulierung gegen bestimmte Bevölkerungsgruppen oder Völker gerichtet werden, an denen die Menschen quasi Wut und Zorn auslassen können. Ein sozialer Sündenbock wird etabliert.

Ebenso wie die Schimpansen bei einem gemeinsamen Angriff auf einen Leopard ihre Furcht durch rhythmisches Stampfen und Schreien betäuben, verdrängt der Mensch seine Angst eines gemeinschaftlichen Zieles wegen. Das Zusammenstehen gegen einen realen oder vermeintlichen Feind knüpft und festigt die Beziehungen der Menschen untereinander. Aber nicht das biologische Verhalten entscheidet, sondern die politische Zielsetzung, die sich des Verhaltens bedient, denn die dem Verhalten zugrundeliegenden physiologischen Prozesse sind wertfrei. Während sich die eine Seite im Völkerhaß ergeht, mobilisiert die andere alle Kräfte zur Solidarität oder zur Befreiung der Heimat.

Zum Kriege treibende Kräfte sind sehr stark daran interessiert, persönliche Kontakte ihrer Soldaten mit dem tatsächlichen oder potentiellen Gegner zu vermeiden, da persönliches Kennen das Aggressionsverhalten stark hemmt, und spätestens an diesem Punkt ideologische Zweifel aufkommen. Gerade mit diesen Zweifeln beginnt oft das Erkennen der wirklichen Kriegsursachen. Der Herausbildung von Konventionen zwischen den Schützengrabensoldaten des Ersten Weltkrieges über die Kampflinie hinweg folgte das Fraternisieren der Truppen, die Soldatenverbrüderung im Osten und schließlich die den Krieg beendende Novemberrevolution.

## **Zusammenfassung**

Verhalten ist die auf Informationsaustausch basierende Auseinandersetzung eines Organismus bzw. einer Gruppe von Organismen mit der abiotischen und der biotischen Umwelt, um die Umweltansprüche optimal zu realisieren. Die Stärke der Reaktion des Organismus

auf den Reiz wird durch die inneren Motivationszustände des Organismus bestimmt.

Das Aggressionsverhalten ist Teil des Verhaltensspektrums, ist also kein Grundtrieb, sondern eine Möglichkeit des Reagierens auf Einschränkungen der Umweltansprüche. Vor allem dient das Aggressionsverhalten der Information und ist nicht von vornherein auf das Töten von Artgenossen gerichtet. Durch infantile Signalreize wird es zumindest bei Säugern meist von Pflegeverhalten überlagert.

Übermäßiger Streß durch inadäquate Umweltbedingungen, Hirndefekte, Wirkung von Pharmaka und entsprechende Erziehung können (auch beim Menschen) zu verstärketer Aggressivität und psychischem wie sozialem Fehlverhalten führen.

Neben einigen grundlegenden angeborenen Verhaltensmustern verfügt der Mensch über ein offenes System von Verhaltensweisen, die in ihrer Verwirklichungsmöglichkeit biotisch determiniert sind, zu ihrer Ausbildung aber des gesellschaftlichen Einflusses bedürfen.

Auf den Menschen wirken zwei grundlegende Streßfaktoren: Die Belastungen der modernen Zivilisation, denen er durch eine bessere Umweltgestaltung und der Plastizität des eigenen Verhaltens begegnen kann, und die Frustrationen, die das Individuum in der Klassengesellschaft erfährt. Die sich dadurch anstauenden Aggressionen werden von zum Kriege treibenden Kreisen durch geschickte Manipulationen gegen andere Völker oder bestimmte Bevölkerungsgruppen gerichtet. Wie auch Auseinandersetzungen bei rezenten Naturvölkern zeigen, entspringen Kriege keinem menschlichen Tötungstrieb, sondern politischen, ökonomischen oder ideologischen Ursachen. In dieser Tatsache liegt die Möglichkeit der Verhinderung von Kriegen begründet.

Viele Phänomene zeigen, daß das menschliche Verhalten entscheidend auf das friedfertige Zusammenleben in der Gemeinschaft gerichtet ist.

Ein Literaturverzeichnis wird auf Wunsch zugesandt.

Die XVIII. Internationale Chemieolympiade fand vom 6. bis 15.7.1986 in Leiden (Holland) statt, an der Schüler der 11. und 12. Klassen aus 22 Ländern teilnahmen. Zur DDR-Vertretung gehörten auch zwei Schüler unserer Spezialklassen, von denen einer eine Bronzemedaille errang und der andere einen 4. Platz belegte.

Diese jährlich ausgetragenen Chemieolympiaden sind ein guter Prüfstein für Schüler der Abiturstufe, sich am internationalen Niveau theoretischer und praktischer Aufgabenstellungen zu messen. Selbstverständlich ist für die an der Chemie besonders interessierten Schüler eine langfristige und intensive Vorbereitung notwendig, um in den Kreis der Nationalmannschaft aufgenommen zu werden. Diese gewissenhafte Vorbereitung der Schüler muß sich auf drei Zielrichtungen konzentrieren:

1. Erwerb von Kenntnissen auf modernen Gebieten der anorganischen, organischen und analytischen Chemie sowie der chemischen Technologie und Biochemie, da die Aufgabenstellungen der Chemieolympiaden über den Lehrstoff der Abiturstufe weit hinausgehen.
2. Intensives Trainieren der Bearbeitung von Aufgabenstellungen, die dem Niveau der Internationalen Chemieolympiaden entsprechen. Schnelles Überblicken der Aufgabe, Erkennen des Lösungsweges mit Hilfe von anwendungsbereitem Wissen.
3. Erwerb von praktischen Laborkenntnissen und -fertigkeiten, besonders auf dem Gebiet der quantitativen Analyse.

Die begabtesten Schüler unserer Spezialklassen für Chemie werden von Beginn der 11. Klasse an durch Zirkelarbeit und laborpraktische Übungen auf diese Zielstellungen hin trainiert.

Über die inhaltliche und methodische Gestaltung der Zirkelarbeit wird demnächst in der Zeitschrift "Chemie in der Schule" berichtet.

Um einen Einblick in das Niveau der Aufgabenstellungen bei Internationalen Chemieolympiaden zu geben, sollen zwei Aufgaben führender Olympiaden an dieser Stelle folgen. Die Lösungen erscheinen in der nächsten Ausgabe von "impuls 68".

### Aufgabe 1 (Anorg. Chemie)

Eine für experimentelle Zwecke hergestellte Legierung enthält Al, Zn, Si und Cu.

Werden 1000 mg der Legierung in Salzsäure gelöst, bilden sich 843 ml  $H_2$  unter Normalbedingungen. Es verbleiben 170 mg Rückstand.

Werden 500 mg der Legierung in verdünntem NaOH gelöst, entstehen 517 ml  $H_2$  unter Normalbedingungen. Auch hier verbleibt ein Rückstand.

Berechnen Sie die Zusammensetzung der Legierung in Massenprozent! (Molare Massen von Al=26,98; Si=28,09; Zn=65,37; Cu=63,55 in  $g\ mol^{-1}$ )

### Aufgabe 2 (Organ. Chemie)

Substanz A ist eine gelbliche Flüssigkeit, die in Wasser, Salzsäure und Natronlauge nicht löslich ist. Die Elementaranalyse ergab 58,60% C, 4,07% H, 11,38% N.  $M=124+1\ g\ mol^{-1}$ .

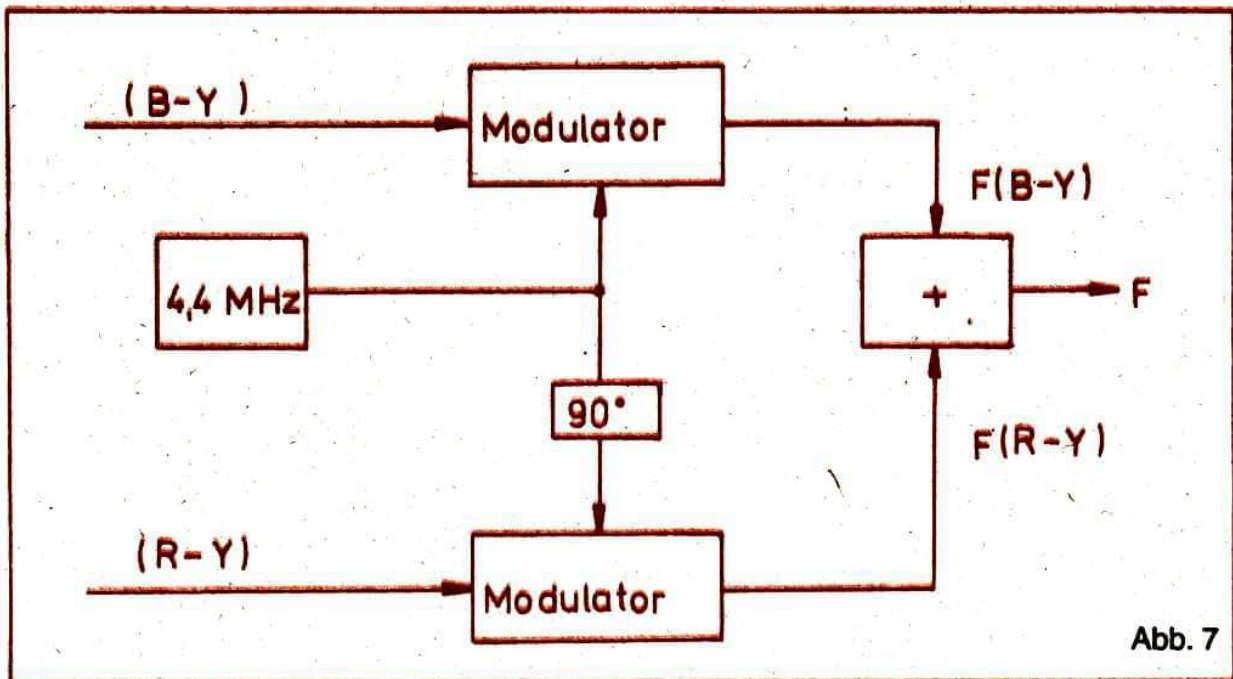
Wenn man A mit Zink und Natronlauge behandelt, erhält man B. B wird mit Salzsäure isomerisiert. Beim Neutralisieren erhält man den Stoff C. C ist leicht löslich in Salzsäure. Fügt man zur kalten, salzsauren Lösung Natriumnitrit hinzu und erwärmt, ist eine Gasentwicklung zu beobachten, und es scheidet sich die Substanz D ab. D ist in Natronlauge löslich.

Ermitteln Sie die Strukturformeln für A bis D. Beachten Sie die Reduktionsbedingungen!



### 3. Das NTSC-Verfahren

In diesem Abschnitt wollen wir das NTSC-Verfahren behandeln. Es wurde 1953 in den USA eingeführt und wird heute u.a. auch in Japan verwendet. Wie bei allen anderen Farbfernsehensystemen werden beim NTSC-Verfahren die Chrominanz- oder Farbdifferenzsignale nicht direkt dem Sender zugeführt, sondern zunächst einer Farbhilfsträgerschwingung von etwa 4,4 MHz aufgeprägt. Dazu wird ein spezielles Modulationsverfahren angewendet, das wir kurz erläutern wollen. Wie in Abb. 7 skizziert, werden der



Hilfsträger  $\Omega_0$  mit dem Signal (R-Y) und der Hilfsträger  $\Omega_{90}$  mit dem Signal (R-Y) amplitudenmoduliert.  $\Omega_{90}$  ist in der Phase um  $90^\circ$  zu  $\Omega_0$  versetzt. Als Modulatoren werden Schaltungen verwendet, bei denen die Trägerschwingung  $\Omega_0$  bzw.  $\Omega_{90}$  am Ausgang nicht auftritt, sondern nur die Summen und Differenzfrequenz zwischen der Trägerschwingung und den Chrominanzsignalen. Das

hat den Vorteil, daß ein Farbsignal nur dann vorhanden ist, wenn auch eine Farbinformation übertragen werden muß. Der ohne Trägerunterdrückung vorhandene konstante Hilfsträger könnte in Schwarz-Weiß-Empfängern zu starken Moire-Störungen führen. Nach den Modulatoren werden die beiden Signale  $F(B-Y)$  und  $F(R-Y)$  addiert. Sie bilden das Farbsignal  $F$ , dessen Amplitudenquadrat  $F^2 = F(R-Y)^2 + F(B-Y)^2$  beträgt. Der Phasenwinkel von  $F$  bezüglich  $\Omega_0$  ist:

$$\tan \alpha = F(R-Y) / F(B-Y).$$

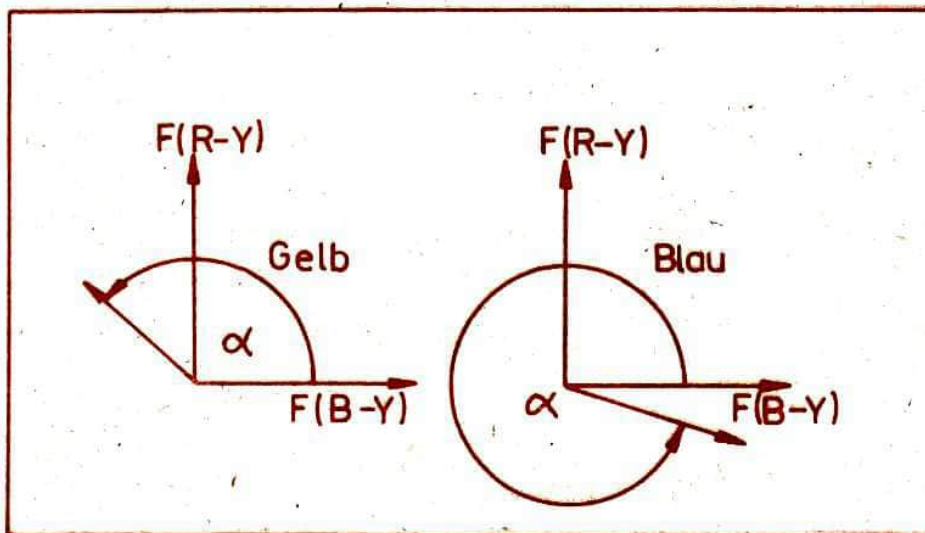


Abb. 8

In Abb. 8 sind zur Veranschaulichung einige Beispiele für die Zusammensetzung des  $F$ -Signals aus den  $F(R-Y)$  und  $F(B-Y)$ -Signalen skizziert. Wir bemerken also, daß sich als Resultat dieses speziellen Modulationsverfahrens eine gleichzeitige Amplituden- und Phasenmodulation eines einzigen Farbsignals ergibt. Die beiden Chrominanzsignale werden auf den Betrag und die Phase des Farbsignals  $F$  übertragen. So ist beispielsweise für Gelb:  $|F| = 0,44$  mit  $\alpha = 167^\circ$  und für Blau:  $|F| = 0,44$  mit  $\alpha = 347^\circ$ , d.h. beide Farben unterscheiden sich nur in der Phase des  $F$ -Signals. Diese Modulationsart wird als Quadraturmodulation mit Trägerunterdrückung bezeichnet.

Welche Frequenz wird nun genau für den Farbhilfsträger verwendet? Das Bild wird mit einer Zeilenfrequenz von 15625 Hz periodisch abgetastet. Deshalb ist auch das Spektrum (d.h. die Signalverteilung über der Frequenz) periodisch mit  $\Delta f = f_z$ .

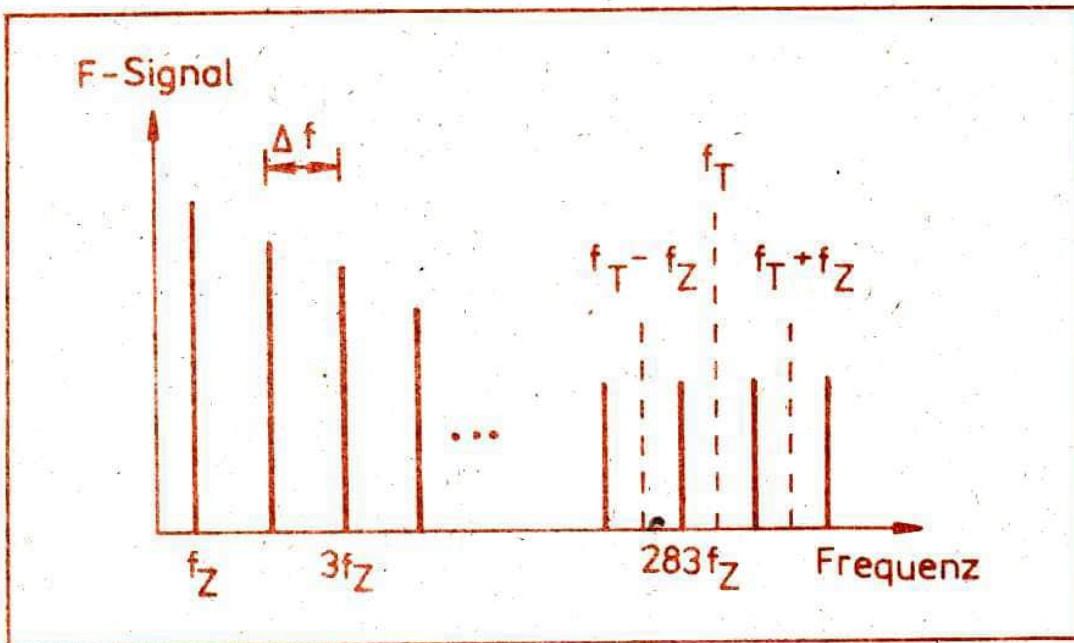


Abb. 9

Da sich nun der Bildinhalt von einer Zeile zur nächsten nur selten abrupt ändert, treten im Spektrum sowohl des  $F$ - als auch der Chrominanzsignale Linien mit einem Abstand von  $\Delta f = 15625$  Hz auf. In Abb. 9 ist dieses Spektrum dargestellt. Um Störungen und Verkopplungen zwischen  $F$ - und  $Y$ -Signal zu vermeiden, legt man nun den Hilfsträger genau zwischen zwei Linien im Spektrum des  $Y$ -Signals. Deshalb ist die Hilfsträgerfrequenz  $f_T$  ein ungeradzahliges Vielfaches der halben Zeilenfrequenz. Für das NTSC-Verfahren wurde dieses Vielfache auf 567 festgelegt, woraus sich für

$$f_T = \frac{567 \cdot 15625}{2} = 4,4296 \text{ MHz} \quad \text{ergibt.}$$

Bevor das  $F$ -Signal der Amplitude des Fernsehsenders aufgeprägt wird, wird noch das  $Y$ -Signal dazuaddiert. Dabei kann es vorkommen, daß die Summe  $F+Y$  bei großer Leuchtdichte und großer Farbsättigung den zulässigen Bereich von 0 bis 1 weit übersteigt, was zu einer Übermodulation des Senders führen würde. Um dies zu vermeiden werden die Signale  $R-Y$  und  $B-Y$  um den Faktor 0,88 bzw. 0,49 vor den Modulatoren verringert. Diese Reduzierung wird im Empfänger nach der Demodulation wieder rückgängig gemacht.

Wie funktioniert nun ein Dekoder für das NTSC-Farbfernsehen? Ein Blockschaltbild ist in Abb. 10 zu sehen.

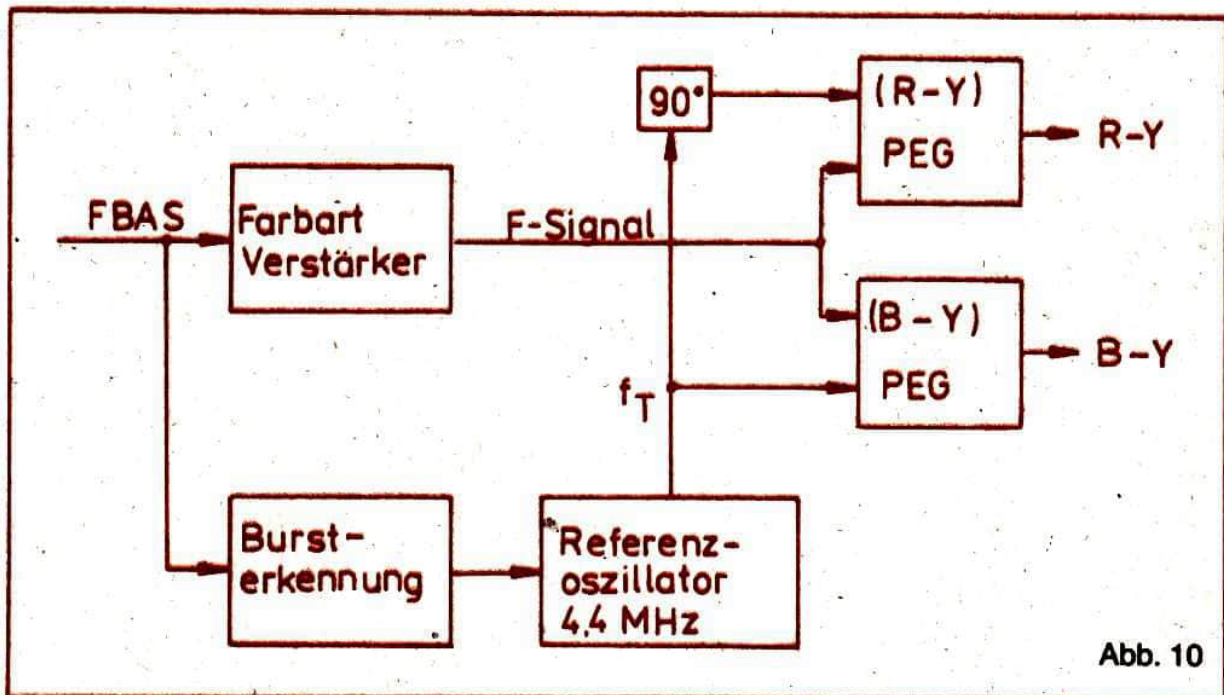
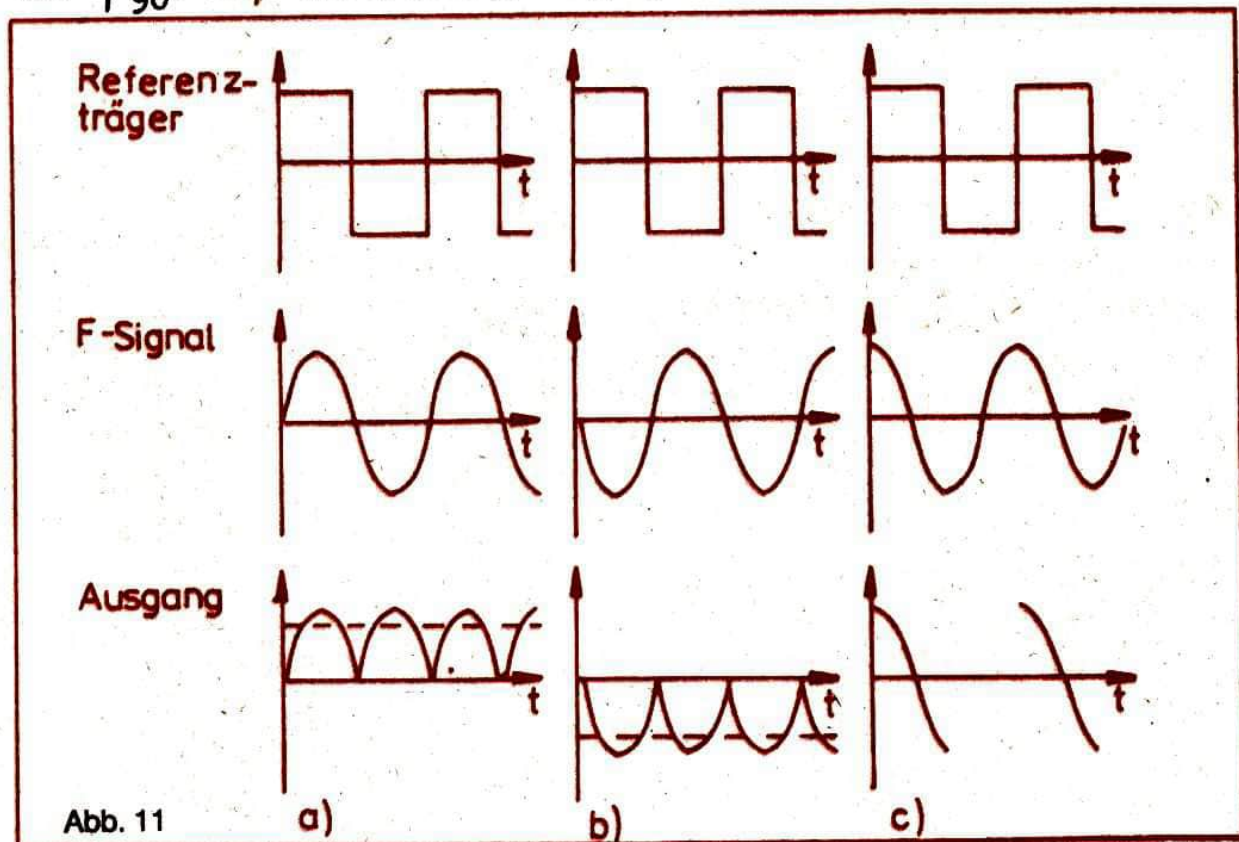


Abb. 10

Zunächst wird aus dem FBAS-Signal mit einem Bandpaß das F-Signal ausgefiltert. Die Bandbreite des Filters beträgt etwa 1MHz (entsprechend der Bandbreite der Farbinformation), seine Mittelfrequenz ist gleich der Farbhilfsträgerfrequenz. Die Farbinformation ist auch in der Phase des F-Signals kodiert. Deshalb benötigen wir zur Demodulation eine Vergleichsphase bzw. Nullphase. Da der Farbhilfsträger, auf den sich der Phasenwinkel des F-Signals bezieht, nicht mit übertragen wird, wird im Empfänger ein sogenannter Referenzträger erzeugt. Zur Synchronisation des Referenzoszillators werden zu Beginn jeder Zeile, kurz nach dem Synchronimpuls, 8 bis 10 Perioden des Farbhilfsträgers übertragen. Dieses Farbsynchronsignal wird als Burst bezeichnet. Nach diesem kurzen Synchronisationsburst zu Beginn jeder Zeile schwingt der Referenzoszillator für  $64\mu\text{s}$  frei weiter. Um Farbverfälschung zu vermeiden darf die Phase des Referenzträgers in dieser Zeit höchstens um  $5^\circ$  von der Hilfstträgerphase abweichen, weshalb ein Quarzoszillator verwendet werden muß.

Im Decoder müssen aus dem Betrag und der Phase des F-Signals wieder das (B-Y) und das (R-Y) Signal gewonnen werden. Dazu verwendet man einen sogenannten Synchrondemodulator oder phasempfindlichen Gleichrichter (PEG). Das ist im Prinzip ein Diodenschalter, bei dem das F-Signal am Ausgang entweder mit sei-

ner ursprünglichen Polarität oder umgepolt erscheint. Dieses Umschalten erfolgt im Takt der Referenzfrequenz. Wie in Abb.11 gezeigt, ergibt sich bei gleicher Phase (a) beider Signale  $U_A = +F$ , bei Gegenphasigkeit (b)  $U_A = -F$  und bei einer Phasendifferenz von  $90^\circ$  (c) eine mittlere Ausgangsspannung von  $U_A = 0$ . Eine genauere Betrachtung zeigt, daß die Ausgangsspannung vom Betrag und von der Phase des F-Signals in der zur Demodulation erforderlichen Weise abhängt. Da für  $\alpha = 90^\circ$  die Ausgangsspannung gleich 0 ist, unabhängig von dem Betrag des Eingangssignals, lassen sich auch die Signale B-Y und R-Y wieder getrennt gewinnen. Dazu wird ein PEG mit  $f_T$  und ein weiterer mit  $f_{90^\circ}$  als Referenzsignal gespeist. Zusammen mit dem



Y-Signal werden aus den beiden demodulierten Signalen (R-Y) und (B-Y) in einem Widerstandsnetzwerk (Matrix) die Spannungen für Rot, Grün und Blau wiedergewonnen und den 3 Farbsystemen der Bildröhre zugeführt.

Ein Nachteil des NTSC-Verfahrens ist, daß Phasenfehler beide Farbdifferenzsignale beeinflussen und zu Farbtonverfälschungen auf dem Bildschirm führen. Solche Phasenfehler können auf dem Übertragungsweg und im Empfänger auftreten. Um diesen Mangel zu beheben, wurde das PAL-Verfahren entwickelt, das wir im nächsten Heft behandeln.

## Laser als medizinisches Instrument

Bereits im Entstehungsjahr 1960 wurde der Laser medizinisch erprobt und gewann kurze Zeit später, insbesondere durch den Einsatz in der Augen Chirurgie (retinale Photokoagulation) als medizinisches Instrument zunehmend an Bedeutung. Heute stehen eine Vielzahl von Lasern unterschiedlicher Wellenlänge, Leistung und Betriebsart (kontinuierlich strahlend oder Impulsbetrieb) den Kliniken zur Verfügung. Häufig kann die Laserstrahlung in biegsame  $\mu\text{m}$ -dicke Lichtleiter eingekoppelt und mittels Endoskop auch in inneren Hohlorganen zugeführt werden. Die Medizin-Laser lassen sich hinsichtlich ihrer emittierten Strahlungsleistung in Gruppen unterteilen (Abb.1). Aus dieser Einteilung können Schlußfolgerungen bezüglich der Verwendung getroffen werden.

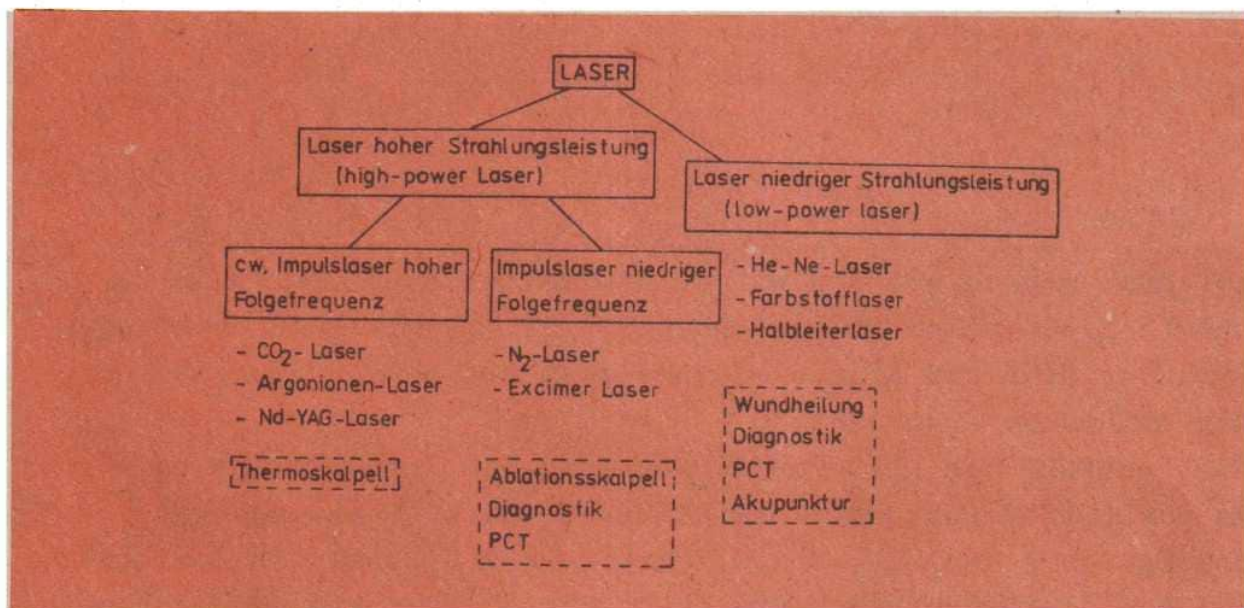


Abb.1 Einteilung der Laser hinsichtlich der Strahlungsleistung

Bei den Strahlungsquellen hoher Leistung haben die Laser die größte Bedeutung erlangt, deren Leistungsdichten thermische Nekrosen des bestrahlten Gewebes hervorrufen. Als "klassische" Laserskalpelle wirken hierbei der  $\text{CO}_2$ -Laser ( $10,6\mu\text{m}$ ), der Argon-Ionen-Laser (488 nm, 514nm) und der Neodym-YAG-Laser ( $1,06\mu\text{m}$ ). Entsprechend dem Absorptionsverhalten des biologischen Gewebes und der Leistungsdichte ergeben sich bei Bestrahlung neben der differenzierten Eindringtiefe unterschiedliche Wirkungen, so die Vaporisation, die Thermolyse (Karbonisierung), die Koagulation (Eiweißgerinnung).

Die Strahlungswirkungen der zweiten Gruppe der leistungsstarken Laser basieren im Wesentlichen auf nichtthermischen Effekten. Sie zeichnen sich durch den Impulsbetrieb bei niedriger Folgefrequenz (Anzahl der Impulse pro Sekunde) und geringer Impulsdauer (ns und sub-ns) aus. Diese Laser dienen beispielsweise der Aktivierung photodynamisch wirksamer Moleküle (Photosensibilisatoren), die bei Bestrahlung photochemische Reaktionen mit umgebenden Biomolekülen eingehen und dabei zytotoxisch (zellzerstörend) wirksam werden können. Lagern sich diese Sensibilisatoren nach Applikation zudem bevorzugt in tumorösem Gewebe an und fluoreszieren, ist die Möglichkeit einer selektiven Tumor-Photochemotherapie und Fluoreszenzdiagnostik gegeben (PCT = Photochemotherapie).

Wichtige Vertreter der leistungsstarken Impulslaser sind die Excimerlaser. Sie senden eine sehr energiereiche Strahlung aus, die bei Wechselwirkung mit biologischem Gewebe zu dem Effekt der Photoablation führt.

Laser geringer Leistung dienen beispielsweise der Wundheilung, ebenfalls der Photochemotherapie und Fluoreszenzdiagnostik von Tumoren und der Akupunktur.

Im folgenden soll auf die Excimerlaser und ihre medizinischen Anwendungen, insbesondere für die therapeutische Behandlung von Herzkrankungen, näher eingegangen werden.

## **Herzchirurgie**

Herz-Kreislauf-Erkrankungen sind häufigste Todesursache in den hochentwickelten Industriestaaten (Abb.2). Dabei zählen zu den

schwerwiegendsten Krankheiten die atherosklerotischen Veränderungen an den Wänden der Koronararterien (Herzkranzgefäße), aber auch peripherer Gefäße. Diese Veränderungen äußern sich in der Ansammlung von fettreichem Material, dem sogenannten Plaque, welches zu einer Verengung der Blutgefäße führt. Hypertonie (Bluthochdruck) und Herzbeschwerden bei Körperbelastung sind erste Symptome. Bei ausbleibender therapeutischer Behandlung kann die vollständige Gefäßblockade auftreten, die oftmals zum Tod des Patienten führt.

Gesamtzahl der Todesfälle: 221 181	
davon infolge:	
Herz-Kreislauf-Erkrankung:	129 167
Bösartige Neubildungen :	36 111
Krankheiten der Atemorgane:	12 930
Unfälle :	6 737
...	

Abb.2 Todesfälle in der DDR (1984)

Zwei Techniken der operativen Behandlung atherosklerotischer Veränderungen werden bisher hauptsächlich angewendet: die Bypass-Operation und die Ballonangioplastie. Bei der Koronar-Bypass-Operation (auch CABG=coronary artery bypass graft) wird ein Blutgefäßsegment (einem anderen Körperteil des Patienten entnommen) oder ein synthetisches Plantat parallel zu der verstopften Arterie implantiert. Diese Op-Technik wird seit vielen Jahren praktiziert, jedoch stellt eine solche Operation einen schwerwiegenden und kostenaufwendigen Eingriff dar.

Die zweite Technik besteht in der Einführung eines speziellen Katheters in das beeinträchtigte Blutgefäß (PTCA-Technik=percutaneous transluminal coronary angioplasty). An der Spitze des Gefäßes befindet sich ein Ballon, der am Ort der Verengung aufgeblasen wird. Nachteil dieser Technik ist es, daß eine Anwendung nicht bei totaler oder fast totaler und auch bei multipler Blockade möglich ist.

Auf der Suche nach neuen Therapiemethoden orientiert man sich insbesondere an zwei Forderungen:



1. Das Plaque soll möglichst vollständig entfernt werden.
  2. Die Operation soll möglichst wenig traumatisch, kostengünstig und natürlich mit hoher Erfolgsaussicht verlaufen.
- Es ist vorgeschlagen worden, mittels Laserchirurgie artherosklerotische Veränderungen, insbesondere Vaskularverstopfungen, zu behandeln. Hierbei wird immer häufiger der Einsatz des Excimer-Lasers diskutiert.

## **Der Excimer-Laser als medizinisches Instrument**

Die Abtragung des Plaques verlangt leistungsstarke Laser. Zudem soll die Laserstrahlung durch Lichtleitkabel an den gewünschten Ort transportiert werden können, ohne das eine Gefäßöffnung in Herznähe erforderlich ist. Größte Gefahr bei gefäßchirurgischen Eingriffen mit Strahlungsgeräten hoher Leistungsdichte ist die Beschädigung (Perforation) der Gefäßwand.

Daraus ergibt sich die Forderung nach einer Auswahl der geeigneten Laser.

Der  $\text{CO}_2$ -Laser ist nicht anwendbar, da die Strahlung der Wellenlänge von  $10,6\mu\text{m}$  sich bisher nicht mittels Lichtleiter transportieren läßt. Ebenso erweist sich die Strahlung des Argon-Ionen-Lasers als wenig geeignet, da i.allg. die Gefäßwand eine stärkere Absorption für die Laserwellenlänge als das Plaque aufweist, die Gefahr einer Wandeschädigung damit sehr groß ist.

Die Absorption der Nd-YAG-Strahlung ( $1,06\mu\text{m}$ ) ist für Plaque, bzw. allgemein biologisches Gewebe, nur gering. Das bedeutet, daß mit einer Tiefenwirkung zu rechnen ist.

Zudem basiert die Wirkung der genannten Laser auf thermischen Effekten; infolge Wärmediffusion in umgebene Schichten ist eine präzise, scharf abgegrenzte Bearbeitung nicht möglich. Impulslaser, z.B. der Nd-YAG-Laser, können diese Diffusionseffekte reduzieren, jedoch nicht völlig ausschließen.

Gegenüber diesen "klassischen" Laserskalpellen weist der Excimer-Laser wesentliche Vorteile auf.

Obwohl der Laser Strahlung im ultravioletten Bereich emittiert, die Strahlung also sehr energiereich ist, sind selbst bei ho-

hen Leistungsdichten keine oder nur minimale thermischen Wirkungen infolge Diffusion im biologischen Gewebe beobachtbar. Das bedeutet, ein präzises Schneiden ist möglich. So wurden Haut-, Nerven-, Hirn-, Muskel-, Knorpel-, Plaque- und Zahnmateriale getestet, ohne daß im Nachbargewebe thermische Schädigungen zu verzeichnen waren. Zudem tritt keine Tiefenwirkung auf. Das Target wird oberflächlich bearbeitet. Dabei ist zu beobachten, daß die bearbeitete Oberflächenschicht in Bruchstücke zerfällt, die sich mit großer Geschwindigkeit ablösen. Je nach Anzahl der Impulse wird so Schicht um Schicht abgetragen. Dieser Vorgang wird auch als Ablation bezeichnet. Bei Einstellung einer geeigneten Folgefrequenz und Leistungsdichte des Lasers ist somit ein relativ sicheres Arbeiten möglich.

Die Einkopplung der Strahlung des Excimerlasers in Lichtleiter ist möglich.

Zudem zeigt es sich, daß bei Wahl einer geeigneten Bearbeitungswellenlänge des Excimerlasers, die Absorption dieser Strahlung i.allg. für Plaque höher ist, als für umgebenes Normalgewebe.

### **Aufbau und Wirkungsweise von Excimer-Lasern**

Excimerlaser sind die leistungsstärksten Laserstrahlungsquellen im UV-Bereich. So betragen die Laserimpulsenergien handelsüblicher Excimerlaser zwischen 100 mJ und 1 J. Bei einer Folgefrequenz bis 250 Hz sind mittlere Leistungen von 100 W möglich. Bei Impulsbreiten von z.B. 10 ns können somit Impulsleistungen von über 10 MW erreicht werden.

Excimerlaser sind Impulsgaslaser, die molekulare Übergänge zwischen einem gebundenen und einem ungebundenen Molekülzustand (bound-free-Übergang) für den Laserprozeß ausnutzen.

Bei den verwendeten Molekülen handelt es sich zum einen um Edelgas-Edelgas-Verbindungen, bevorzugt aber um Edelgas-Halogen-Komplexe. Derartige Verbindungen sind nur im angeregten Zustand infolge ionischer Bindung, mit Lebensdauern im ns-Bereich, stabil.

Im ersten Fall bilden sich homopolare, zweiatomige Moleküle, sogenannte Dimere (engl. excited dimer), die auch als Excimere bezeichnet werden.

Im zweiten Fall entstehen heteropolare Exiplexe (excited complex), z.B. KrF\*. Auch Laser, deren aktives Medium aus einem Exciplex besteht, werden aus Gewohnheitsgründen als Excimerlaser bezeichnet. Sie sind in ihrem Wirkungsgrad den ersteren überlegen.

Die Bildung der Exiplexe/Eximere erfolgt u.a. durch unelastische Elektronenstöße z.B. mittels Elektronenstoßanregung. Die Relaxation der im angeregten Zustand sich befindenden Verbindungen in den sehr kurzlebigen Grundzustand (Lebensdauer einige  $10^{-12}$  s) erfolgt bevorzugt strahlend und wird als Laserübergang genutzt.

Je nach verwendetem Excimer/Exciplex des Lasers wird Strahlung zwischen 126 nm ( $\text{Ar}_2^*$ ) und 351 nm ( $\text{XeF}^*$ ) emittiert. In Tab.2 sind die wichtigsten Excimerlaser dargestellt.

Excimerlaser *	Wellenlänge
ArF*	193 nm
KrCl*	222 nm
KrF*	248 nm
XeCl*	308 nm
XeF*	351 nm

Abb.3 Die wichtigsten Excimerlaser

Photonen dieser Wellenlängen sind sehr energiereich ( $E = hf$ ) und führen zu Dissoziation und Ionisation von biologischem Gewebe. Hochmolekulare Verbindungen werden so in niedermolekulare Bruchstücke zerlegt.

Es wird angenommen, daß die verbleibende Energie des Photons - also der Energieübertrag, der nicht für den Trennprozeß notwendig ist - den Bruchstücken in Form kinetischer Energie übertragen wird. Die Bruchstücke verlassen das Gewebe mit hoher Geschwindigkeit.

Eine merkliche Erwärmung des verbleibenden Materials kann nicht beobachtet werden.

Die Wirkung der Excimerstrahlung beruht somit auf photochemischen Effekten. Es hat sich dafür der Begriff ablativ Photo-

dekomposition eingebürgert.

Die kleine Wellenlänge ermöglicht aber nicht nur eine präzise Oberflächenbearbeitung, sondern auch die Verwendung des Lasers als mikrochirurgisches Instrument hoher Auflösung, denn die Wellenlänge steht in direktem Zusammenhang zum erreichbaren Strahlquerschnitt. So kann beispielsweise gegenüber dem  $\text{CO}_2$ -Laser ein um den Faktor 50 kleinerer Strahlungsquerschnitt erreicht werden. Excimerlaser ermöglichen somit die Bearbeitung von Submikrostrukturen.

Experimentell zeigt es sich, daß Unterschiede in der Behandlung von biologischem Gewebe bei Verwendung verschiedener UV-Wellenlängen auftreten.

So erweist sich der  $\text{KrF}^*$ -Laser dem  $\text{ArF}^*$ -Excimerlaser überlegen, da mit diesem auch bei auftretenden (geringen) Blutungen präzise Gewebeabtragungen möglich sind.

Der  $\text{KrF}^*$ -Laser hat zudem als Instrument bei der Behandlung der Artherosklerose einen entschiedenen Vorteil. Er ermöglicht eine optimale Bearbeitung des Plaques, entsprechend dem Absorptionsverhalten eines wesentlichen Bestandteils. Plaque ist durch einen hohen Lipidanteil gekennzeichnet, insbesondere sind Cholesterin, Cholesterinester und Phospholipide stark vertreten. Das Absorptionsmaximum von Cholesterin liegt aber im Bereich 245 nm-255 nm. (Abb.4)

Der  $\text{KrF}^*$ -Excimerlaser kann somit als günstigstes cardischirurgisches Laserinstrument angesehen werden.

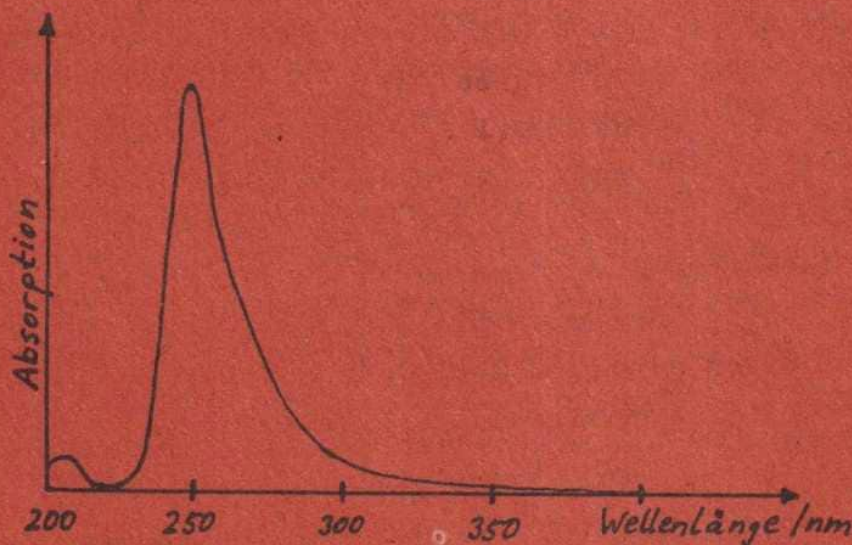


Abb.4 Absorption von Cholesterin

## Ausblick

1977 wurden die ersten Excimerlaser kommerziell angeboten. Seit diesem Zeitpunkt erfolgten erste medizinische Anwendungen, insbesondere im mikrochirurgischen Bereich. So wurde von erfolgreichen Brechzahlkorrekturen des Auges durch Hornhautbearbeitung (Behandlung Kurzsichtigkeit, Schielen), dem Einsatz in der Zahn- und Neurochirurgie berichtet.

Große Bedeutung wird dem Excimerlaser in der Kardiochirurgie eingeräumt. Neben der Möglichkeit der präzisen, mikrochirurgischen Oberflächenbearbeitung ist hier die gute Absorptionsfähigkeit des Plaques bei Verwendung eines KrF<sup>+</sup>-Excimerlasers zu nennen.

Größtes Op-Risiko bei Einsatz eines Leistungslasers ist die Gefäßperforation, die bei Verwendung des Excimerlasers gegenüber dem Einsatz der "klassischen" Laserelektrode und der Beobachtung des verwendeten Lichtleiters durch eine verbesserte Röntgen- und Fluoreszenzdiagnostik (das Laserendoskop wird mit einem fluoreszierenden Kontrastmittel gefüllt) zwar vermindert, aber nicht ausgeschlossen werden kann.

Deshalb ist die Suche nach zusätzlicher Risikoverminderung wesentlicher Forschungsgegenstand.

Eine Lösung dafür dürfte die selektive Färbung des Plaques darstellen, beispielsweise mit geeigneten fluoreszierenden "Markern". Untersuchungen amerikanischer Wissenschaftler zeigten, daß solch ein Stoff z.B. das sogenannte Hämatoporphyrinderivat (HpD) sein kann. Dieser Stoff besteht aus einem Gemisch metallfreier Porphyrine und ist als photochemotherapeutisches und diagnostisches Mittel in der Tumorbehandlung bekannt.

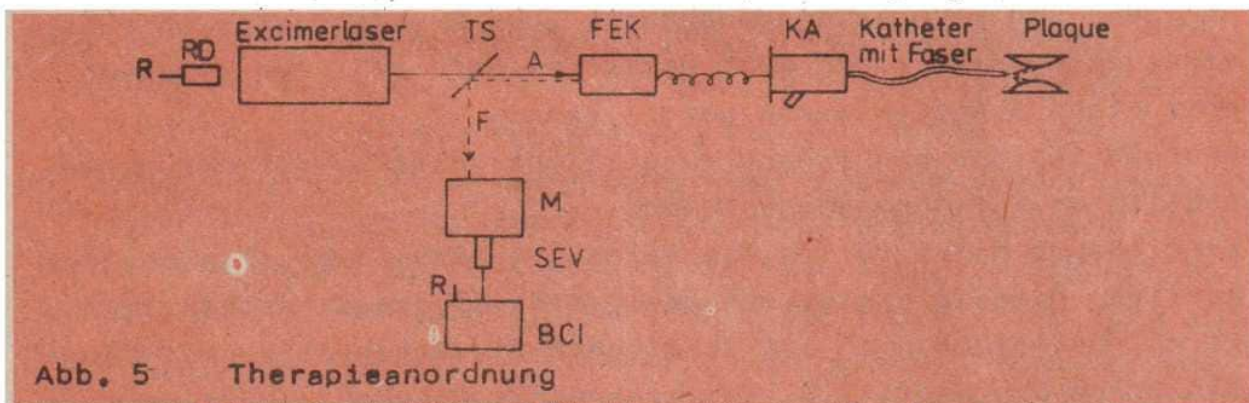
Ebenso wie in tumorösem Gewebe soll sich dieser Stoff nach Applikation bevorzugt in Plaque gegenüber dem umgebenen Normalgewebe anreichern.

Da HpD auch bei UV-Bestrahlung fluoresziert, ist damit die Möglichkeit der Diagnostik, bzw. auch die Kontrolle über den Abtragsprozeß des Plaques gegeben. Der Marker kann aber bei Bestrahlung auch selbst therapeutisch wirksam sein. Zum einen kann die Absorption der Laserstrahlung durch einen Farbstoff (nicht unbedingt HpD) gesteigert werden. Zum anderen ist z.B. HpD photodynamisch wirksam, d.h. bei Bestrahlung werden

hochreaktive Radikale und/oder Singlett-Sauerstoff frei, die auf umgebene Biomoleküle cytotoxisch wirken. Inwieweit auf diesem Wege eine zusätzliche Schädigung des Plaques auftreten kann, muß noch überprüft werden.

Gewiß sind noch zahlreiche Forschungen notwendig, um an einen medizinischen Routineeinsatz des Excimerlasers in der Therapie artherosklerotischer Veränderungen zu denken. Und auch eine wichtige Frage bleibt vorerst unbeantwortet, die, ob die energiereiche Strahlung des Excimerlasers evtl. carcinogene Wirkungen hervorrufen kann.

Heute hat der Excimerlaser seine wesentlichste Bedeutung; auf dem Gebiet der Spektroskopie und der Mikroelektronik zur Bearbeitung von Submikro- und Mikrostrukturen, jedoch ist die Hoffnung berechtigt, daß bei der Bewältigung der genannten Probleme dieser Laser einen festen Platz in der Op-Technik der Kardiochirurgie einnimmt, nämlich als Rekanalisierungsinstrument und Mittel der vollständigen Plaqueabtragung.



Die Strahlung des Excimerlasers wird mittels Fasereinkopplungsgerät FEK in einen Lichtleiter eingekoppelt. Der Lichtleiter wird durch einen Katheteradapter KA in den Katheter eingeführt. Dieser wird innerhalb großer Blutgefäße in die Koronararterien geschoben. Mittels Röntgenstrahlen kann die genaue Lage ermittelt werden, und bei optimaler Position die Therapie beginnen. Wird zusätzlich das Plaque markiert, beispielsweise mit HpD, kann die Fluoreszenz zur genauen Plaque-Ortung genutzt werden. In diesem Fall wird das Fluoreszenzlicht F durch die gleiche Faser geleitet und mit Hilfe eines Teilerspiegels TS einem Monochromator und entsprechender Nachweiselektronik (SEV=Sekundärelektronenvervielfacher, BCI=Boxcarintegrator, RD=Referenzdiode, R=Referenzsignal) zugeführt werden.

Im vorletzten Teil der Folge soll das wellenmechanische Atommodell zur Beschreibung weiterer interessanter chemischer Verbindungen herangezogen werden. Dabei wird deutlich werden, daß die Möglichkeit der Hybridisierung bei weitem nicht nur typisch für das Kohlenstoffatom ist, sondern auch bei anderen Elementen anzutreffen ist.

Die Elektronenkonfiguration des Beryllium- und des Boratoms im Grundzustand ( $1s^2 2s^2$  bzw.  $1s^2 2s^2 2p^1$ ) lassen - vorausgesetzt die Möglichkeit der Ausbildung von Atombindungen aus dem Grundzustand heraus, - erwarten, daß Beryllium keine und Bor nur eine  $\sigma$ -Bindung ausbilden kann. Das stimmt aber nicht mit der chemischen Praxis überein: Beryllium bildet z.B. die Verbindung  $\text{BeCl}_2$  (Berylliumchlorid) eine schneeweiße, kristalline Masse, die bei  $405^\circ\text{C}$  schmilzt und bei  $488^\circ\text{C}$  siedet) und Bor z.B. die Verbindung  $\text{BF}_3$  (Bortrifluorid) (ein farbloses, erstickendes Gas;  $F_p = -127,6^\circ\text{C}$  und  $K_p = -101^\circ\text{C}$ ).

Im angeregten Zustand haben die Elemente folgende Konfiguration:



Auch diese stehen noch mit der Erfahrung in Widerspruch, da es nur ein Berylliumchlorid und nur ein Bortrifluorid gibt. Die Gleichwertigkeit der Bindungen und damit Übereinstimmung zwischen experimentellen Untersuchungsergebnissen und theoretischer Interpretation wird - das ist von Kohlenstoff her bekannt - durch Hybridisierung erreicht. Beim Beryllium durchdringen das  $2s$ - und  $2p$ -Elektron einander zu zwei  $sp$ -Hybridorbitalen (Digonaler Valenzzustand), die mit je einem  $3p_z$ -Orbital zweier

Chloratome jeweils eine  $sp-p-\sigma$ -Bindung eingehen (lineare Anordnung). Beim Bor überlappen sich das  $2s$ - und die beiden  $2p$ -Elektronen des angeregten Zustandes zu drei  $sp^2$ -Hybridorbitalen (trigonaler Bindungszustand), die ihrerseits mit je einem  $2p_z$ -Orbital jedes Fluoratoms jeweils eine  $sp^2-p-\sigma$ -Bindung ausbilden (planare dreiseitige Anordnung), (Abb. 30 und 31).

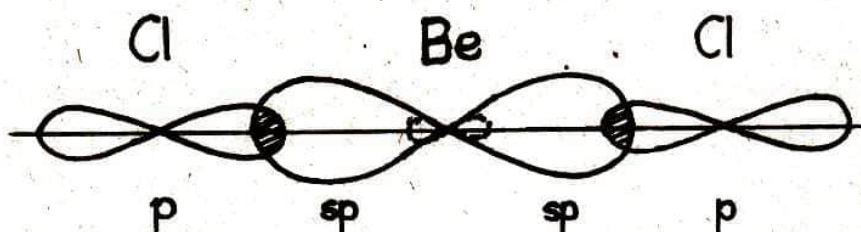


Abb. 30

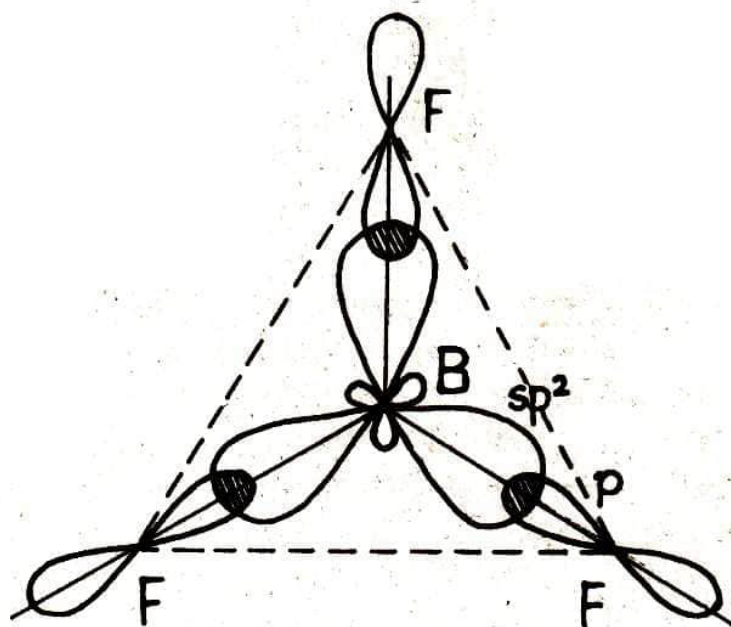


Abb. 31

Wegen der unterschiedlichen Elektronegativitätswerte der beteiligten Elemente liegt in beiden Fällen polare Atombindung vor; aber aufgrund des vollkommen symmetrischen Baues ist das Dipolmoment gleich Null; die Verbindungen sind unpolar.

$BeCl_2$  hat einen - für die Kleinheit seiner Moleküle - atypisch hohen Schmelz- und Siedepunkt; es ließe eher auf ein Salz schließen. Die Vermutung liegt nahe, daß sich hier mehrere Moleküle zu einer größeren Molekülassociation zusammenlagern. Tatsächlich hat man herausgefunden, daß das der Fall ist.



Auch die Struktur des WASSERMoleküls kann und muß mit Hilfe der Modellvorstellungen über Hybridorbitale erklärt werden. Der Winkel zwischen den Atomen H-O-H beträgt bekanntlich nicht  $90^\circ$ , sondern er stellt mit  $104,5^\circ$  einen deformierten Tetraederwinkel dar.

Das Sauerstoffatom im Grundzustand bildet bei der Hybridisierung aus den 2s- und 2p-Orbitalen vier  $sp^3$ -Hybridorbitale:



Im Unterschied zum Kohlenstoffatom sind aber zwei dieser Hybridorbitale mit je zwei Elektronen besetzt. Es bleiben nur zwei ungepaarte, also bindende Hybridorbitale, die mit Wasserstoffatomen je eine  $sp^3$ -s- $\sigma$ -Bindung eingehen (Abb. 32). Im Wassermolekül sind also zwei Ecken des gedachten Tetraeders nicht mit

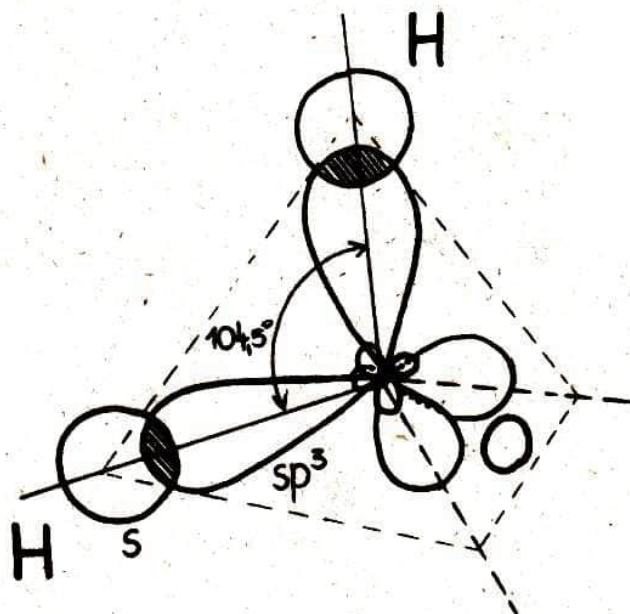


Abb. 32

Wasserstoffatomen besetzt. Die bindenden Elektronenpaare werden sowohl vom Kern des Sauerstoff- als auch von den Kernen der Wasserstoffatome angezogen, während sich die "einsamen" Elektronenpaare nur im zentralen Rumpf befinden. Diese beanspruchen mehr Platz unmittelbar um den Kern des Sauerstoffatoms; die Symmetrie ist gestört. Das erklärt die Deformierung des Tetraeders, die Verkleinerung des Bindungswinkels.

Aufgrund der unterschiedlichen EN-Werte von Sauerstoff und Wasserstoff liegt polare Atombindung vor; wegen des gewinkelten Baues hat das Wassermolekül Dipolcharakter (Dipolmoment  $\mu =$

1,84 D). Das ist eine Voraussetzung für die Ausbildung von Wasserstoffbrückenbindungen, die die Ursache für die vielen Besonderheiten in den physikalischen Eigenschaften des Wassers darstellen.

Im AMMONIAKmolekül liegt eine ähnliche Situation vor. Beim Übergang vom Grundzustand des Stickstoffatoms in dessen Hybridzustand (s.u.) entstehen ebenfalls vier  $sp^3$ -Orbitale, von denen drei ungepaart sind. Ihre Bindungen mit den Wasserstoffatomen ( $sp^3$ -s- $\sigma$ -Bindungen) richten sich gleichfalls in die Ecken eines gedachten Tetraeders aus. Das Vorhandensein eines einsamen Elektronenpaares führt auch hier zur Veränderung des Bindungswinkels:  $107,5^\circ$ . Im Ergebnis stellt das Modell des Ammoniakmoleküls eine flache, dreiseitige Pyramide mit dem Atomkern des Stickstoffs an der Spitze und den Wasserstoffkernen an den Ecken der Grundfläche (Abb. 33) dar. Ammoniak hat

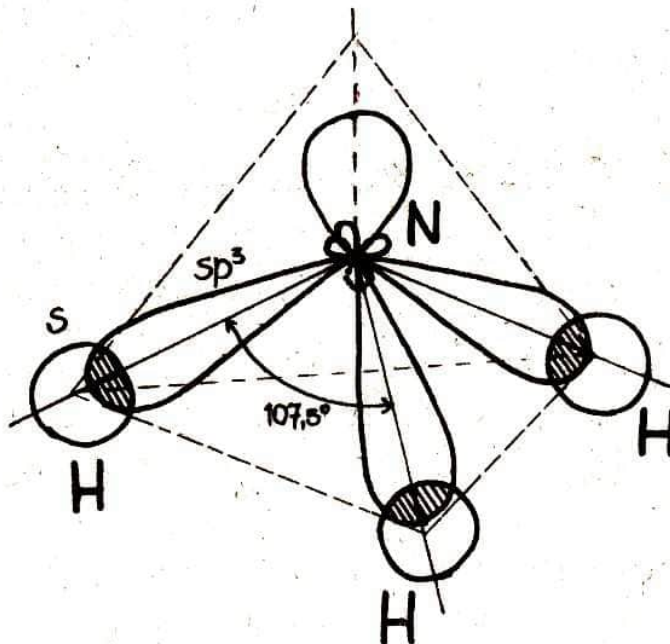


Abb. 33

ebenfalls Dipolcharakter ( $\mu = 1,47$  D) und geht ebenso Wasserstoffbrückenbindungen ein.

Ein Vergleich des Ammoniakmoleküls mit dem des Stickstofftrifluorids  $NF_3$  - beide haben die gleiche räumliche Struktur - läßt in letzterem wegen der größeren Polarität der Stickstoff-Fluor- gegenüber der Stickstoff-Wasserstoff-Bindung ein größeres Dipolmoment erwarten; es beträgt aber lediglich  $\mu = 0,2$  D. Das liegt darin begründet, daß das einsame  $sp^3$ -Hybridorbital auf die in beiden Bindungen entgegengerichteten Dipole entsprechend unterschiedlich wirkt (Abb. 34). Das Dipolmoment eines Stoffes

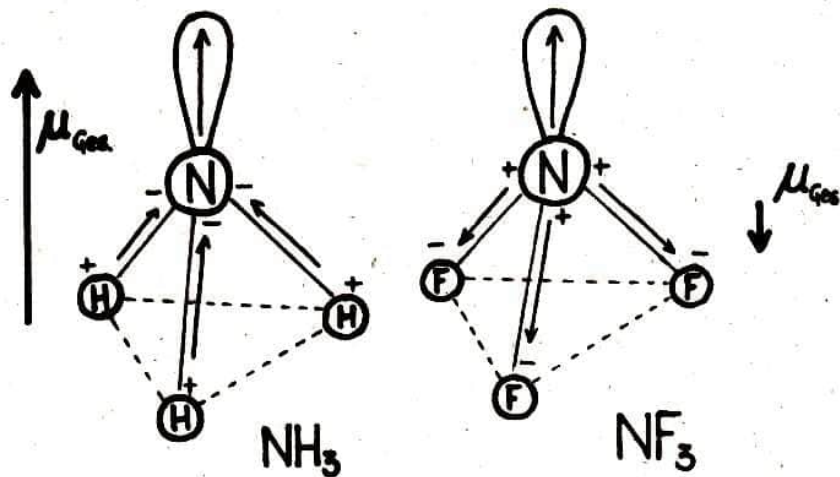


Abb. 34

und die Polarität der Bindungen im Molekül sind also zwei verschiedene Dinge.



Die deutlichen Unterschiede in den physikalischen Eigenschaften der beiden Kohlenstoffmodifikationen DIAMANT und GRAPHIT haben ihre Ursache bekanntlich im unterschiedlichen Strukturaufbau (Abb. dazu siehe Schullehrbücher) und diese wiederum in charakteristischen Bindungszuständen des Kohlenstoffatoms, die mit Hilfe von Orbitalmodellen zu deuten sind.

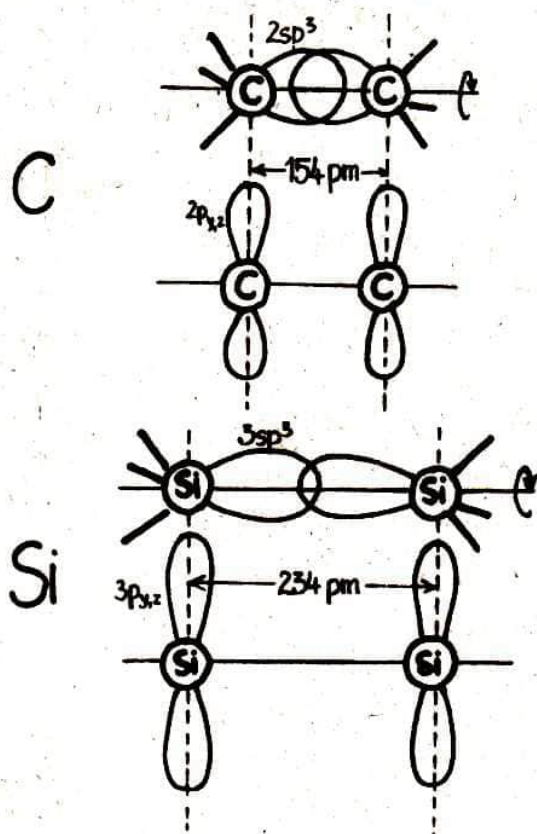
Im Atomgitter des Diamanten liegen die Kohlenstoffatome im tetraedrigen  $sp^3$ -Hybridzustand vor; die Bindungslänge (154 pm) und der Bindungswinkel ( $109,5^\circ$ ) stimmen vollkommen mit den Angaben in Alkanmolekülen überein. Eine derartige vollkommene Symmetrie und dichte Packung der Kohlenstoffatome im Gitter erklärt die Diamanteigenschaften. Dagegen ist das Kristallgitter des Graphits durch einen Schichtaufbau gekennzeichnet: eine Vielzahl paralleler Ebenen, die jeweils aus einer unendlichen Folge von Sechsecken aus Kohlenstoffatomen gebildet werden. Das Bild erinnert an den Benzenring. Tatsächlich liegen die Kohlenstoffatome beim Graphit im trigonalen  $sp^2$ -hybridisierten Zustand vor, mit demselben Bindungswinkel ( $120^\circ$ ) und sehr ähnlichem Bindungsabstand (142 pm) wie im Benzenmolekül. Die nicht an der Hybridisierung teilnehmenden p-Elektronen sind hier allerdings völlig delokalisiert und frei beweglich;

sie bewirken die elektrische Leitfähigkeit des Graphits. Der bedeutend größere Abstand zwischen den Schichten (335 pm), die lediglich durch schwache van der Waalssche Kräfte zusammengehalten werden, ist die Ursache für die guten Schmiereigenschaften (leichte Spaltbarkeit entlang der Schichtebenen). Der Schichtgitteraufbau gestattet aber auch die Bildung von sog. "Graphitverbindungen", (z.B. Graphitsalze, bei denen sich Säureanionen in die Schichten einlagern oder kovalentes Graphitfluorid und -oxid).

In den Teilen 3 und 4 wurden Grundlagen vermittelt, aus denen sich die Mannigfaltigkeit der Kohlenstoffverbindungen, also der organischen Chemie, ableiten läßt. Warum sollte nicht auch das Element SILICIUM zu solcher Vielfalt von Ausbildungsformen geeignet sein? Analogieschlüsse aus der Kenntnis des PSE und seines Zusammenhangs mit dem Aufbau der Atome - wie sie jedem Schüler von der 8. Klasse an zur Begründung oder auch zur Vorhersage von chemischen Sachverhalten bekannt sind, rechtfertigen eine solche Fragestellung.

Tatsächlich existieren den Alkanen analoge Siliciumverbindungen ( $\text{SiH}_4$  und zahlreiche Homologe,  $\text{SiCl}_4$  u.a. Halogenderivate); man spricht nicht zu unrecht von einer siliciumorganischen Chemie. Aber alle diese Verbindungen gibt es im Unterschied zu einer Vielzahl von entsprechenden Kohlenstoffverbindungen nicht in der Natur; sie sind einzig das Produkt des Chemikers. Meist sind sie instabil und wesentlich reaktiver als die Kohlenstoffverbindungen. Ringförmige Verbindungen sind nicht bekannt; Doppel- und Dreifachbindungen zwischen Siliciumatomen untereinander scheinen ebenfalls unmöglich zu sein.

Das Siliciumatom weist in den genannten Verbindungen - ebenso wie in den analogen Kohlenstoffverbindungen -  $\text{sp}^3$ -Hybridisierung auf und geht damit 6 Bindungen mit sich selbst und mit anderen Elementen ein. Eine Folge der unterschiedlichen Atomgröße und damit der Bindungslänge (siehe Tabelle) besteht darin, daß sich die vier Valenzelektronen beim Siliciumatom in größeren Orbitalen befinden. Die Ladungsdichte der Elektronen ist demzufolge geringer. Die Durchdringung von  $3\text{sp}^3$ -Orbitalen ist daher diffuser als bei  $2\text{sp}^3$ -Orbitalen (Abb. 35). Das widerspiegelt sich in einer kleineren Bindungsenergie und damit Bindungsfestigkeit des Siliciums (s. Tab.). Daraus ergibt sich, daß die Tendenz zur Bildung längerer Siliciumketten



wesentlich gering ist als zur Bildung von Kohlenstoffketten. Der ebenfalls u.a. auf die unterschiedlichen Atomradien zurückzuführende kleinere Elektronegativitätswert des Siliciums hat zur Folge, daß Atome elektronegativerer Elemente dem Siliciumatom leichter Elektronen entreißen können als dem Kohlenstoffatom. So ist die Bildung von  $\text{Si}^{4+}$ -Ionen (im Unterschied zum Kohlenstoff) in bestimmtem Umfange möglich. Die erhöhte Polarität erklärt auch die größeren Bindungsenergien in Verbindung mit Halogenatomen oder auch mit dem Sauerstoffatom

Abb. 35

(s. Tab.).

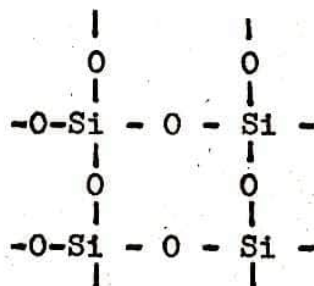
X =		C	Si
Bindungsabstand X-X		154 pm	234 pm
EN-Wert		2,5	1,8
Betrag der Bindungsenergie	X-X	347 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$	210 $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
	X-H	410 "	310 "
	X-O	351 "	460 "
	X-F	484,9 "	564,3 "
	X-Cl	338,6 "	380,4 "
	X-Br	284,2 "	309,3 "
	X-I	213,2 "	234,1 "

Die größere Polarität in den entsprechenden Siliciumverbindungen führt allerdings auch zur verstärkten Anfälligkeit gegenüber polaren Reaktionspartnern. Während  $\text{CCl}_4$  gegenüber Wasser völlig indifferent bleibt, zersetzt sich  $\text{SiCl}_4$  in Wasser schon bei Zimmertemperatur:



Die größeren  $\sigma$ -Bindungsabstände sind auch der Grund dafür, daß die nicht an der Hybridisierung beteiligten  $3p_z$ -Elektronen keine  $p-p-\pi$ -Bindung ausbilden können. Das schließt die Bildung sowohl von Mehrfachbindungen zwischen Siliciumatomen als auch die eines "aromatischen" Zustandes aus.

Es fällt andererseits auf, daß die Sauerstoffverbindungen des Siliciums in ihrer Stabilität und Vielfalt die entsprechenden Kohlenstoffverbindungen weit übertreffen. Ausdruck dafür ist die große Häufigkeit von Quarzen und Silikaten in der Erdkruste. Eine dem Kohlendioxid analoge Verbindung  $SiO_2$  gibt es nicht. Es handelt sich in Wirklichkeit um ein polymeres  $(SiO_2)_n$ , in dem die Siliciumatome über Sauerstoffbrücken dreidimensional vernetzt sind:



Die hohe Bindungsenergie, der stark verkürzte Si-O-Abstand sowie ein deutlich aufgeweiteter Valenzwinkel am Sauerstoffatom lassen den Schluß zu, daß der Einfachbindung hier eine Doppelbindung überlagert ist. Eine  $p-p-\pi$ -Bindung ist ausgeschlossen. Das Siliciumatom besitzt aber als Element der 3. Periode - und das ist ein weiterer wesentlicher Unterschied zum Kohlenstoff - bereits d-Orbitale, die zwar im Grundzustand unbenutzt sind, die aber bei geeigneten Voraussetzungen mit in die Valenzbetätigung einbezogen werden können. Die  $\sigma$ -Bindung Si-O wird durch eine zusätzliche  $p-d-\pi$ -Bindung zwischen einem bindenden p-Orbital des Sauerstoffatoms und einem leeren d-Orbital des Siliciumatoms verstärkt (Abb. 36a).

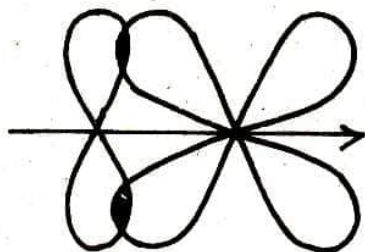


Abb. 36a

$p-d-\pi$

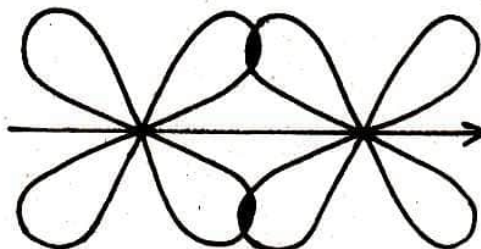


Abb. 36b

$d-d-\pi$

d-Orbitale können auch an der Ausbildung von  $\sigma$ -Bindungen beteiligt sein; das ist typisch für KOMPLEXVERBINDUNGEN.

**Dr. B. Stecklum**  
**FSU Jena**  
**Sektion Physik**  
**Universitäts-Sternwarte**

## **Die Supernova 1987A – ein vorläufiges Fazit**

**ASTRO**

Aus der Anzahl der bisher beobachteten Supernovae läßt sich abschätzen, daß im Mittel etwa alle fünfzig Jahre eine Supernova-Explosion in einer Galaxie stattfindet. Allerdings ist uns wegen des interstellaren Staubes in der Ebene der Milchstraße die Sicht auf die meisten ohne Zweifel auch in unserem Sternsystem vorkommenden Supernovae versperrt. So verwundert es nicht, daß die erste Supernova, die man seit der des Jahres 1604 wieder mit bloßem Auge sehen konnte, in der Großen Magellanschen Wolke (GMW) zu beobachten war. Nachfolgend sei kurz der Hergang der Entdeckung geschildert (Zeitangaben in Weltzeit UT).

Februar 23,  $2^{\text{h}} 52^{\text{min}}$ : Fünf Neutrinoimpulse mit Energien um 10 MeV werden im Laufe von von sieben Sekunden am Montblanc-Neutrino-Detektor registriert. Das vom Institut für Kosmo- und Geophysik Turin und dem Institut für Kernforschung Moskau durchgeführte Experiment benutzt 90 Tonnen einer Szintillationsflüssigkeit, in der die durch Neutrinoeinfang verursachten Lichtblitze mit Hilfe (Cerenkov-Strahlung) von 72 Sekundärelektronenvervielfachern (SEV) nachgewiesen werden.

Februar 23,  $7^{\text{h}} 35^{\text{min}}$ : Der Kamiokande-II-Detektor weist innerhalb von 13 Sekunden 12 Neutrinoimpulse im Energiebereich zwischen 10 und 35 MeV nach. Das Experiment, das in einem Bergwerksstollen bei Kamioka (Japan) durchgeführt wird, verwendet als Nachweismittel 2140 Tonnen Wasser. Nahezu gleichzeitig werden mit Hilfe des IMB (Irvine-Michigan-Brookhaven)-Detektors innerhalb von 6 Sekunden 8 Neutrinoereignisse im Energiebereich von 20-40 MeV nachgewiesen. Der IMB-Detektor, der eigentlich zum Nachweis des Protonenzerfalls gebaut wurde, verfügt über 2048 SEVs, die die in 5000 Tonnen Wasser durch Neutrinos ausgelöste Cerenkov-Strahlung registrieren.

Februar 23,  $10^{\text{h}} 38^{\text{min}}$ : Am Siding Spring Observatorium in Au-

stralien erhält R.H. McNaught im Abstand von drei Minuten zwei Bilder der GMW, auf denen das Objekt eine Helligkeit von  $6^m$  besitzt. Allerdings wird dies von den Beobachtern erst am nächsten Tag festgestellt.

Februar 24,  $1^h 26^{min}$ : An der Beobachtungsstation der Universität Toronto am Las Campanas Observatorium startet I. Shelton die dreistündige Belichtung einer Aufnahme der GMW.

Februar 24,  $5^h 31^{min}$ : Shelton entdeckt bei der Entwicklung der Photoplatte die Supernova. Sie besitzt eine Helligkeit von ungefähr  $5^m$  und befindet sich etwa  $18'$  westlich und  $30'$  südlich von 30 Doradus. Unverzüglich informiert er das IAU-Telegrammbüro über seine Entdeckung.

Februar 24,  $9^h 36^{min}$ : Das IAU-Telegrammbüro informiert alle großen Observatorien über das außergewöhnliche Ereignis. Die Supernova erhält die Bezeichnung "1987A".

## Konsequenzen der Neutrinoobservations

Ohne Zweifel hat die Beobachtung der Neutrinoereignisse wesentliche Konsequenzen für die Probleme der Neutrino Ruhmasse und der Neutrinoarten. Beim Kollaps des Inneren eines massereichen Sterns, so legen Modellrechnungen nahe, werden innerhalb von etwa 2 Sekunden fast alle der insgesamt ausgestrahlten Elektronen-Neutrinos emittiert. Gleichzeitig wird eine Stoßwelle ausgelöst, die den Stern nach außen durchläuft. Dies führt zur Aufheizung und zum Wegschleudern der Sternatmosphäre, was einen enormen Helligkeitsanstieg zur Folge hat. Die Zeitspanne zwischen dem Neutrinoimpuls und dem Aufleuchten ist vom Radius des Sterns abhängig. Erste astrometrische Messungen ergaben eine gute Übereinstimmung des Ortes der Supernova mit dem des Sterns Sanduleak  $-69^{\circ} 202$  ( $V=12^m, 24$ , Spektraltyp B3 I). Für diesen Stern mit einem Radius von etwa 25 Sonnenradien ( $R_{\odot}$ ) erwartet man eine zeitliche Verzögerung von 7-15 h, was durch die Beobachtung bestätigt wird. Auch die Anzahl der beobachteten Neutrinos entspricht dem, was für eine derartiges Ereignis in der GMW (Entfernung 52 kpc) vorhergesagt wurde.

Besäßen Neutrinos keine Ruhmasse, so würden sie sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. In diesem Fall sollte man erwarten, daß die Zeitdauer des beobachteten Neutrinosignals die erwähnten



2 Sekunden nicht wesentlich übersteigt. Die Beobachtungen erstrecken sich jedoch über etwa zehn Sekunden, d.h., die Geschwindigkeit der Neutrinos ist unterschiedlich und damit kleiner als die Lichtgeschwindigkeit. Daraus muß man schlußfolgern, daß Neutrinos eine endliche Ruhmasse besitzen. Der aus den Daten der Messungen am Montblanc-Detektor abgeleitete Wert beträgt  $15 \text{ eV}/c^2 = 3 \cdot 10^{-5} m_e$ . Die aus der Zeitdauer des zweiten Neutrinosignals abgeleiteten Ruhmassen lassen sich nicht mit einem einzigen Wert erklären. Während eine Gruppe von Wissenschaftlern Ruhmassen von  $7,8 \text{ eV}/c^2$  und  $20 \text{ eV}/c^2$  findet, gibt eine andere Gruppe drei Werte an ( $4,15 \text{ eV}/c^2$ ,  $18,7 \text{ eV}/c^2$  und  $28,5 \text{ eV}/c^2$ ). Die größte Masse sollten dabei die  $\tau$ -Neutrinos besitzen, die  $e$ -Neutrinos dagegen die geringste. Eine genauere Analyse wird zeigen, ob die  $\mu$ -Neutrinos die gleiche Masse wie die  $e$ -Neutrinos besitzen, oder ob sie etwas schwerer sind. Man kann jedoch feststellen, daß diese Massen groß genug sind, um zu einem geschlossenen Kosmos zu führen, wenn das kosmologische Standardmodell (Urknalltheorie) zutrifft.

Welche weiteren Aussagen erlaubt der Nachweis des zweiten Neutrinosignals? Theoretische Betrachtungen legen nahe, daß im Endstadium von Sternen, die auf der Hauptreihe Massen von mehr als 25 Sonnenmassen ( $M_\odot$ ) hatten, Proto-Neutronensterne mit mehr als  $2 M_\odot$  gebildet werden. Deren Masse übersteigt jedoch die Masse bei der ein Neutronenstern noch stabil ist. Ein solches Objekt muß weiter kollabieren und wird schließlich ein Schwarzes Loch. Nach Abschätzungen beträgt die Zeitskala des Übergangs des Proto-Neutronensterns zum Schwarzen Loch mindestens zwei Stunden. Fünf Stunden nach dem ersten Neutrinosignal wurde das zweite beobachtet. Für diese Interpretation spricht auch, daß die Energien einiger der Neutrinos des zweiten Signals höher waren, als sie von Supernovamodellen vorhergesagt werden. Weiterhin erscheint es schwierig, das zweite Neutrinosignal mit der Entstehung eines Neutronensterns in Verbindung zu bringen, da bereits drei Stunden später die Supernova eine Helligkeit von  $6^m$  aufwies. Dies läßt vermuten, daß zu dieser Zeit die Photosphäre bereits einen Radius von etwa  $700 R_\odot$  besaß. Um das in drei Stunden zu erreichen, muß die Expansionsgeschwindigkeit etwa  $50000 \text{ kms}^{-1}$  betragen. Die ersten optischen Spektren ergaben jedoch nur Werte von etwa  $20000 \text{ kms}^{-1}$ .

## Das Bild der Supernova

Unmittelbar nach der Explosion strahlt die Photosphäre wie ein Schwarzer Körper, d.h. sie emittiert ausschließlich ein kontinuierliches Spektrum. Tatsächlich zeigte das erste UV-Spektrum ein starkes Kontinuum bei  $\lambda > 130$  nm ohne ausgeprägte spektrale Besonderheiten. Anhand der ersten Spektren wurde SN 1987A als Supernova vom Typ II klassifiziert. Damit wurde erstmalig eine Supernova dieses Typs in einer irregulären Galaxie beobachtet! Mit der Expansion der Hülle ist eine Abkühlung verbunden, wobei sich die spektrale Energieverteilung zu längeren Wellenlängen verschiebt. So sank der Strahlungsstrom bei  $\lambda = 135$  nm von Februar 25,15 bis Februar 27,41 etwa um den Faktor 300. Gleichzeitig nahm die Tiefe des Gebietes, aus dem Photonen ausgestrahlt wurden, zu, und die chemische Zusammensetzung wurde für die Opazität ("Durchsichtigkeit") bei verschiedenen Wellenlängen wichtig. Es traten Spektrallinien mit sogenanntem P-Cygni-Profil auf, insbesondere bei der Balmer-Serie des Wasserstoffs. Dieses Profil besteht aus einer breiten Emissionslinie, deren kurzwelliger Seite eine schmale Absorptionskomponente überlagert ist. Die Verschiebung des Absorptionsmaximums der  $H_{\alpha}$ -Linie relativ zur Laborwellenlänge entsprach einer Geschwindigkeit von mehr als  $17000 \text{ km s}^{-1}$ . Andere spektrale Merkmale waren wegen ihrer Breite und der raschen zeitlichen Veränderung schwer identifizierbar. Einige Anfang März aufgetretene Linien (z.B. bei 243 nm, 205 nm und 190 nm) können möglicherweise durch die Lyman-Serie des Positroniums (gebundener Zustand eines Elektrons und eines Positrons) erklärt werden. Zu diesem Zeitpunkt entsprach das Spektrum im Bereich von 115 nm bis 160 nm wieder dem eines Überriesen vom Spektraltyp B, und man schlußfolgerte zunächst daraus, daß im Ultraviolett der Stern Sanduleak -69°202 erneut zu sehen sei.

Auch im nahen IR-Bereich ließen sich P-Cygni-Profile von Übergängen der Paschen-, Brackett- und Pfund-Serie beobachten. Weitere schmale Emissionslinien wurden mit erlaubten bzw. verbotenen Übergängen von Fe II (einfach ionisiertem Eisen) in Verbindung gebracht. Beobachtungen im Wellenlängenbereich von 1,5 bis 3,0  $\mu\text{m}$  wurden Mitte April mit Hilfe eines Teleskops von Bord eines Flugzeugs der NASA durchgeführt. Neben breiten, asymmetrischen Wasserstofflinien fand man unerwarteterweise eine starke Emissionslinie bei 1,9  $\mu\text{m}$  (wahrscheinlich von He I) und eine tiefe, breite

Absorptionsbande bei 2,9  $\mu\text{m}$ , die mit Staubteilchen in Verbindungen gebracht wird. Anhand der Daten der UV-, IR- und optischen Beobachtungen wurde für den 1. März eine effektive Temperatur von 6000 K. ermittelt, wobei lediglich im Wellenlängenbereich von 100 bis 300 nm eine Abweichung vom Planckschen Strahlungsverlauf auftrat. Die Veränderung der spektralen Strahlungsverteilung wird auch daran deutlich, daß sich das Strahlungsmaximum von 420 nm am 27. Februar zu 520 nm am 5. März verschob. Dies belegen auch die photometrischen Daten, die in verschiedenen Farbbereichen erhalten wurden. So lag das Maximum der Ultraviolett (U)-Helligkeit vor dem Beginn der Beobachtungen, im Blau (B)-Bereich wurde die größte Helligkeit um den 26. Februar erreicht. Danach verringerte sich die B-Helligkeit während zweier Wochen um zwei Größenklassen, erreichte allmählich einen konstanten Wert, und begann nach dem 15. März wieder zuzunehmen. Zu diesem Zeitpunkt war die Maximalhelligkeit im Visuellen (V), Roten (R), und nahem Infrarot (I) noch nicht erreicht; die Helligkeitszunahme in diesen Farbbereichen hielt mit  $-0,03 \text{ mag/d}$  ebenso wie im Infrarot an. Seit Mitte April war ebenfalls eine Zunahme der U-Helligkeit zu beobachten. Die photometrischen Daten machen deutlich, daß SN 1987A mit einer absoluten Helligkeit von  $M_B = -14.1$  gegenüber einer normalen Supernova vom Typ II ( $M_B = -17.6$ ) eine zu geringe Leuchtkraft zeigte. Des Weiteren verlief die spektrale Entwicklung dieser Supernova viel schneller als dies bei bisherigen Supernova beobachtet wurde. Eine mögliche Erklärung dieser Sachverhalte könnte darin liegen, daß der Vorgänger der Supernova nicht über eine nennenswerte Hülle verfügte.

Weder optischen noch Röntgenbeobachtungen erbrachten Hinweise auf das Vorhandensein eines Pulsars.

Anhaltspunkte über den Vorgänger der Supernova erbrachte die Analyse des Archivmaterials. Es stellte sich heraus, daß es sich bei Sanduleak -69<sup>o</sup>202 zumindest um einen Doppelstern handelt. So interpretierte man auch die Mitte März mit Hilfe des Ultraviolett-Satelliten IUE erhaltenen räumlich aufgelösten Spektren, wobei gemessene Helligkeitsverteilung gut mit den spektralen und räumlichen Eigenschaften des Doppelsterns erklärt werden konnte. Das würde jedoch bedeuten, daß weder Stern 1 noch Stern 2 explodierten und ein dritter Stern der Vorgänger gewesen sein mußte! Hinweise auf einen dritten Begleiter im Abstand von weniger als

2" in südwestlicher Richtung wurden zunächst bezweifelt. Es gelang schließlich durch effektive Bildverarbeitungsverfahren den Stern 3 in 1,4" Abstand auf Archivplatten nachzuweisen. Daraufhin führte man eine erneute Untersuchung der Helligkeitsverteilung im fernen UV durch und fand eine sehr gute Anpassung der Sternspektren durch zwei Punktquellen in einem Abstand von 4,13". Unterhalb von 160 nm, wo die beste räumliche Auflösung erreicht wird, gibt es keinen Hinweis auf eine dritte Punktquelle. Am 3. März, als das Kontinuum der Supernova noch über den Kontinua der Sterne lag, wurde sie in 2,9" Abstand von Stern 2 beobachtet. Daraus folgt, daß tatsächlich Sanduleak -69°202 der Vorgänger der Supernova war. Dafür spricht auch die hervorragende Übereinstimmung der Koordinaten, deren Differenzen  $\Delta\alpha = 0.05 \pm 0.06$  und  $\Delta\delta = -0.09 \pm 0.09$  betragen. Die Existenz eines vierten Sterns als Kandidat für den Supernova-Vorgänger, vor allem eines M-Sterns der Leuchtkraftklasse I-III, gilt wegen der Farbenindizes als unwahrscheinlich. Es gibt auch aus Archivbeobachtungen kein Hinweis auf einen Lichtwechsel von mehr als 0,5 mag, der durch einen Bedeckungsveränderlichen verursacht sein könnte.

Die Unterschiede zwischen SN 1987A und gewöhnliche Supernovae vom Typ II sind wahrscheinlich auf die geringe Metallhäufigkeit der GMW zurückzuführen. Bis vor kurzem war man der Meinung, daß B-Überriesen im Gegensatz zu M-Riesen und Überriesen keine Vorgänger von Supernovae seien. Die Helligkeit der Supernova gestattete es erstmalig, hochauflösende Spektroskopie mit gutem Signal-Rausch-Verhältnis in Richtung auf die GMW durchzuführen. Daraus zu gewinnende Erkenntnisse betreffen vor allem das Problem der Existenz, Struktur und Zusammensetzung von gasförmigen Halos um das Milchstraßensystem bzw. die GMW und die Fragen des Aufbaus der GMW und der Natur der dortigen interstellaren Materie.

Die Expansion der Hülle wird es bald erlauben, sie mittels Speckle-Interferometrie zu beobachten. Ebenso sind dann detaillierte Untersuchungen im Radiobereich durch Interferometrie mit großer Basislänge (VLBI) möglich. Durch Spektroskopie wird man die bei der Explosion freigesetzten Reaktionsprodukte der Kernfusion untersuchen können. SN 1987A wird noch für Jahre eines der interessantesten Objekte am südlichen Himmel bleiben.

(Abbildungen siehe Heftrückseite)

Berichtigung zu Heft 3/87:

Im Beitrag "Elementare Behandlung von Impulsverformungen mit dem Kleincomputer KC 85/2" ist auf S.15 die Abb.2 fehlerhaft. Wir bitten dies zu entschuldigen. Hier die richtige Darstellung:

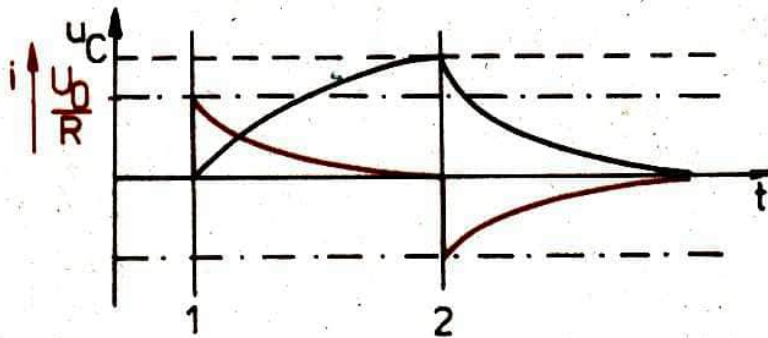


Abb.2

# BÜCHERMARKT

## **P. S. de Laplace: Philosophischer Versuch über die Wahrscheinlichkeit**

**(Übersetzung aus dem Französischen)**

Ostwalds Klassiker der exakten Naturwissenschaften, Bd. 233 – Reprint, VII (1986),

211 Seiten, Bestell-Nr. 6696269, Preis 28,- M

Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.-G., Leipzig

Neben Blaise PASCAL (1623-1662) und Pierre FERMAT (1601-1665) kommt Pierre-Simon de LAPLACE (1749-1827) eine dominierende Stellung in der Entwicklung der Wahrscheinlichkeitstheorie zu. Sein Hauptwerk ist die "Analytische Theorie der Wahrscheinlichkeit" von 1812. Mit dem Buch "Philosophischer Versuch über die Wahrscheinlichkeit" beabsichtigte LAPLACE seine Theorie einem möglichst breiten Leserkreis nahezubringen.

Der Ausgangspunkt der LAPLACEschen Überlegung ist der mechanische Determinismus. Die Notwendigkeit einer Wahrscheinlichkeitsaussage steht in direkter Beziehung zu unserem Nichtwissen. Er schreibt: "Die von einem einfachen Luft- oder Gasmolekül beschriebene Kurve ist in eben so sicherer Weise geregelt wie die

Planetenbahnen: es besteht zwischen beiden nur der Unterschied, der durch unsere Unwissenheit bewirkt wird."(S.3) (Natürlich konnte LAPLACE nicht wissen, daß es prinzipiell unmöglich ist, die Bahn eines Luftmoleküls exakt zu berechnen, da die dazu notwendigen Größen wie Ort und Impuls infolge der HEISENBERG'schen Unschärferelation von Natur aus gleichzeitig nur unscharf angebar sind.) Der Grundgedanke des mechanischen Determinismus wird von LAPLACE aber nicht nur auf die Berechnung von Glücksspielchancen sondern auch auf gesellschaftliche Erscheinungen angewandt. Beispielsweise vollzieht LAPLACE umfangreiche Überlegungen über die Glaubwürdigkeit von Zeugenaussagen vor Gericht, über die zahlenmäßige Zusammensetzung von Geschworenengerichten und über Wahlen und Beschlüsse von Versammlungen.

Besonders erfolgreich war LAPLACE bei der Bearbeitung astronomischer Probleme. So erkannte er den Einfluß der Erdabplattung auf die Mondbewegung, weiterhin die Wirkung der Sonne auf die Bahn des Mondes, die sich in einer langzeitlichen Störung der Drehung der Knotenlinie äußert, sowie eine wirklich erstaunliche Erscheinung der Bewegung der Jupitermonde, "... demzufolge die mittlere geographische Länge des ersteren, vermindert um das Dreifache der Länge des zweiten, vermehrt um zweimal die Länge des dritten Trabanten streng gleich dem halben Umfange (also  $\pi - P.K.$ ) ist."(S.67) Probleme des Pegelstandes von Ebbe und Flut, der selbst bei benachbarten Häfen sehr unterschiedlich sein kann, werden mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung diskutiert.

Der Inhalt des Buches ist sehr interessant und regt zum Nachdenken an. Es macht aber manchmal sehr viel Mühe, dem Gedanken-gang LAPLACE's zu folgen, da - entsprechend der damaligen mathematischen Ausdrucksweise (wie sie einem breiten Leserkreis verständlich war) - die meisten Formeln verbal beschrieben werden. Für den gewissenhaften Leser empfiehlt es sich daher, Papier und Bleistift bereit liegen zu haben. Das Buch ist wohl auch dann nur mit Gewinn zu lesen, wenn man bereits über Grundkenntnisse der Wahrscheinlichkeitsrechnung verfügt. Nachteilig ist auch der hohe Preis, aber in jeder größeren Bibliothek ist das Buch sicherlich zu finden.

Peter Kroll

## **Autorenkollektiv: „Wissenschaft und Menschheit 1986“, Internationales Jahrbuch**

Verlag Snanije Moskau und URANIA-Verlag Leipzig/Jena/Berlin,

1. Aufl. 1986, 400 S., zahlreiche z. T. farbige Abb., Preis 18,- M,

Bestell-Nr. 6540870

Da dieses attraktive Buch bereits der 21. Band der Reihe "Wissenschaft und Menschheit" ist, dürfte die Serie vielen unserer Leser schon bekannt sein. Als Gemeinschaftsausgabe der renommierten Verlage Snanije (UdSSR) und Urania (DDR) wurde Ende des Jahres 1986 wieder ein inhaltlich anspruchsvoller und außerordentlich informativer Band vorgelegt.

Auf 400 Seiten erscheinen Beiträge von Wissenschaftlern aus 10 Nationen, die sich vorrangig mit den Sachgebieten "Der Mensch", "Die Erde", "Mikrowelt", "Weltall" und "Technik" beschäftigen. Am Beispiel des Aufsatzes "Laserortung des Mondes" (Basov/Kokurin, UdSSR) soll das Hauptanliegen des Internationalen Jahrbuches verdeutlicht werden: Internationale Zusammenarbeit der Wissenschaftler im Dienste des Friedens und des Fortschritts, und Popularisierung ihrer Forschungsergebnisse in mehreren Sprachen und Ländern der Erde.

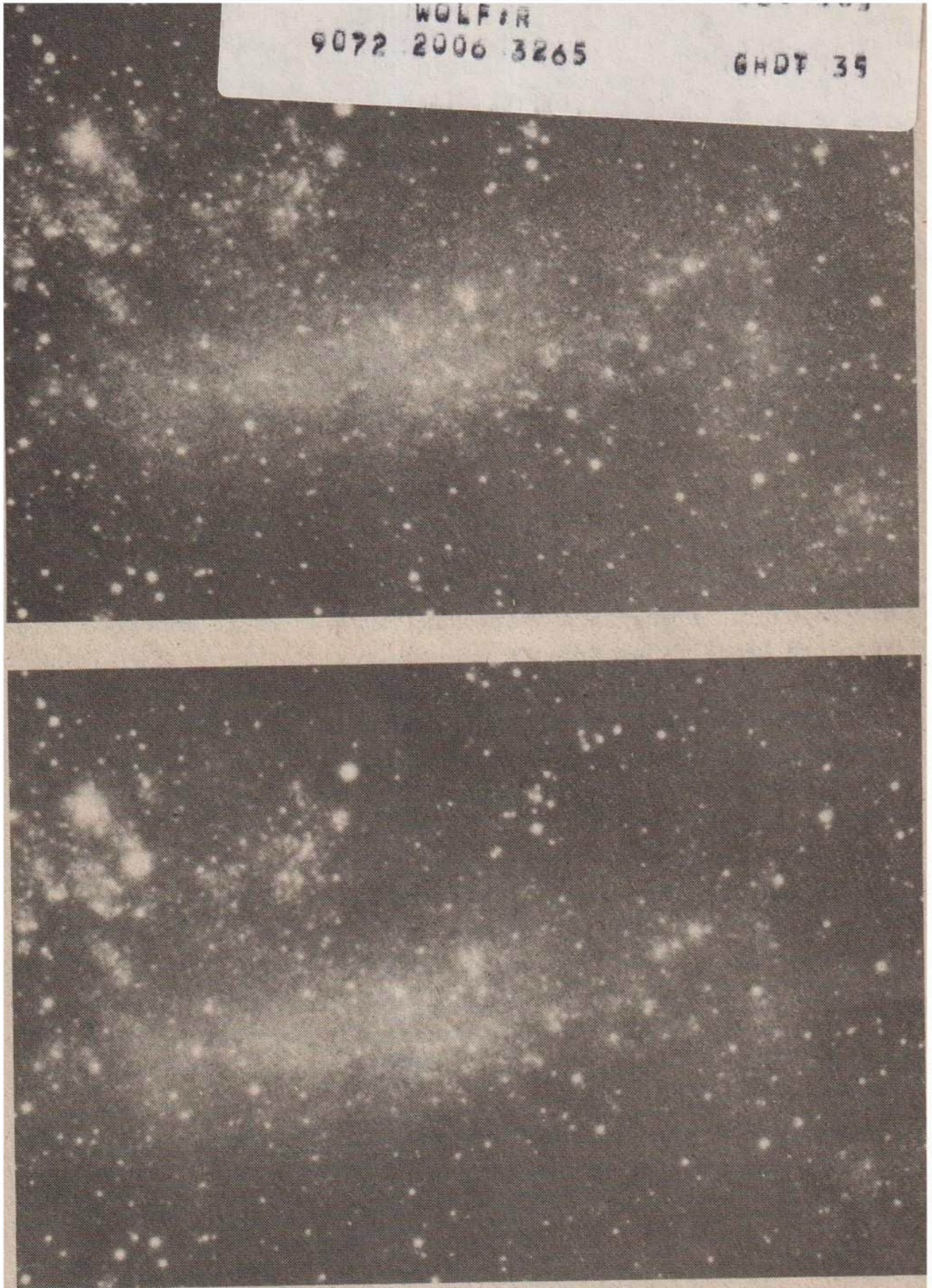
In diesem Beitrag, der sowohl für Astronomen (Planetologie) als auch für Techniker (Beobachtungsgeräte) interessant ist, werden z.B. Fragen untersucht wie: Warum rotiert die Erde ungleichmäßig?, Wie triftten die Kontinente?, Wie ist der Mond in seinem Inneren aufgebaut? usw.

Auch in allen übrigen Aufsätzen des Jahrbuchs waren die Autoren bemüht, obwohl in der Regel als Fachwissenschaftler tätig, faßlich und anschaulich zu berichten bei gleichzeitiger Wahrung des Prinzips der Wissenschaftlichkeit und Exaktheit.

Den Band beschließt die "Chronik der Wissenschaft". Hinter diesem Abschnitt des Buches verbergen sich 64 kürzere Beiträge der verschiedensten Disziplinen von der Mathematik bis zu den Literaturen und Sprachwissenschaften.

Die ausgezeichnete Druckqualität macht im Übrigen auch den Bildteil zu einem besonderen Genuß.

Wolfgang König  
Schul- und Volkssternwarte  
Suhl



**Ansicht der Großen Magellanschen Wolke vor (oben) und nach (unten) der Explosion der Supernova. Foto: C. Madsen, ESO.**



# 68

# Impuls

Schülerzeitschrift für

PHYSIK · CHEMIE · BIOLOGIE

5/87 INDEX 322004 ISSN 0232-9220 PREIS 60 Pf. 21. Jg.

Grundlagen  
des Farbfern-  
sehen  
(Teil 3)

★

Molekül-  
wolken und  
Stern-  
entstehung  
(Teil 3)

★

Unsere  
Physik-  
aufgabe



Das wellen-  
mechanische  
Atommodell  
(Teil 6)

★

Pro-  
grammieren  
leicht-  
verständlich  
(Teil 9)

Zerstörungsfreie Prüfmethode  
für den Werkstoff Holz



Karin Horn/Antje Hampel/ Claudia Zschoch/ Katrin Peschke/Anke Laube	Zerstörungsfreie Prüfmetho- den für den Werkstoff Holz		3
Dr. H.-G. Reimann	Programmieren leichtverständlich (Teil 9): Astronomische Koordinatentransformationen	ASTRO	8
Dr. Tobias Damm	Die Grundlagen des Farbfernsehens (Teil 3): Das PAL-Verfahren	PHY	15
	Büchermarkt		20
Siegfried Oertel	Das wellenmechanische Atommodell (Teil 6): Komplexverbindungen	CHE	22
	Unsere Physikaufgabe		33
Dr. Th. Henning Dr. B. Stecklum	Molekülwolken und Sternentstehung (Teil 3): Die Geburt eines Sterns	ASTRO	35

### 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: Dr. Roland Colditz, Sylvia Kaschke, Antje Katzer, Petra Richter, Peter Kroll,  
 Alexander Niehardt, Ralph Huonker, Rainer Strobel  
 Die Redaktion wurde 1969 und 1980 mit dem Ehrentitel „Hervorragendes Jugendkollektiv der DDR“ ausge-  
 zeichnet.  
 Über die Annahme der Manuskripte entscheidet die Redaktion; sie behält sich das Recht vor, für nötig erach-  
 tete Kürzungen und Änderungen im Text vorzunehmen bzw. vorzuschlagen.

Gestaltung: Richter, Stecklum  
 Redaktionsschluß: 17. 7. 1987

---

Karin Horn/Antje Hampel/  
Claudia Zschoch/  
Katrin Peschke/Anke Laube  
EOS „Karl Marx“ Leipzig

## Zerstörungsfreie Prüfmethode für den Werkstoff Holz

---

Mit der Weiterentwicklung gesellschaftlicher Anforderungen an das Bauwesen sind in den letzten Jahren die Vorteile des Holzes wieder mehr in den Mittelpunkt der Aufmerksamkeit gerückt. Neben der Schaffung von Neubauten geht es bekanntlich auch um die Rekonstruktion von Altbauwohnungen. Die weitgehende Erhaltung und Weiternutzung von vorhandenen Holzkonstruktionen in den Altbauten für eine Restnutzungsdauer von 30 bis 50 Jahren stellt ein relevantes volkswirtschaftliches Erfordernis dar.

Für eine langfristig wirksame Sanierung ist eine genaue und gründliche Analyse der Bausubstanz unerlässlich. Von außen sind Art und Ausmaß des Schadens meist nicht zu erkennen, so daß eine Untersuchung der verdeckten Holzkonstruktionen erforderlich ist. Die einfachste Methode, der mechanische Aufschluß, ist jedoch weder aus ökonomischer Sicht noch im Hinblick auf den materiell-technischen Aufwand günstig. Oft wird dabei gesundes Holz zerstört; auch bei nur geringem Schaden bliebe der Wohnraum lange Zeit nicht nutzbar. Deshalb kommt der Suche nach zerstörungsfreien Prüfmethode große Bedeutung zu.

Aufgrund seiner hervorragenden Tragfähigkeit ist Holz ein im Bauwesen vielfach angewendeter Werkstoff. Er besteht hauptsächlich aus Cellulose und Lignin (Holzstoff), enthält aber auch noch andere Bestandteile, z.B. Fette, Stärke, Zucker und weitere organische Substanzen. Das im Bauwesen eingesetzte Holz enthält durchschnittlich 1 % Eiweiß. Wegen dieser chemischen Zusammensetzung ist Holz gegenüber Schädlingen (Pilze und Insekten) recht anfällig. Die Insekten wirken im Larvenstadium, das bis zu 12 Jahre dauern kann, als Holzschädlinge. Sie ernähren sich von dem im Holz enthaltenen Eiweiß; dabei bauen sie Lignin ab. In unseren Breiten zählen zu den in Gebäuden vorkommenden holzerstörenden Insekten u.a. der Hausbock und der Poch- oder Klopfkäfer (auch

"Holzwürmer" genannt). Deren Fraßgänge, die das befallene Holz durchsetzen, mindern drastisch dessen Tragfähigkeit.

Die holzzerstörenden Pilze, z.B. der echte Hausschwamm, ernähren sich von Eiweiß, Glucose und Fetten. Sie bauen Lignin und Cellulose ab. Dadurch zerstören sie die chemische und physikalische Struktur des Holzes, woraus sich ebenfalls eine Minderung der Tragfähigkeit ergibt. In bezug auf Wärme und Feuchtigkeit haben die Pilze einen gewissen Toleranzbereich, der ein bestimmtes Optimum einschließt. Temperaturen um 25°C wirken sich günstig auf ihr Wachstum aus. Allerdings können sie auch Temperaturen unter 0°C ertragen; sie verfallen dann in eine Kältestarre. Pilze sind also sehr beständige, gefährliche Holzschädlinge. Die Gefahr des Pilzbefalls ist dabei um so größer, je feuchter das Holz ist. Feuchte Räume, z.B. unter undichten Dächern, sind besonders gefährdet (Holzfeuchte bis zu 60 %).

Holzschädlinge verändern bestimmte chemische und physikalische Eigenschaften des Werkstoffs. Auf dieser Tatsache beruhen die zerstörungsfreien bzw. -armen Prüfmethode: Man mißt spezielle physikalische Eigenschaften und schließt daraus auf den Zustand und die Belastbarkeit des Holzes. Es wurden bereits zahlreiche Verfahren zur Werkstoffprüfung entwickelt und auch praktisch angewendet. Holz weist jedoch als natürlicher Werkstoff gegenüber z.B. Stahl oder Beton einige Besonderheiten auf, die bei der Anwendung bereits erprobter Werkstoffprüfmethode bestimmte Probleme mit sich bringen.

## Untersuchungsverfahren und Resultate

Im Rahmen unserer wissenschaftlich-praktischen Arbeit an der Technischen Hochschule Leipzig (Sektion Technologie der Bauproduktion) beschäftigten wir uns unter Leitung von Dr. V. Hoffmann mit der Untersuchung des Bauzustandes von Holz mittels Ultraschall- und Infrarotmeßtechnik. Unsere Aufgabe bestand darin, vor allem herauszufinden, ob die besonderen Eigenschaften des Holzes eine Anwendung dieser Untersuchungsmethode gestatten und welchen Einfluß die Holzfeuchte dabei ausübt.

Holz ist nicht nur ein sehr inhomogener Stoff, sondern er zeichnet sich durch Anisotropie aus, d.h. die physikalischen Eigenschaften sind abhängig von der Richtung. Parallel zur Faserrich-

tung hat Holz beispielsweise eine sehr hohe Zug- und Druckfestigkeit; quer zur Faser kann es stark auf Biegung beansprucht werden. Auch Holzart und Holzfeuchte mußten wegen ihres Einflusses auf bestimmte physikalische Eigenschaften (z.B. Rohdichte, Elastizitätsmodul) berücksichtigt werden.

Die INFRAROTMESSTECHNIK beruht darauf, daß jedes Objekt der natürlichen Umgebung eine Wärmestrahlung emittiert. Die abgegebene Strahlungsleistung ist i.a. stark temperaturabhängig. Kann man das Objekt näherungsweise als Schwarzen Körper betrachten, so ist die gesamte Strahlungsleistung proportional zur vierten Potenz der Temperatur (Stefan-Boltzmann-Gesetz). Man kann somit aus der Messung der lokalen Temperatur bzw. des Emissionsgrades (mittels eines Pyrometers) auf Strukturdefekte schließen. Auf diese Weise ließe sich z.B. die Lage der Deckenbalken feststellen, und eine völlige Zerstörung des Fußbodens, der Dielen könnte umgangen werden. Dazu führten wir in Wohnräumen von Altbauten Versuche durch, bei denen wir ein digitales Hand-Pyrometer vom Typ "Pyrovar HPM" aus dem Meßgerätewerk Magdeburg benutzten. Die Versuche erbrachten jedoch nicht die erhofften Ergebnisse. Wir mußten erkennen, daß die Infrarotmethode nur sinnvoll ist, wenn die Temperaturdifferenz zu den umliegenden Räumen entsprechend hoch ist, so daß man merkliche lokale Temperaturunterschiede ermitteln kann.

Eine weitere Methode zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung ist die ULTRASCHALLMESSTECHNIK. Unter Ultraschall versteht man Wellen in elastischen Stoffen mit einer Frequenz von mehr als 20 kHz, also oberhalb des menschlichen Hörbereichs. Ultraschallprüfverfahren können auf ganz verschiedene Art und Weise erfolgen. Anwendung findet das Impulsechoverfahren ebenso wie das Resonanzverfahren und das Durchschallverfahren. Wir bedienten uns letzterer Methode. Beim Durchschallverfahren mit Gleichschall (phasengleiche Wellen gleicher Frequenz) befindet sich der Schallsender auf der einen und der Schallempfänger auf der anderen Seite des zu prüfenden Körpers. Die durchgehende Intensität kann als Maß für die Güte des Werkstoffes betrachtet werden. Der entsprechende Meßwert ist an der Skale des Gerätes ablesbar, wobei die Fehltiefe ist jedoch nicht festgestellt werden kann.

Im Gegensatz zu Gasen und Flüssigkeiten breiten sich Schallwellen in Festkörpern nicht nur als Longitudinalwellen, sondern auch

als Transversalwellen aus. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit hängt dabei von der Dichte  $\rho$ , dem Elastizitätsmodul E und dem Schubmodul G ab. In Körpern, bei denen die Länge viel größer ist als die Querausdehnung, z.B. lange Balken, ist die Schallgeschwindigkeit  $c_{\parallel} = (E/\rho)^{1/2}$ . Unabhängig von der Gestalt pflanzen sich die transversalen Wellen mit der Geschwindigkeit  $c_{\perp} = (G/\rho)^{1/2}$  fort. Inhomogenitäten der Dichte und der anderen Materialparameter sowie Anisotropie führen also zu unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeiten, was bei der Prüfung von inhomogenen Materialien (z.B. Beton) und anisotropen Werkstoffen (z.B. Holz) zu beachten ist.

Im Rahmen unserer praktischen Versuche mit dem Ultraschallgerät nahmen wir Untersuchungen auf dem Holzplatz des Kombinats Baureparaturen Leipzig vor. Unser Ziel bestand darin, die Ausbreitung der Schallwellen in Abhängigkeit von Holzdicke, Holzart und Holzfeuchte sowie dem Sender-Empfänger-Abstand zu untersuchen. Dazu benutzten wir ein Ultraschall-Meßgerät der polnischen Firma "Unipan". Die Bestimmung der Holzfeuchte erfolgte mit Hilfe eines elektrischen Feuchtemeßgeräts, d.h. über eine Widerstandsmessung.

Bei der Auswertung der Messungen an gesundem Holz kamen wir im Rahmen unserer Meßgenauigkeit zu dem Ergebnis, daß die Holzfeuchte im Bereich von 15 bis 30 % - das entspricht den normalen Werten in Gebäuden - keinen Einfluß auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Schallwellen hat, ebensowenig wie die Holzart (wir untersuchten die am häufigsten verwendeten Hölzer Kiefer und Fichte) und die Dicke des Holzes.

Aus unseren Meßwerten wurde jedoch ersichtlich, daß zwischen der Ausbreitungsgeschwindigkeit und dem Sender-Empfänger-Abstand eine Abhängigkeit existiert. Ein zu kleiner Abstand hat einen negativen Einfluß auf die Genauigkeit des Meßergebnisses, weil dabei der Ankopplungsdruck (Sender-Prüfgegenstand) eine zu große Rolle spielt. So wird beim sehr festen Andrücken die Welle schneller, beim weniger festen Andrücken die Welle langsamer empfangen. Theoretisch wäre demnach ein recht großer Abstand günstig, aber praktisch nicht mehr sinnvoll, da ein zu großer Abstand keine örtlich genauen Schadensanalysen mehr erbringen würde. Bei unseren Messungen erwies sich ein Sender-Empfänger-Abstand von 20 cm als optimal. Der Streubereich ist dabei sehr gering.

Wir stellten weiterhin fest, daß im kranken Holz die Ausbrei-

tungsgeschwindigkeit der Schallwellen rapide abnimmt. Mit dem Materialtester UNIPAN 541 wurden dabei keine Schallwellen mehr registriert, die das Holz durchdringen konnten. Bei Vergleichsmessungen mit dem Gerät USME 5 waren dagegen noch Laufzeiten der Ultraschallwellen meßbar. Durch die Analyse der oszillographisch dargestellten Meßdaten konnte eindeutig zwischen gesundem und befallenem Holz unterschieden werden. Dieses Gerät ermöglicht also genauere Messungen, jedoch ist der Anwendungsbereich aufgrund seiner Unhandlichkeit begrenzt.

Zerstörungsfreie Prüfmethoden, wie die geschilderte Ultraschallprüfung, erlauben - und darin liegt ein wesentlicher Vorzug gegenüber anderen - auch prophylaktische Untersuchungen in bewohnten Altbauten.

# Wissenswertes:

## Sonnenstrom

Den ersten Strom liefert das Sonnenkraftwerk bei Kertsch auf der Krim, das nach Inbetriebnahme aller Stufen eine Leistung von 5 MW abgeben soll. Es dient vor allem der Erprobung von technologischen Lösungen zur Nutzung der Solarenergie. Sein Wirkungsprinzip beruht darauf, daß mit Hilfe von 1600 Flachspiegeln mit einer Gesamtfläche von 40000 m<sup>2</sup>, die konzentrisch um einen 89 m hohen Turm angeordnet sind, das einfallende Licht auf einen an der Turmspitze befindlichen Dampferzeuger reflektiert wird. Der dadurch auf etwa 250 °C erhitzte Dampf treibt einen Turbogenerator. Die Bedingungen für den Betrieb eines solchen Kraftwerks sind auf der Krim besonders günstig, da dort jährlich mit durchschnittlich 2320 Sonnenstunden gerechnet werden kann. Die Konzeption zur Nutzung der alternativen Energiequelle wurde am Moskauer Institut für Energetik ausgearbeitet. (nach Urania 1/87)

(siehe auch S. 14)

Dr. H.-G. Reimann  
FSU Jena  
Sektion Physik  
Universitäts-Sternwarte

Programmieren leicht-  
verständlich (Teil 9):  
Astronomische Koordinaten-  
transformationen

ASTRO

## 1. Astroamateure und Mikrorechner

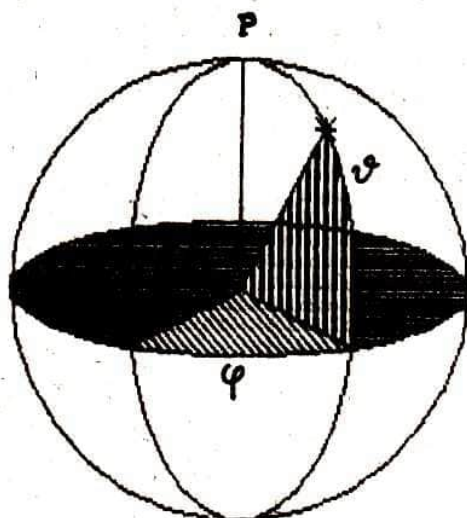
Die zunehmende Verfügbarkeit von Mikrorechnern ermöglicht in wachsendem Maße deren Anwendung für Aufgaben und Zielstellungen der Amateurastronomie. Insbesondere für astronomische Arbeitsgemeinschaften und den Astronomieunterricht bieten sich dadurch neue Möglichkeiten, die von der Bewältigung anspruchsvoller Berechnungen bis zur Steuerung von Teleskopen und Beobachtungsinstrumenten reichen. Der Einsatz des Mikrorechners ist dann sinnvoll, wenn es darum geht, viele Daten zu analysieren oder komplizierte und oft anzuwendende Sachverhalte mathematisch aufzubereiten. Dabei kann es sich z.B. um die Koordinatenbestimmung von Kleinen Planeten aus photographischen Aufnahmen und die Ermittlung der Ephemeriden handeln. Weitere mögliche Einsatzfälle sind die Reduktion der Beobachtungsdaten von Veränderlichen Sternen und die Vorhersage astronomischer Erscheinungen. Am Beispiel der Berechnung von Koordinaten eines Objekts in unterschiedlichen astronomischen Koordinatensystemen, d.h. der Koordinatentransformation zwischen den in der Astronomie gebräuchlichen sphärischen Koordinatensystemen, soll im folgenden ein Anwendungsfall für den Einsatz von Mikrorechnern dargestellt werden. Dabei geht es primär nicht darum, ein komplettes Programm anzubieten, sondern Anregungen dafür zu geben, wie die Aufgabenstellung unter Beachtung der "Eigenheiten" des Rechners gelöst werden kann.

## 2. Astronomische Koordinatensysteme

Obwohl sich die Objekte der Astronomie im Raum befinden, wird ihre Position für das Auffinden mit dem Teleskop durch zwei Koordinaten ausreichend beschrieben. Das sind im allgemeinen zwei Winkel, im folgenden mit  $\vartheta$  und  $\varphi$  bezeichnet, die die Richtung



eines Einheitsvektors, der auf das zu beobachtende Objekt zeigt und dessen Fußpunkt am Ort des Beobachters liegt, definieren. Jedes rechtwinklige sphärische Koordinatensystem bezieht sich auf eine Grundebene, die die Sphäre in einem sogenannten Grundkreis schneidet (s. Abb. 1). Die Pole des Systems stehen senkrecht auf



der Grundebene. Ausgehend von einem Fußpunkt auf dem Grundkreis (Nullpunkt einer Koordinate) geht ein Großkreis durch den Ort des Gestirns und beide Pole. Eine Koordinate wird durch den Winkelabstand (aufsteigend vom Fußpunkt) senkrecht zur Grundebene definiert, die andere Koordinate durch den Winkelabstand des Fußpunktes zu einem Leitpunkt (Nullpunkt der anderen Koordinate).

Die folgende Übersicht charakterisiert die Koordinatensysteme, zwischen denen in der astronomischen Praxis häufig Transformationen erforderlich sind. •

System	Grundebene	Koordinaten
1. Horizontsystem	Horizontebene	Azimet $A$ , Höhe $h$
2. rotierendes Äquatorsystem	Äquatorebene	Rektaszension $\alpha$ Deklination $\delta$
3. Ekliptiksystem	Bahnebene des Erde-Mond-Systems	ekliptikale Länge $\lambda$ ekliptikale Breite $\beta$
4. Galaktisches System	Ebene des Milchstraßensystems	galaktische Länge $l$ galaktische Breite $b$

Beim Horizontsystem ist die Grundebene mit der durch den mathema-

tischen Horizont definierten Ebene mit dem Beobachter im Zentrum identisch. Die beiden Pole entsprechen Zenit und Nadir als Scheitel- und Fußpunkt des Himmels am Beobachtungsort mit der geographischen Breite  $\delta$ . Das Azimut wird von Süden beginnend über Westen gezählt.

Im rotierenden Äquatorsystem wird die Grundebene durch den Himmelsäquator definiert. Der Nordpol befindet sich in der Nähe des Polarsterns. Die Rektaszension wird beginnend beim Frühlingspunkt, dem aufsteigenden Schnittpunkt der scheinbaren Sonnenbahn mit dem Himmelsäquator, entgegengesetzt zur täglichen Bewegung der Gestirne gemessen.

Beim Ekliptiksystem ist die Grundebene durch die scheinbare Sonnenbahn gegeben. Es ist das für die Beschreibung der Planetenbewegung günstigste Bezugssystem, da die meisten Körper des Sonnensystems nur geringe Neigungen ihrer Bahnebenen gegen diese Grundebene besitzen. Der Nullpunkt der Längenzählung ist wiederum der Frühlingspunkt.

Die Grundebene des galaktischen Systems ist durch die Symmetrieebene der galaktischen Scheibe, die die Spiralarme enthält, definiert. Bei diesem System wird der Nullpunkt der Längenzählung durch die Richtung zum galaktischen Zentrum vorgegeben.

Bei der Transformation der sphärischen Koordinaten gehen wir davon aus, daß sich zwei unterschiedliche Koordinatensysteme mindestens durch die Lage eines Punktes an der Sphäre unterscheiden müssen. Als markanten Punkt wählen wir den Durchstoßungspunkt der Polachse. Die Koordinaten im Ausgangssystem seien mit  $\vartheta'$  und  $\varphi'$  bezeichnet, die des Zielsystems (in das wir transformieren wollen), mit  $\vartheta$  und  $\varphi$ . Der Winkel  $i$  kennzeichnet den Winkel zwischen den Polachsen und mit  $\varphi_+$  und  $\varphi_-$  werden die Winkel von den Nullpunkten der jeweiligen Grundkreise bis zu deren Schnittpunkt benannt. Die allgemeinen Beziehungen zwischen den sphärischen Koordinatensystemen lauten wie folgt:

$$\begin{aligned} (1) \quad \cos \vartheta \cos(\varphi - \varphi_0) &= \sin i \sin \vartheta' - \cos i \cos \vartheta' \cos(\varphi' - \varphi'_0) \\ (2) \quad \cos \vartheta \sin(\varphi - \varphi_0) &= \phantom{\sin i \sin \vartheta'} - \phantom{\cos i \cos \vartheta'} \cos \vartheta' \sin(\varphi' - \varphi'_0) \\ (3) \quad \sin \vartheta &= \cos i \sin \vartheta' + \sin i \cos \vartheta' \cos(\varphi' - \varphi'_0). \end{aligned}$$

Dabei gilt  $\varphi_0 = \varphi_+ \pm k\pi/2$  und  $\varphi'_0 = \varphi'_+ \pm l\pi/2$ , wobei  $k$  und  $l$  ganze Zahlen sind. Die für die jeweiligen Transformationen benötigten

Werte sind aus folgender Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 1:

Transformation		1	2	3	$\varphi$	$\psi$	$\varphi$	$\psi$
		i	$\varphi_0$	$\varphi_0$	$\varphi$	$\psi$	$\varphi$	$\psi$
n								
1	2.->1.	$\pi/2 - \bar{\varphi}$	$\pi$	MOSZ	$\alpha$	$\delta$	-A	h
2	2.->3.	0.409093 $-2.2697 \cdot 10^{-4} \cdot \text{JH}$	$\pi/2$	$3\pi/2$	$\alpha$	$\delta$	$\lambda$	B
3	2.->4.	1.09732 $+9.4911 \cdot 10^{-3} \cdot \text{JH}$	2.14558 $-2.3457 \cdot 10^{-3} \cdot \text{JH}$	3.36603 $+2.1270 \cdot 10^{-2} \cdot \text{JH}$	$\alpha$	$\delta$	l	b

Es bedeuten hierbei JH die Anzahl der Julianischen Jahrhunderte bis zur Bezugsepoche J2000.0 und MOSZ die mittlere Ortssternzeit. Auf beides wird im folgenden noch eingegangen.  $\bar{\varphi}$  ist die geographische Breite des Beobachtungsortes. Die Angaben in der Tabelle sind im Bogenmaß gegeben, da der Rechner das Argument der Winkel-funktionen im Bogenmaß benötigt. An dieser Stelle sei ein Hinweis auf die Genauigkeit erlaubt. Eine Reihe von BASIC-Versionen arbeitet mit Zahlendarstellungen, die nur sechs- bis siebenstellige Genauigkeit zulassen. Für einige Zwecke ist dies nicht ausreichend, was folgendes Beispiel illustrieren soll. Betrachten wir die Koordinaten als repräsentativ für die Ortsvektoren an der Einheitskugel, so können Winkel zwischen Ortsvektoren mit Hilfe des Kosinussatzes (Skalarprodukt) berechnet werden. Man kann selbst probieren, was geschieht, wenn der Winkel ständig verkleinert wird. Ab einem bestimmten Wert liefert der Rechner als Resultat für  $\cos x$  stets 0,99999, um dann auf 1 umzuschlagen ohne daß das Argument des Kosinus bereits 0 ist. Das hat bei sechs-stelliger Genauigkeit zur Folge, daß Winkel, die kleiner als 15 Bogenminuten sind, über den Kosinussatz nicht mehr zuverlässig ermittelt werden können. Man sollte dann gemäß der trigonometrischen Beziehungen den Kosinus durch den Sinus ersetzen, da bei diesem für genügend kleine Winkel gilt  $\sin x \approx x$ .

Die Angabe der Koordinaten erfolgt meistens in Form von Stunden, Minuten und Sekunden (h,min,s) bzw. Grad, Bogenminuten und Bogensekunden ( $^{\circ}$ ,',"). Das Programm benötigt die Winkelangaben jedoch im Bogenmaß. Es ist deshalb günstig, die oft auftretenden Umrech-

nungen in einem Unterprogramm zu erledigen, wie es nachfolgend vorgeschlagen wird. Vom Hauptprogramm wird dabei mit C die umzurechnende Größe zur Verfügung gestellt (um Probleme zu vermeiden darf C nicht negativ sein, d.h. es ist vorher mit SGN(C) das Vorzeichen zu merken und mit ABS(C) der Betrag zu bilden).

```

9000 H1=INT(C):T1=C-H1:IF T1=1 THEN H1=H1+1:T1=0
9010 H2=INT(T1*100):J1=100*T1-H2:IF J1^0.6 THEN H2=H2+1:J1=0
9020 M1=H2/60:J1=J1/36:J2=H1+M1+J1:J3=J2*PI/12:C=C*12/PI
9030 S1=(C-INT(C))*60:V=INT(C)+INT(S1)/100+(S1-INT(S1))*6E-03

```

Ist C eine Größe im Bogenmaß, so liefert das UP durch V diese Größe im Format h.min s. Geht man mit  $15 \cdot C$  in das UP ein, dann erfolgt die Angabe im Format °.' ". Andererseits ist J3 (bzw.  $J3/15$ ) die Angabe im Bogenmaß, falls C in h.min s (bzw. °.' ") gegeben war. Mit J2 steht diese Angabe auch im dezimalen Zeitmaß zur Verfügung.

Wie bereits erwähnt, benötigen wir für die Ausführung einiger Transformationen die Werte für JH und MOSZ. Die Angabe von JH ist notwendig, um in den Formeln (1), (2) und (3) die infolge der Präzession veränderlichen Größen  $i$ ,  $\varphi_0$  und  $\varphi'_0$  für das aktuelle Datum zu berechnen. Dazu ist es erforderlich, das Julianische Datum (JD) zu ermitteln, was jedoch wegen dessen Größe wiederum zu Genauigkeitsproblemen führen kann (z.B. ist für  $J2000.0$   $JD=2451544.5$ ). Aus diesem Grund umgehen wir im nachfolgenden Beispiel diese Darstellung indem die Zählung von JD auf 1950 bezogen wird. Vom Hauptprogramm muß das Datum, für das die Transformation gültig sein soll, in Form von Jahr (JR), Monat (MT) und Tag (TG) zur Verfügung gestellt werden, wobei JR die Anzahl der Jahre seit 1900 kennzeichnet.

```

400 C=INT((MT+9)/12):C=INT(7*(1.9E+03+JR+C)/4)
410 JD=367*JR-C+INT(275*MT/9)+TG+3.2935E+03
420 JH=(JD-18.262E+03)/36.525E+03

```

Gleichzeitig erhalten wir in diesem Programmabschnitt den Wert JH der bis zu  $J2000.0$  verbleibenden Julianischen Jahrhunderte.

Die Berechnung der mittleren Ortssternzeit MOSZ setzt die Berechnung der Sternzeit um 0<sup>h</sup> Weltzeit (UT) voraus. Um diese recht

genau zu erhalten, verwenden wir nicht die übliche Polynomdarstellung (wegen der häufigen Periodizität von  $24^h$ ), sondern beziehen uns auf das tropische Jahr (Länge 365.2422 Tage).

```
500 Z=365.2422;X=2*PI*(JD/Z-INT(JD/Z));GZ=1.739937+X;GZ=GZ*12/PI
```

GZ bezeichnet in Stunden (und Bruchteilen) die mittlere Sternzeit um 0<sup>h</sup> UT. Zur Berechnung der MOSZ müssen wir berücksichtigen, daß zwischen MEZ und UT eine Zeitdifferenz von einer Stunde besteht. Weiterhin sind die geographische Länge des Beobachtungsortes LA (im dezimalen Zeitmaß) und der Unterschied zwischen Sonnen- und Sternzeit zu beachten (Verhältnis  $U=1.0027379$ ).

```
600 T=J2-1;MOSZ=U*T+LA+GZ;MOSZ=MOSZ*PI/12
```

```
610 MOSZ=MOSZ-2*PI*INT(MOSZ/2/PI)
```

Die mittlere Ortssternzeit erhält man im Bogenmaß begrenzt auf das Intervall  $[0, 2*PI]$ .

Damit sind alle Voraussetzungen geschaffen, um die benötigten Parameter dem Hauptprogramm, das durch die BASIC-Übersetzung der Gleichungen (1)-(3) gebildet wird, zur Verfügung zu stellen. Allerdings ist noch offen, wie die Koordinaten des Zielsystems erhalten werden. Die Division von Gl. (2) durch Gl. (1) liefert:

$$(4) \tan(\varphi - \varphi_0) = \sin(\varphi' - \varphi'_0) / (\cos i \cos(\varphi' - \varphi'_0) - \sin i \tan \nu')$$

Die Berechnung von  $\varphi - \varphi_0$  erfolgt mittels ATN, wobei zu beachten ist, daß der Computer nicht weiß, in welchem Quadrant sich der richtige Winkel befindet (er liefert ihn nur im Bereich von  $-\pi/4$  bis  $\pi/4$ ). Das entsprechende UP könnte so aussehen ( $X = \tan(\varphi - \varphi_0)$ ,  $W = \varphi' - \varphi'_0$ ), wobei E der gesuchte Winkel ist:

```
800 E=ATN(X);IF W<PI THEN GOTO 830
```

```
810 IF X>=0 THEN RETURN
```

```
820 E=E+PI;RETURN
```

```
830 IF X>=0 THEN E=E+PI;RETURN
```

```
840 E=E+2*PI;RETURN
```

Die andere Koordinate erhält man aus Gl. (3), wobei die Beziehung

zwischen Arkussinus und Arkustangens  $\arcsin(x) = \arctan(x/(1-x^2)^{1/2})$  sinnvolle Anwendung findet. Vorzeichenprobleme treten hier nicht auf, da diese Koordinate nur im Bereich zwischen  $-\pi/2$  und  $\pi/2$  liegt.

Die Übernahme der Daten aus Tabelle 1 kann man in Form von DATA-Anweisungen realisieren, die die entsprechenden Werte in mehrdimensionale Felder einschreiben.

```
1000 RESTORE 2000 DIM TR(3,3)
1010 FOR N=1 TO 3: FOR M=1 TO 3
1020 READ TR(N,M)
1030 NEXT M:NEXT N
1050 INPUT"Wahl der Transformation n=";N
2000 DATA  $\pi/2-\delta$ , $\pi$ ,MDSZ,...
```

Die Fehlersuche im Programm wird durch PRINT-Anweisungen an kritischen Stellen erleichtert. Um die Richtigkeit des Programms zu testen, kann folgendes Beispiel benutzt werden. Bei der Transformation vom Äquatorsystem in das Horizontsystem müssen sich für die Ausgangskordinaten  $\alpha = \text{MDSZ}$  und  $\delta = 0$  (der Stern befindet sich auf dem Himmelsäquator im Meridian)  $A = 0$  und  $h = 90^\circ - \delta$  ergeben (der Stern befindet sich im Süden  $90^\circ - \delta$  über dem Horizont).

Die Transformation in umgekehrter Richtung wird durch Vertauschen der gestrichelten Größen ( $\varphi_0, \vartheta, \psi$ ) mit den ungestrichelten Größen ( $\varphi_0, \vartheta, \psi$ ) bewerkstelligt.

---

Die Leuchtkraft der Sonne ist von 1980 bis 1984 pro Jahr um 0,019 % zurückgegangen. Allerdings gibt es aufgrund dieser Daten keine Anhaltspunkte auf eine neue Eiszeit, da für deren Auslösung ein Abfall von 0,5 % über mehrere Jahre hinweg Voraussetzung wäre. Wissenschaftler vom Jet Propulsion Laboratory in Pasadena (USA) bestätigen vielmehr den Zusammenhang zwischen der Strahlungintensität und dem Aktivitätszyklus der Sonne, dessen Länge elf Jahre beträgt. Das Jahr 1980, in dem die Messungen mit Hilfe des Satelliten SMM (Solar Maximum Mission) begannen, fiel mit dem Maximum des Sonnenzyklus zusammen; danach verringerte sich die Sonnenaktivität. Es ist zu erwarten, daß in den nächsten Jahren die Leuchtkraft der Sonne wieder geringfügig ansteigt. (nach Nature Vol 234/1986)

#### 4. Das PAL-Verfahren

In diesem Abschnitt wollen wir uns mit dem PAL - Verfahren zur Farbfernsehübertragung beschäftigen. Es stellt eine Weiterentwicklung des NTSC-Verfahrens dar. Wie wir im letzten Abschnitt gesehen haben, ist beim NTSC - Verfahren der Farbton durch den Betrag und den Phasenwinkel des Farbartsignals gekennzeichnet. Dieser Phasenwinkel kann auf dem Weg zwischen dem Coder im Sender und dem Decoder im Empfänger Schwankungen unterworfen sein, die z.B. bei Reflexionen im Empfangsfeld oder bei Pegelschwankungen der F- und y- Signale auftreten. Das Resultat sind pegelabhängige Farbtonverfälschungen, die sich mit dem PAL - Verfahren weitgehend korrigieren lassen.

PAL ist die Abkürzung für "Phase Alternation Line", frei übersetzt: Phasenwechsel von Zeile zu Zeile. Wir wollen uns das Prinzip des PAL-Verfahrens veranschaulichen um den Korrekturmechanismus zu verstehen. Wie bei allen Farbfernsehverfahren werden auch beim PAL-System die

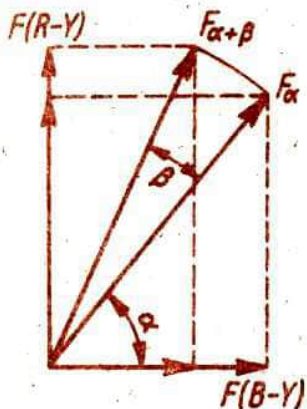


Abb. 1

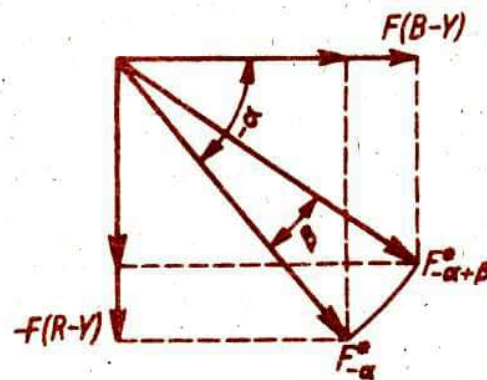


Abb. 2

Chrominanzsignale  $0,88 \cdot (R-Y)$  und  $0,49 \cdot (B-Y)$  übertragen. Diese Signale werden genau wie beim NTSC-Verfahren dem Betrag und der Phase des Farbsignals  $F$  aufmoduliert. Im Bild 1 ist als Beispiel das Signal  $F_{\alpha}$  mit dem Phasenwinkel  $\alpha$  bezüglich dem Referenzträger  $F(B-Y)$  eingezeichnet. Kommen zwischen Coder und Decoder Phasenfehler zustande, so dreht sich das Farbsignalsignal um den Winkel  $\beta$ . Die im Synchrondemodulator des Decoders gewonnenen Farbdifferenzsignale stimmen nicht mehr mit den Sollwerten überein. Im PAL-Coder wird nun im Gegensatz zum NTSC-Coder das  $F(R-Y)$ -Signal bei jeder 2. Zeile durch einen Umschalter mit negativem Vorzeichen versehen (d.h. um  $180^{\circ}$  gedreht) und auf den Referenzträger moduliert. Es entsteht das Signal  $F_{-\alpha}$  und nach der fehlerhaften Übertragung zum Decoder ergibt sich das Signal  $F_{-\alpha+\beta}$ , wie in Abb.2 dargestellt. Zu beachten ist, daß die Phasenfehler  $\beta$  hier die Phase verringern. Durch einen weiteren Umschalter im Decoder wird die  $180^{\circ}$  - Drehung des Signals  $F_{-\alpha+\beta}$  wieder behoben, so daß das Signal  $F_{+\alpha-\beta}$  zur Verfügung steht. Dieser Umschalter ist natürlich mit dem des Coders synchronisiert. Wenn wir nun die beiden verfälschten Signale  $F_{\alpha-\beta}$  und  $F_{-\alpha+\beta}$  geometrisch (d.h. unter Beachtung ihrer Phasen) addieren, so erhalten wir ein Signal, das bis auf den kleinen Betrag  $\Delta S$  mit dem unverfälschten Wert  $2 F_{\alpha}$

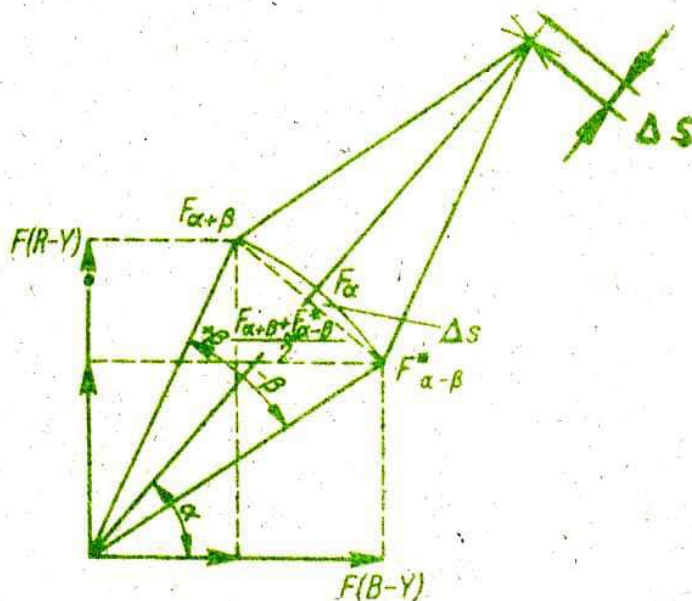


Abb. 3



übereinstimmt (siehe Abb. 3). Der Fehler in der Phasenübertragung wird also vollständig korrigiert, der Farbton wird richtig übertragen. Solange die Phasenfehler kleiner als etwa  $30^\circ$  sind, verbleibt nur ein geringer Fehler  $\Delta S$  im Betrag des Farbartsignals, der nur eine Verringerung der Farbsättigung bewirkt.

Um die Addition im Decoder zu realisieren, wird das Farbartsignal der vorher gesendeten Zeile mittels einer Laufzeitleitung um eine Zeilendauer ( $64 \mu s$ ) verzögert. Damit stehen immer beide Signale  $F_{akt}$  und  $F_{alt}$  zur Verfügung, wobei eines der beiden Signale von der vorhergehenden Zeile stammt. Die Korrektur der Phasenfehler kann folglich nur gelingen, wenn zwei Voraussetzungen erfüllt sind:

- Der Phasenfehler zwischen zwei aufeinanderfolgenden Zeilen darf sich nicht wesentlich ändern
- Das Farbartsignal muß in diesen beiden Zeilen annähernd den gleichen zeitlichen Verlauf haben.

Eingehende Versuche haben gezeigt, daß diese Voraussetzungen weitgehend erfüllt sind. In diesem Zusammenhang sei auf das geringere räumliche Farbtrennvermögen des Auges hingewiesen. Daraus ergibt sich, daß das Farbartsignal geringere Bandbreite hat und folglich nur langsame Farbänderungen übertragen werden.

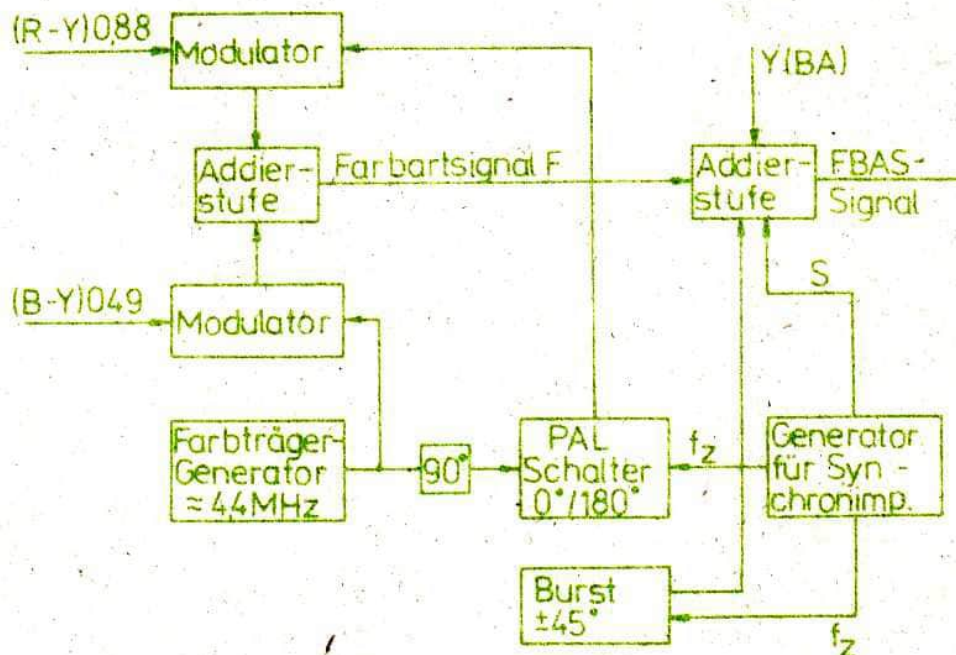


Abb. 4

In Abb. 4 ist das Blockschaltbild eines PAL-Coders dargestellt. Wie beim NTSC-Coder werden in den Modulatoren die (R-Y) und (B-Y)-Spannungen mit dem Farbträger ( $f = 4,433$  MHz) moduliert und in der Addierstufe das Farbsignalsignal F gebildet. Durch den PAL-Schalter  $0^\circ/180^\circ$  wird der Farbträger für das (R-Y) Signal umgeschaltet, was einer Vorzeichenumkehr des  $F(R-Y)$ -Signals gleich ist. Der Zustand ( $0^\circ$  oder  $180^\circ$ ) dieses Schalters wird durch Übertragung des Synchronbursts mit plus oder minus  $45^\circ$  Phase, bezogen auf das  $-F(B-Y)$ -Signal dem Empfänger übermittelt. Dieser Burst dient zur Synchronisation des Referenzoszillators im Decoder. In der Addierstufe wird aus den F-Y-Signalen und den Synchronimpulsen das PAL - FBAS -

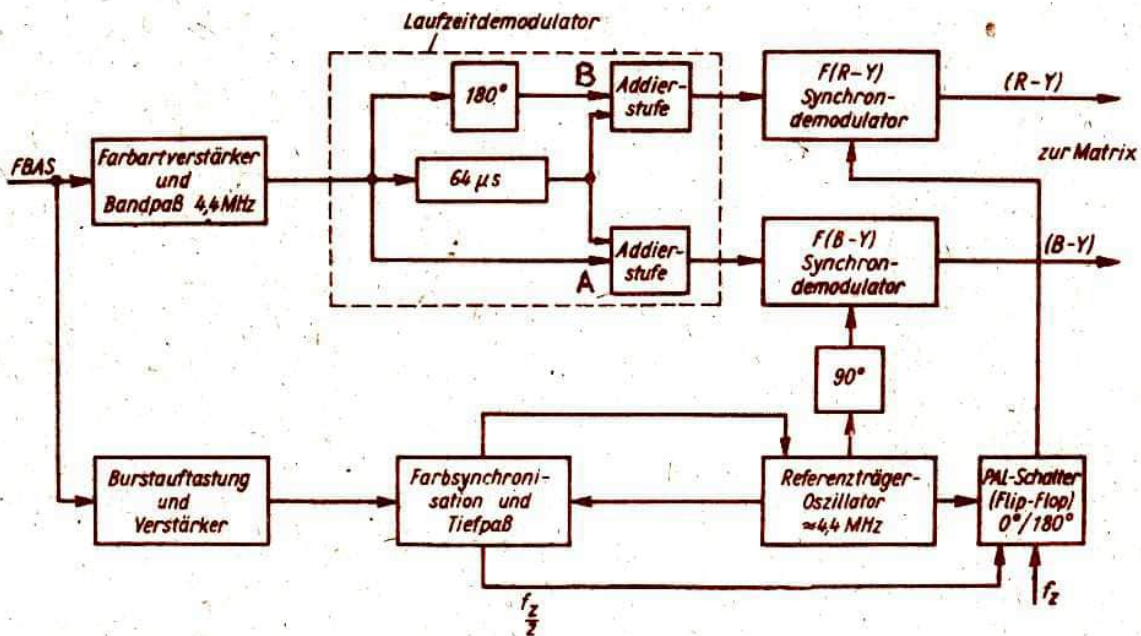


Abb. 5

Signal gebildet und dem Sender zugeführt.

Im Decoder dessen Blockschaltbild in Abb. 5 dargestellt ist, wird aus dem FBAS-Signal das Farbsignalsignal F mit einem Bandpaß (Durchlaßbereich von 3 bis 5 MHz) ausgefiltert. Anschließend passiert es einen Laufzeitdemodu-

lator, an dessen Ausgang beide Signale  $F(R-Y)$  und  $F(B-Y)$  gleichzeitig zur Verfügung stehen. Um dies zu veranschaulichen, schreiben wir zB das Signal  $F_{\alpha}$  aus Abb. 1 als komplexe Zahl in folgender Weise auf:

$$F_{\alpha} = F(B-Y) + j \cdot F(R-Y) .$$

$j$  bezeichnet die imaginäre Einheit.

Bezeichnen wir das Signal der gerade übertragenen Zeile mit  $F_n$  und das der vorhergehenden mit  $F_{n-1}$ , so liefert die Addition am Punkt A

$$\begin{aligned} F_n + F_{n-1} &= F_n(B-Y) + j \cdot F_n(R-Y) + F_{n-1}(B-Y) - j \cdot F_{n-1}(R-Y) \\ &= 2 \cdot F_n(B-Y) \end{aligned}$$

Hier wurde wieder vorausgesetzt, daß sich die Farbsignale von Zeile zu Zeile nicht stark ändern. Das wechselnde Vorzeichen vor der imaginären Einheit repräsentiert die abwechselnde Umschaltung des  $F(R-Y)$  Signals. Am Punkt B wird das Signal  $F_{n-1}$  mit  $-F_n$  addiert, woraus sich

$$\begin{aligned} F_{n-1} - F_n &= F_{n-1}(B-Y) - j \cdot F_{n-1}(R-Y) - F_n(B-Y) + j \cdot F_n(R-Y) \\ &= -2j \cdot F_n(R-Y) \end{aligned}$$

Die in der nächsten Zeile ( $n+1$ ) wechselnde Polarität des  $F(R-Y)$  Signals wird im Synchrondemodulator durch Ansteuerung mit der entsprechenden Phase ( $0^\circ/180^\circ$ ) des Referenzträgers rückgängig gemacht. Dazu dient der PAL-Schalter. Die Information darüber, welches Vorzeichen  $F(R-Y)$  gerade trägt ergibt sich aus der Phase des Burstsignals und wird in der Farbsynchronisationsschaltung gewonnen. Am Ausgang beider Synchrondemodulatoren stehen die Spannungen  $(R-Y)$  und  $(B-Y)$  zur Verfügung, aus denen mit dem Y-Signal in einer Matrix die Farbsignale R, G und B gebildet und der Bildröhre zugeführt werden.

**Ein physikalischer Versuch, der knallt, ist allemal mehr wert als ein stiller. Man kann also den Himmel nicht genug bitten, daß, wenn er einen etwas will erfinden lassen, es etwas sein möge, das knallt; es schallt in die Ewigkeit.**

G. Ch. Lichtenberg

# BUCHERMARKT

Wolfgang Spickermann: „Urknall, Quarks, Kernfusion“  
(Streifzug durch Forschungsgebiete der modernen Physik)  
URANIA Verlag Leipzig, Jena, Berlin  
1. Auflage 1986, 216 S., zahlr. Abb.,  
Best.-Nr. 654 0539, Preis: 10,- M

Nicht erst durch den 22. Internationalen Kongreß für Hochenergiephysik 1984 in Leipzig wurde augenfällig, daß Kosmologie und Elementarteilchenphysik eng miteinander verbunden sind. Wenn aber dort bei Anwesenheit von Wissenschaftlern aus 30 Ländern über die mutmaßliche Zusammensetzung der kosmischen Materie zur Zeit des Urknalls vorgetragen wurde, wenn man darüber diskutiert, ob Neutrinos eine Ruhmasse besäßen oder nicht und ob Protonen stabil seien, dann macht das deutlich, wie nötig Grundkenntnisse über die im Buchtitel genannten Begriffe sind, will man auch nur einigermaßen verstehen, womit sich die physikalische Grundlagenforschung gegenwärtig beschäftigt.

Spickermann ist es gut gelungen, vieles aus dem Problemkreis "Entwicklung des Kosmos" und "Entstehung der Elemente" für den physikalisch Vorgebildeten transparenter zu machen. Vor allem verweist er auf die Brennpunkte der Forschung wie die Suche nach den Zusammenhängen der "Urkräfte" des Universums (Arten der Wechselwirkungen) oder auf die Wertigkeit verschiedener Weltmodelle bei der Erklärung der gegenwärtigen Verteilung der Materie innerhalb des von uns überschaubaren Weltalls.

Dabei kamen dem Autor seine Erfahrungen in der populärwissenschaftlichen Darstellung philosophischer, physikalischer und astronomischer Themen in anderen Publikationsorganen zugute.

Auch der astronomischen Beobachtungstätigkeit (große Teleskope einschließlich der Radioteleskopie) und modernen physikalischen Experimentiertechnik (Beschleuniger) wird breiter Raum gewidmet. Somit dürfte dieses Buch einen größeren Interessentenkreis finden. Insbesondere sollte es nicht in den Bibliotheken der Schul- und Volkssternwarten fehlen, wie es auch für einschlägige Arbeitsgemeinschaften und fakultative Kurse eine wertvolle Wissensquelle darstellt.

Wolfgang König, Suhl

Otto von Guericke: „Neue Magdeburgische Versuche über den leeren Raum“  
Ostwalds Klassiker der exakten Naturwissenschaften, Nr. 59  
Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K. G.  
Leipzig 1986, Bestell-Nr. 669 6250, Preis: 15,- M

Reprint-Ausgaben haben es in sich. Nicht nur im Preis. Dieser sollte keinesfalls vom Erwerb des unterhaltsamen und lehrreichen Bändchens abhalten.

Das hier vorliegende dritte Buch "Über eigene Versuche" ist nur eines von sieben Büchern in Guericke's Werk "Neue (sogenannte) Magdeburgische Versuche über den leeren Raum" aus dem Jahre 1672.

In großer Ausführlichkeit schildert Guericke die von ihm durchgeführten Versuche, ihre Vorbereitung, den Aufbau und die Anordnung der Geräte nebst Hinweisen zum Nachbau, die Durchführung sowie alle beobachtbaren Erscheinungen. Dabei werden auch mißlungene Experimente nicht ausgelassen. Das Experiment ist für Guericke die einzige Art, die Natur zu befragen. Insofern stellt diese Arbeit auch eine philosophische Auseinandersetzung mit der Scholastik dar. Bestechend ist die Schärfe des Gedankengangs, mit der er den Ursachen mißglückter Versuche nachgeht, mit der er die Argumente seiner wissenschaftlichen Widersacher analysiert und widerlegt, mit der er die Beobachtungen aus Natur und Experiment zu deuten versucht und dabei noch verschiedene Erklärungsmöglichkeiten diskutiert.

Aber auch ein noch so logischer Gedankengang bewahrt nicht vor Trugschlüssen. Es ist eine gute Idee des Verlages, derartige Irrungen des Autors mit Fußnoten zu versehen und in einem Anhang richtigzustellen.

Dort finden sich auch Hinweise auf andere Bücher Guericke's bzw. auf historische Fakten, die zum Verständnis des Textes nötig erscheinen, sowie Biographisches zum Leben Guericke's.

Hervorzuheben ist, daß der Verlag diese Anmerkungen in Schrift- und Sprachstil weitgehend dem Original anglich, so daß sie das Gesamtbild in keiner Weise beeinträchtigen.

Wünschenswert wäre aber der Hinweis gewesen, ob und wann die weiteren sechs Bücher Guericke's als Reprint-Ausgabe erscheinen oder erschienen sind.

Alexander Niehardt.

OL Siegfried Oertel  
EOS „Karl Marx“  
Leipzig

Das wellenmechanische  
Atommodell (Teil 6):  
Komplexverbindungen

Die Vielfalt der zu beobachtenden Erscheinungen und Eigenschaften von KOMPLEXVERBINDUNGEN gestattet derzeit noch keine klare, einheitliche Behandlung der Bindungsverhältnisse in Komplexen.

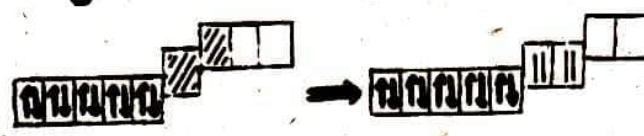
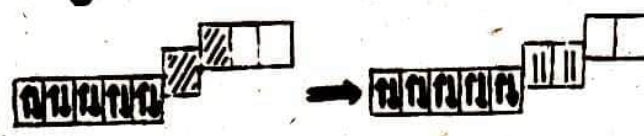

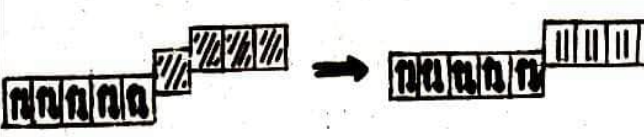
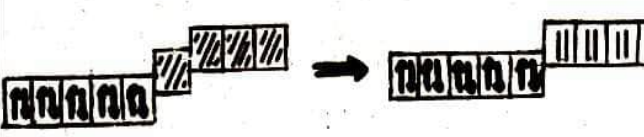
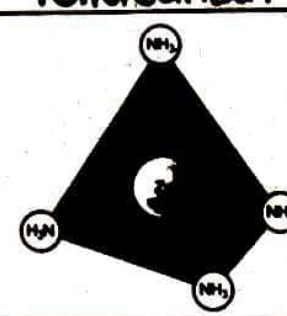
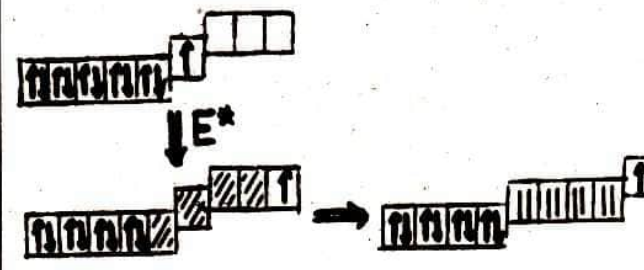
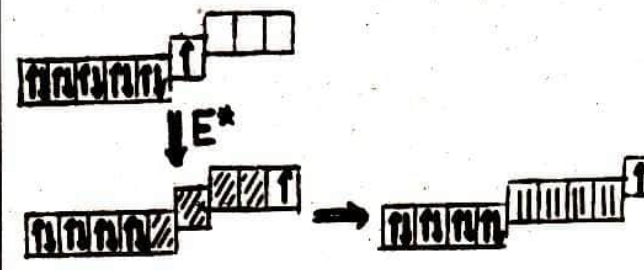
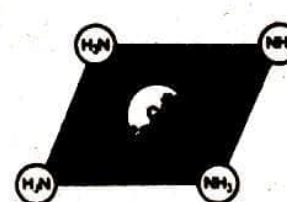
Im Chemieunterricht der 11. Klasse lernen die Schüler, daß die chemische Bindung zwischen den Bestandteilen von Komplexen sowohl mit dem Modell elektrostatischer Wechselwirkungen als auch mit dem Modell der koordinativen Atombindung beschrieben werden kann.

Ersteres entspricht der vor allem von Kossel (1916) und Magnus (1922) entwickelten klassischen Theorie, die in Analogie zur Ionenbeziehung zwischen entgegengesetzt geladenen Teilchen von elektrostatischen Kräften zwischen dem Koordinationszentrum oder Zentralteilchen (meist Metallkationen) und der Ligandenhülle (aus Anionen oder Dipolmolekülen bestehend) auf der Grundlage des Coulombschen Gesetzes ausgeht.

Das andere Modell - von Sidgwick (1923) aus der Taufe gehoben betrachtet den Zusammenhalt zwischen Zentralteilchen und Ligand als kovalent, d.h. durch die gemeinsame Nutzung freier Elektronenpaare, die hier einseitig von den Liganden zur Verfügung gestellt werden. Diese Auffassung hat Pauling (1932) in Gestalt seiner VB- (Valenzbindungs-) Methode (=Valence-Bond-Theorie) weiterentwickelt, indem er durch die Annahme einer Hybridisierung die schon vom Schöpfer der klassischen Koordinationslehre (Werner, 1893) erkannten typischen geometrischen Anordnungsmöglichkeiten der Liganden deuten, aber auch das unterschiedliche magnetische Verhalten von Komplexen erklären konnte.

Danach werden zwischen dem Zentralion und den Liganden  $\sigma$ -Bindungen aufgebaut, wobei die Orbitale des Zentralions durch Hybridisierung in solche geometrische Anordnungen übergehen, die durch ihre Symmetrie einem möglichst energiearmen Zustand entsprechen. Solche Hybridisierungen sind in den vergangenen Folgen am Bei-

spiel des Kohlenstoffatoms und anderer Elemente beschrieben worden. Das Charakteristikum der Nebengruppenelemente, bei denen wir vorrangig Komplexbildung feststellen, besteht darin, daß neben den s- und p-Orbitalen für die Bindung auch d-Orbitale zur Verfügung stehen. Die strenge geometrische Ausrichtung der Hybridorbitale führt zu einer maximalen Durchdringung mit den Ligandenorbitalen, wodurch ziemlich stabile kovalente (=Atom-) Bindungen entstehen, die den Charakter einer polaren  $\sigma$ -Bindung haben. Der Zusammenhang zwischen der Art der Hybridisierung und der räumlichen Anordnung der Liganden um das Zentralion wird zusammenfassend und übersichtlich an Beispielen in der Abb.38 dargestellt.

Zentralion	Komplexion	Art der Hybridisierung Koord.zahl	Geometrie des Komplexions
$\text{Ag}^+$ 	$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ 	$sp$ 2	linear 
$\text{Zn}^{2+}$ 	$[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 	$sp^3$ 4	tetraedrisch 
$\text{Cu}^{2+}$ 	$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 	$dsp^2$ 4	planar-quadratisch  (siehe Abb.37)

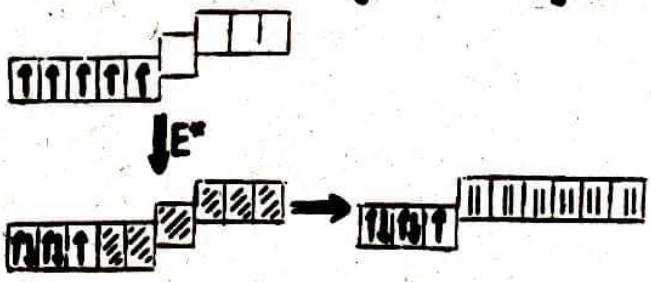
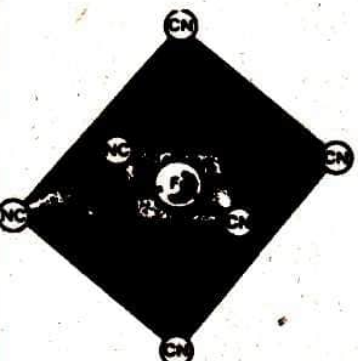
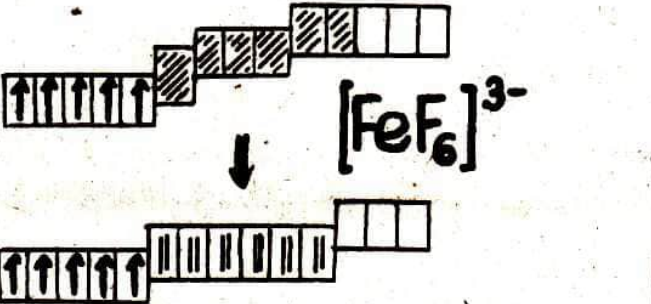
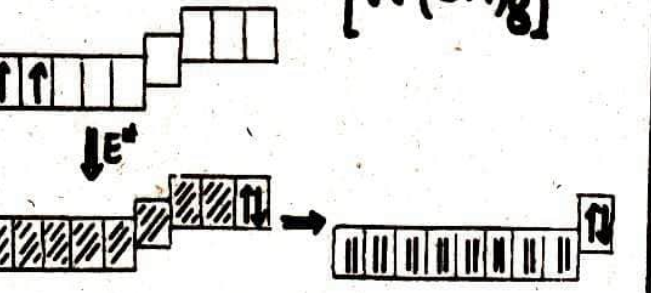
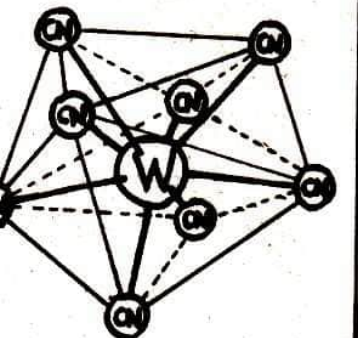
<p><math>Fe^{3+}</math>      <math>[Fe(CN)_6]^{3-}</math></p> 	<p><math>d^2sp^3</math> 6</p>	<p>oktaedrisch</p> 
<p><math>Fe^{3+}</math></p>  <p><math>[FeF_6]^{3-}</math></p>	<p><math>sp^3d^2</math> 6</p>	<p>(ebenso)</p>
<p><math>W^{4+}</math>      <math>[W(CN)_8]^{4-}</math></p> 	<p><math>d^5sp^2</math> 8</p>	<p>dodekaedrisch<sup>*)</sup></p> 
<p>*) andere mögliche Anordnungen derselben Koordinationszahl:          - quadratisch antiprismatisch; z.B. <math>[TaF_9]^{3-}</math>, <math>[ReF_9]^{2-}</math>          - kubisch; z.B. <math>[UF_8]^{3-}</math>, <math>[PaF_8]^{3-}</math></p>		

Abb. 38

Besonders interessant sind die magnetischen Eigenschaften sowie die Farbe von Komplexverbindungen der Nebengruppenelemente. Wenden wir uns zunächst an dieser Stelle den magnetischen Verhältnissen zu.



Am Beispiel von Nickelkomplexen soll verdeutlicht werden, wie das VB-Modell von Pauling das unterschiedliche Verhalten in dieser Hinsicht aus der Struktur zu deuten vermag (s. Abb. 39).

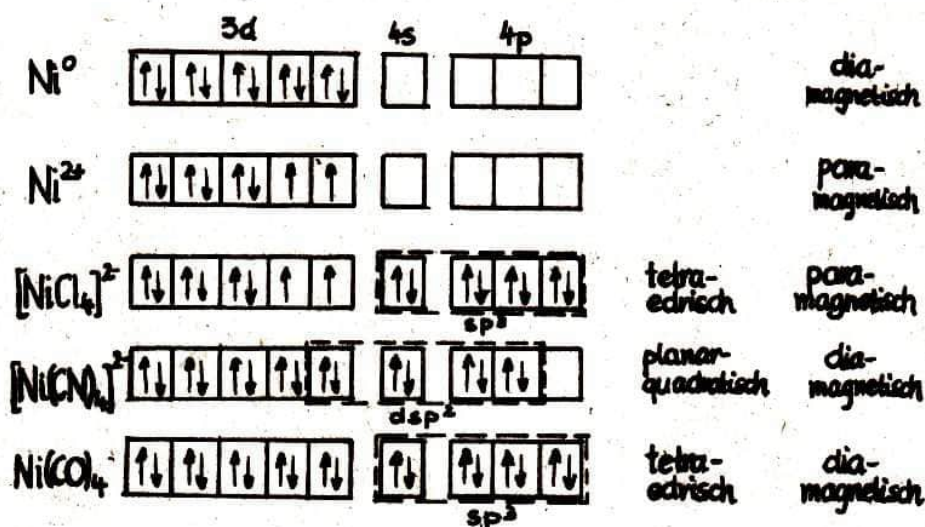


Abb. 39

Nickel besitzt im Ni<sup>2+</sup>-Ion dieselbe Elektronenkonfiguration wie in dessen Chlorkomplex und ist wie dieses wegen der Existenz von ungepaarten Elektronen paramagnetisch. Die Liganden sind aufgrund der sp<sup>3</sup>-Hybridisierung tetraedrisch angeordnet. Dagegen ist der Cyanokomplex - da keine ungepaarten Elektronen vorhanden sind - diamagnetisch. Die dsp<sup>2</sup>-Hybridisierung bestimmt die planar-quadratische Anordnung der Ligandenhülle. Komplexe des nullwertigen Nickels, wie das Tetracarbonyl, sind ebenfalls diamagnetisch. Da in diesem Fall alle d-Orbitale bereits blockiert sind, bilden die CO-Moleküle einen Tetraeder aus.

Ähnliche Zusammenhänge liegen bei den oktaedrischen Eisenkomplexen vor (s. Abb. 40).

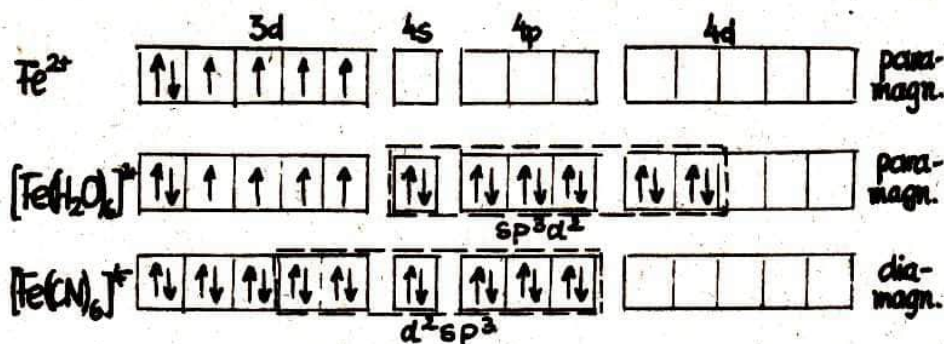


Abb. 40

## DIAMAGNETISMUS UND PARAMAGNETISMUS

Diamagnetische Stoffe schwächen durch die Wechselwirkung der magnetischen Einzelmomente der Elektronen, die sich - da sie nur gepaart vorliegen - gegenseitig kompensieren, ein angelegtes äußeres Magnetfeld. Die Ursache ist die durch das Magnetfeld induzierte Umlaufspannung, die zu einer zusätzlichen Elektronenbewegung führt und somit das verursachende Magnetfeld schwächt (Lenzsche Regel). Die Suszeptibilität derartiger Stoffe ist negativ und temperaturunabhängig. Da in den Atomen aller Stoffe mehr oder weniger viele gepaarte Elektronen vorhanden sind, ist der Diamagnetismus eine allgemeine Eigenschaft der Stoffe; d.h. jeder Stoff hat eine diamagnetische Komponente, der die paramagnetische überlagert sein kann.

Paramagnetische Stoffe dagegen verstärken ein angelegtes äußeres Magnetfeld, da sich bei ihnen die magnetischen Einzelmomente der Elektronen, die ungepaart vorliegen, nicht kompensieren. Dessen Größe ist von der Anzahl der ungepaarten Elektronen abhängig. Der Paramagnetismus ist im Unterschied zum Diamagnetismus temperaturabhängig. Die Suszeptibilität ist in diesem Fall positiv und proportional zu  $1/T$ .

Durch Ermittlung magnetischer Eigenschaften können u.a. Unklarheiten hinsichtlich der Elektronenkonfiguration geklärt werden.

Eine weitere Eigenschaft bestimmter Stoffe ist ihr Ferromagnetismus. Sie besitzen auch ohne äußeres Magnetfeld magnetische Eigenschaften (z.B. Fe, Co, Ni, bestimmte Legierungen). Es handelt sich dabei um eine Erscheinung des kollektiven Magnetismus. Werden Ferromagnetika über eine für jeden Stoff spezifische Temperatur (ferromagnetische Curie-Temperatur) hinaus erhitzt, werden sie paramagnetisch.

An diesem Beispiel wird deutlich, daß Hybridorbitale sowohl unter Verwendung innerer d-Orbitale (hier 3d) als auch unter Verwendung äußerer d-Orbitale (hier 4d) aufgebaut sein können. Man bezeichnet sie als Inner- bzw. Outer-Orbital-Komplexe. Die ersteren besitzen immer ein niedrigeres magnetisches Moment als das freie Ion; sie sind magnetisch anomal. Dagegen stellt man bei Komplexen der zweiten Gruppe stets dasselbe, meist hohe magnetische Moment fest wie in den einfach gebauten Salzen.

In den vorliegenden Fällen wurden zunächst reine  $\sigma$ -Wechselwirkungen zwischen Liganden und Zentralion angenommen. Der schon erwähnte  $\text{Ni}(\text{CO})_4$ -Komplex (siehe auch Abb. 41) zeigt, daß es bei

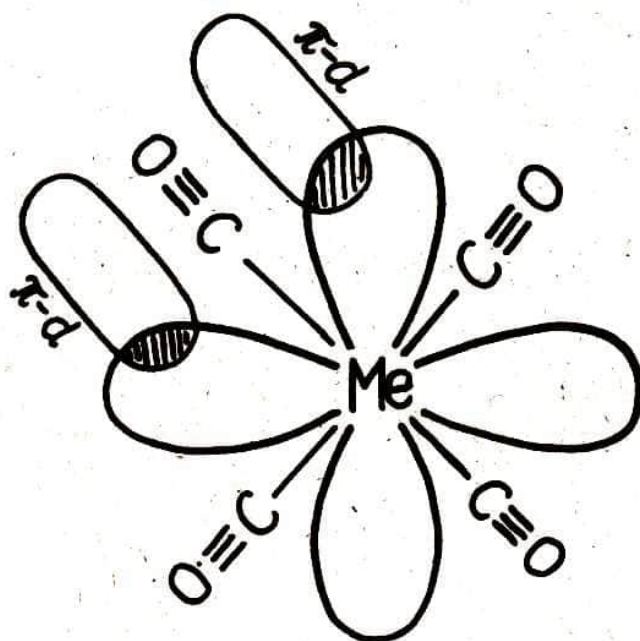
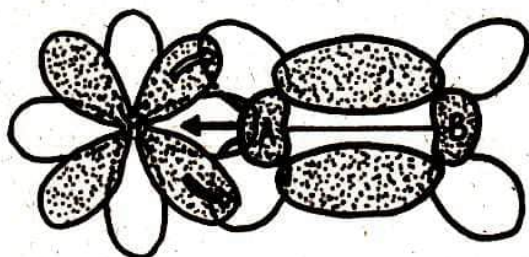


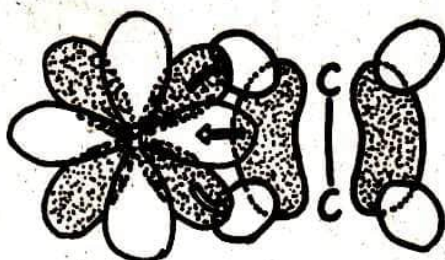
Abb. 41

der Durchdringung der Orbitale des Zentralteilchens und der Liganden zu einer hohen Elektronenkonzentration am Zentralteilchen kommen kann. Diese wird bei entsprechender Symmetrie der Orbitale durch Elektronenrückgabe an nicht besetzte, energetisch günstig liegende Orbitale der Liganden abgeschwächt bzw. ausgeglichen. Diesen rückläufigen Elektronenübergang zwischen besetzten d-Orbitalen des Metalls und freien Orbitalen des Liganden bezeichnet man als "back donation". Dabei können  $\pi$ -Bindungen geknüpft werden, die die koordinative  $\sigma$ -Bindung zusätzlich verstärken (siehe auch Teil 4; Abb. 36). Es entsteht eine Atombindung geringer Polarität, die einen partiellen Doppelbindungscharakter aufweist ( $\pi$ -Akzeptor-Komplex; Abb. 42).



$\pi$ -Akzeptorkomplex Abb. 42

$\pi$ -Bindungen können auch in Komplexen auftreten, in denen olefinische oder aromatische Kohlenwasserstoffe als Liganden vorliegen. Hier kommt es - wie in Abb. 43 am Beispiel eines Olefinkomplexes dargestellt - einmal zu einer Durchdringung zwischen einem besetzten  $\pi$ -Orbital des Liganden mit einem freien d-Orbital des Metalls längs der Bindungsachse und zum anderen durch back donation zwischen einem besetzten d-Orbital bei genügender Symmetrie des Metalls und einem leeren  $\pi$ -Orbital des Liganden ( $\pi$ -Komplex).



$\pi$ -Komplex Abb. 43

Das VB-Modell ist recht anschaulich und in der Lage, zahlreiche Eigenschaften von Komplexen qualitativ zu erklären. Aber es hat seine Grenzen. Abgesehen davon, daß es kaum quantitative Aussagen liefert, vermag es vor allem für die Erscheinungsformen, die auf Elektronenübergängen beruhen (Redoxverhalten, Absorptionsspektren) keine Erklärung zu geben. Das hat in den 40er und 50er Jahren zur Entwicklung eines neuen theoretischen Konzepts in Gestalt der sog. Ligandenfeldtheorie geführt.

Es handelt sich dabei um ein erweitertes elektrostatisches Modell, das den Einfluß des von den in einer bestimmten geometrischen Anordnung vorliegenden Liganden erzeugten elektrischen Feldes auf die Elektronen in den d-Orbitalen des Zentralions betrachtet.

Abb. 44

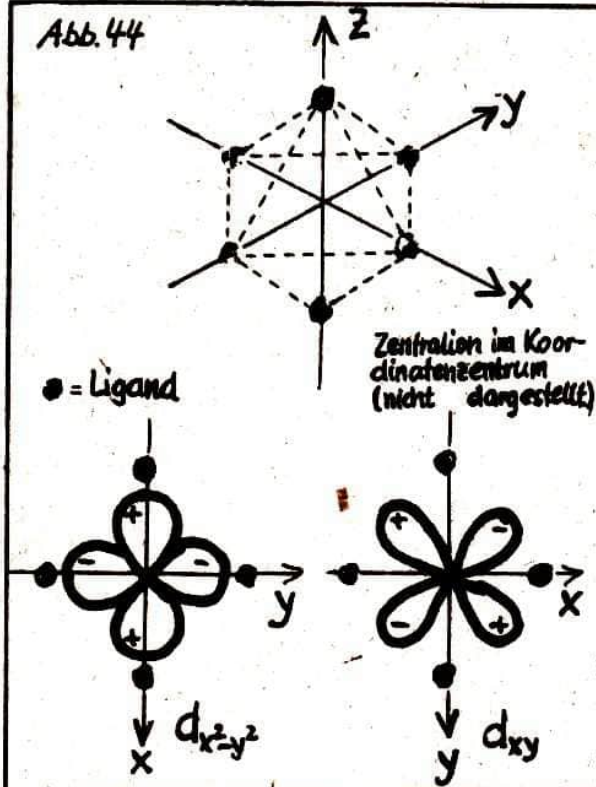


Abb. 47

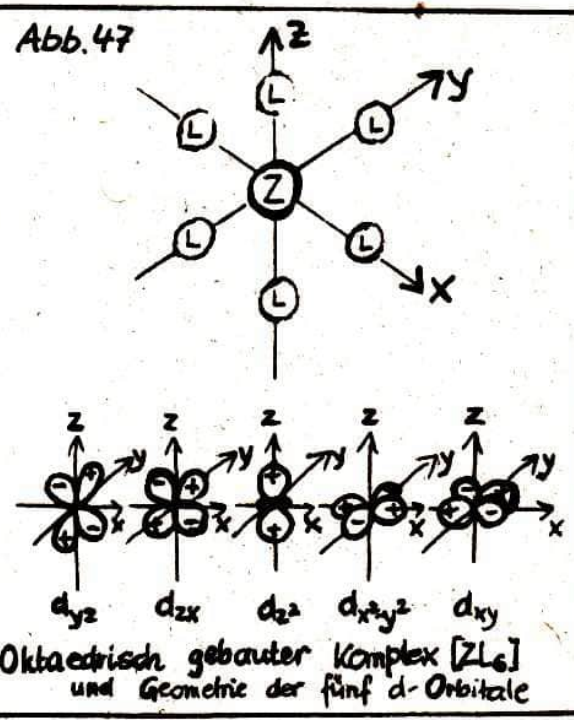
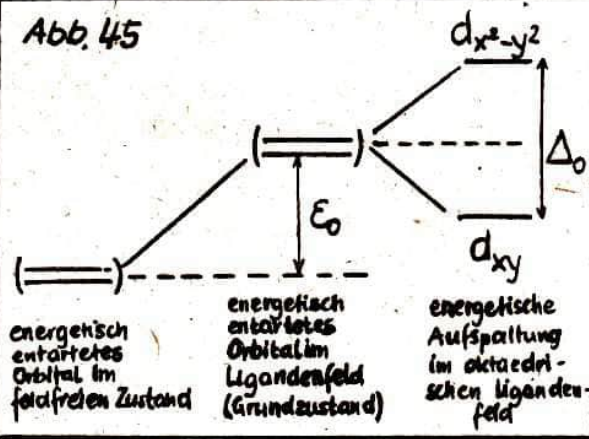


Abb. 45



Aufspaltungsschema der fünf d-Orbitale im oktaedrischen Ligandenfeld

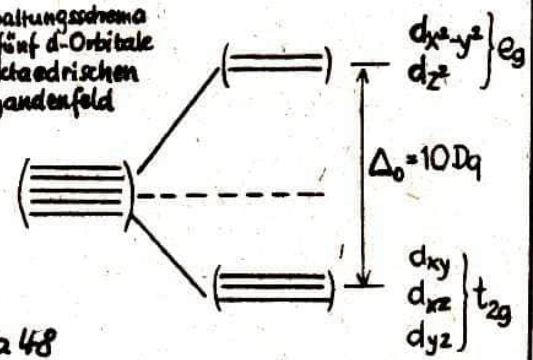


Abb. 48

Abb. 46

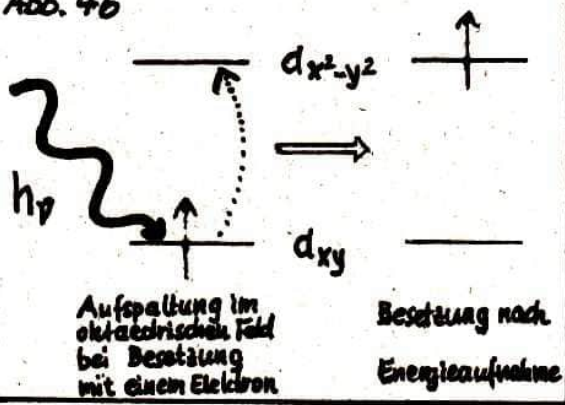
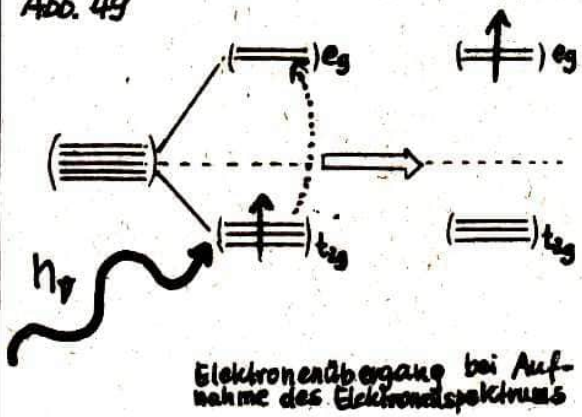


Abb. 49



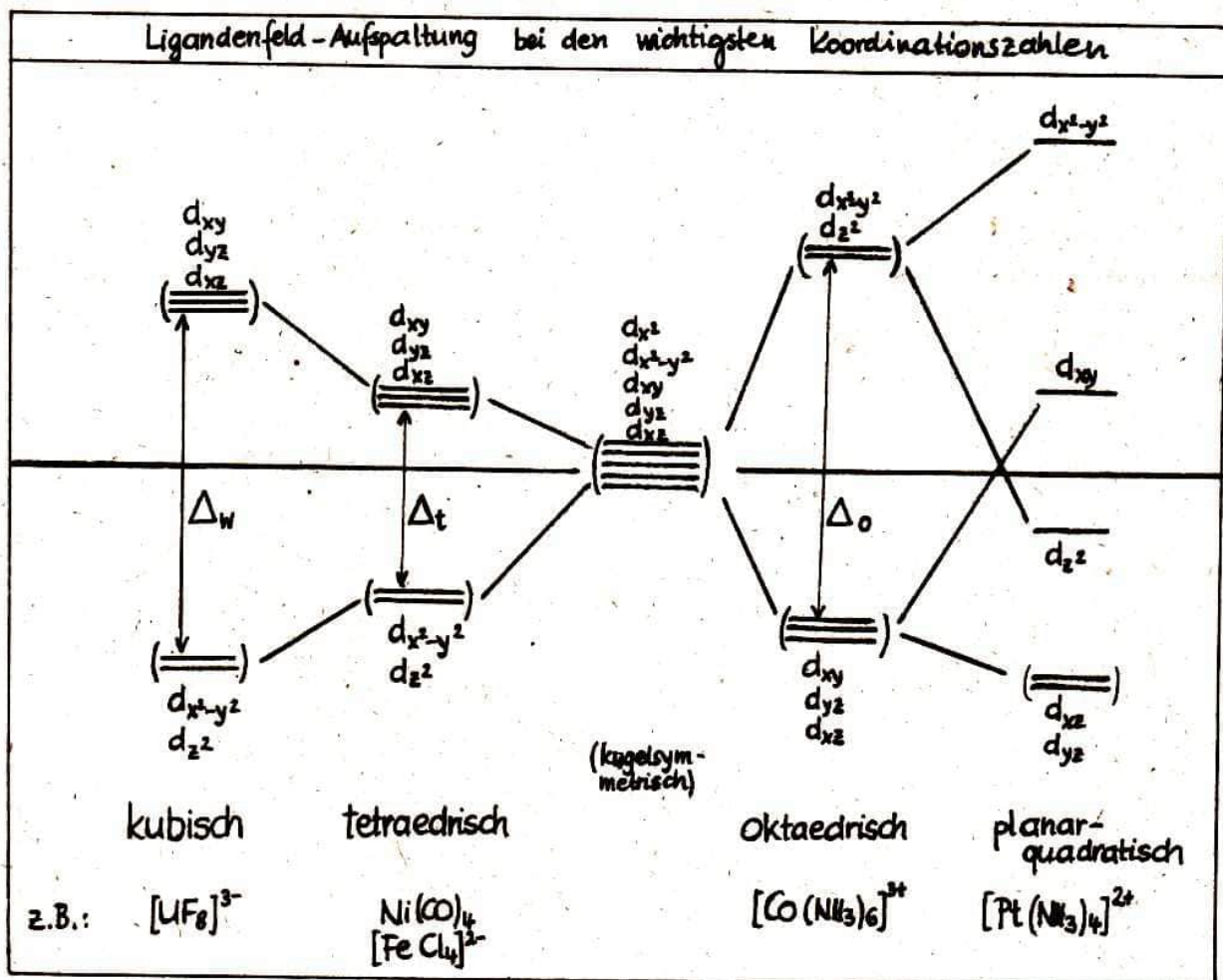
Wie wirkt nun ein solches elektrisches Feld auf die d-Elektronen? Nehmen wir vorerst nur die Orbitale  $d_{x^2-y^2}$  und  $d_{xy}$  (Abb.44; vergl. auch Teil 1, Abb.7) in einem oktaedrischen Feld. Die vier Orbitalbereiche des  $d_{x^2-y^2}$  Orbitals zeigen genau auf die Liganden, während diejenigen des  $d_{xy}$ -Orbitals zwischen den Liganden hindurch weisen. Das bedeutet, daß das  $d_{x^2-y^2}$ -Orbital in einem Bereich liegt, in dem das Ligandenfeld besonders stark ist; das  $d_{xy}$ -Orbital liegt dagegen in einem Bereich geringerer Ligandenfeldstärke. Während im feldfreien Zustand (d.h. vor der Komplexbildung) die beiden Orbitale energetisch gleich sind - man sagt: sie sind "entartet" - und daher die Frage nach der Besetzung durch ein Elektron ohne Bedeutung ist, wird im Ligandenfeld diese Entartung aufgehoben. Im Falle des  $d_{x^2-y^2}$ -Orbitals wird das Elektron vom starken Ligandenfeld der ebenfalls negativ geladenen Liganden abgestoßen; das Orbital wird energetisch angehoben. Das  $d_{xy}$ -Orbital wird nicht so stark angehoben, so daß die Wechselwirkung der beiden Orbitale mit dem Ligandenfeld zu einer energetischen Aufspaltung der beiden Orbitale führt (s.Abb.45). Ein Elektron wird demnach das  $d_{xy}$ -Orbital als das energetisch tieferliegende besetzen, wogegen das  $d_{x^2-y^2}$ -Orbital unbesetzt bleibt. Wenn dieses System aus zwei Orbitalen und einem Elektron mit Licht bestrahlt wird, so nimmt das Elektron Energie bei einer bestimmten Frequenz auf und "springt" vom  $d_{xy}$ - in den das vorher unbesetzte  $d_{x^2-y^2}$ -Orbital (s.Abb.46). Dieser Elektronenübergang führt zu einer Absorptionsbande im Spektrum. Der "Rest" des Tageslichts nach Entzug der vom Molekül absorbierten Energie ist nicht mehr weiß, sondern farbig. Diese Farbe stellt die Komplementärfarbe zur absorbierten dar. Dem menschlichen Auge erscheint die jeweilige chemische Verbindung daher farbig.

Nach Einbeziehung auch der anderen d-Orbitale des Zentralions (s.Abb.47) ergibt sich: Die Orbitale, die auf den Liganden gerichtet sind, werden energetisch angehoben ( $d_{x^2-y^2}$ ,  $d_{z^2}$ ; man bezeichnet sie als  $d$  - oder  $e_g$ -Orbitale); die Orbitale, die zwischen den Liganden hindurchzeigen, werden energetisch abgesenkt ( $d_{xy}$ ,  $d_{zx}$ ,  $d_{yz}$ ; sie werden  $d$  - oder  $t_{2g}$ -Orbitale genannt). Für den vollständigen Satz von fünf d-Orbitalen erhält man das in Abb.48 dargestellte Aufspaltungsschema. Die energetische Aufspaltung von  $d$  - und  $d$  -Orbitalen ist die Ligandenfeldaufspaltung  $\Delta_o$ , die häufig aus rechnerischen Gründen gleich  $10 Dq$  definiert wird.

Deren Größe hängt von der Art des Ligandenfeldes und der Wechselwirkung dieses Feldes mit den d-Elektronen ab.

Durch Einstrahlung von Licht geeigneter Energie verläßt das Elektron die d Orbitale und besetzt die  $d_{xy}$  Orbitale. Dieser Vorgang (s. Abb. 49) führt zur Absorption bei einer entsprechenden Frequenz (bzw. Wellenlänge) und damit zu einer bestimmten Farbe.

Die Ligandenfeldtheorie ist natürlich nicht nur auf Felder oktaedrisch angeordneter Liganden beschränkt, sondern auch für andere geometrische Strukturen anwendbar. Ohne deren Entstehung im einzelnen zu erläutern, zeigt die Abb. 50 die Ligandenfeldaufspaltung bei unterschiedlichen räumlichen Anordnungen.



Die Farbigkeit ist wohl die auffälligste Eigenschaft der Komplexe. Im Unterschied zu vielen nicht komplexen Salzen und Molekülsubstanzen zeigen die Komplexe alle Nuancen der Farbskala.

Die Farben z.B. der hydratisierten Metallionen der Nebengruppenelemente der 3d-Reihe (4. Periode) -  $Ti^{3+}$  violett,  $V^{3+}$  grün,  $Cr^{2+}$

blau,  $\text{Cr}^{3+}$  grün,  $\text{Mn}^{2+}$  rosa,  $\text{Fe}^{2+}$  hellgrün,  $\text{Fe}^{3+}$  gelb,  $\text{Co}^{2+}$  rosa,  $\text{Ni}^{2+}$  grün,  $\text{Cu}^{2+}$  hellblau - bzw. vieler anderer Komplexe haben also ihre Ursache im leichten Übergang der d-Elektronen zwischen den im Ligandenfeld aufgespalteten Energiezuständen der Zentralteilchen mit nicht vollständig besetzten d- bzw. (in der 6. und 7. Periode) f-Orbitalen.  $\text{Zn}^{2+}$ -Ionen sind dagegen farblos, da bei einer  $d^{10}$ -Konfiguration solche d-d-Übergänge nicht möglich sind (vollständig besetzte d-Orbitale). Die Ladungsübertragung aus einem niederen in ein höheres Energieniveau erfordert - wie wir gesehen haben - einen bestimmten Energiebetrag, der aus dem eingestrahlenen Licht stammt und sich im sichtbaren Absorptionsspektrum der Metallionen als eine nach Lage, Intensität und Breite charakteristische Bande darstellt.

Die (hier nur in den Anfangsgründen dargelegte) Ligandenfeldtheorie gestattet es also, neben anderen Erscheinungen vor allem die Farbigkeit von Komplexen der Nebengruppenelemente abzuleiten. Sie hat sich zur Interpretation von Elektronenspektren bewährt.

Zum Schluß sei darauf verwiesen, daß sie allerdings im Denksatz eine starke Vereinfachung enthält, die die tatsächlichen Verhältnisse sicher nicht richtig darstellt: Bei dieser erweiterten elektrostatischen Theorie werden die Liganden als Punktladungen angesehen, ohne jede Wechselwirkung untereinander und ohne Struktur. In Wirklichkeit haben sie natürlich eine bestimmte räumliche Ausdehnung, die häufig sogar die der Zentralionen über treffen kann, und sie bestehen selbst aus Atomkernen und Elektronenhüllen. Tanabe und Sugano haben daher das Ligandenfeld-Modell weiterentwickelt, indem sie eine geringfügige Orbitaldurchdringung von d- und Ligandenlektronen sowie die Abstoßung von d-Elektronen untereinander berücksichtigen.

Damit soll angedeutet werden, daß auch künftige Chemiker auf dem Gebiet der Komplexchemie im besonderen wie auch im Bereich der weiteren Erforschung der chemischen Bindung i. a. noch ein reiches Betätigungsfeld finden werden.

---

---

Wenn er sprach, so fielen in der ganzen Nachbarschaft die Mäusefallen von selbst zu.

G. Ch. Lichtenberg



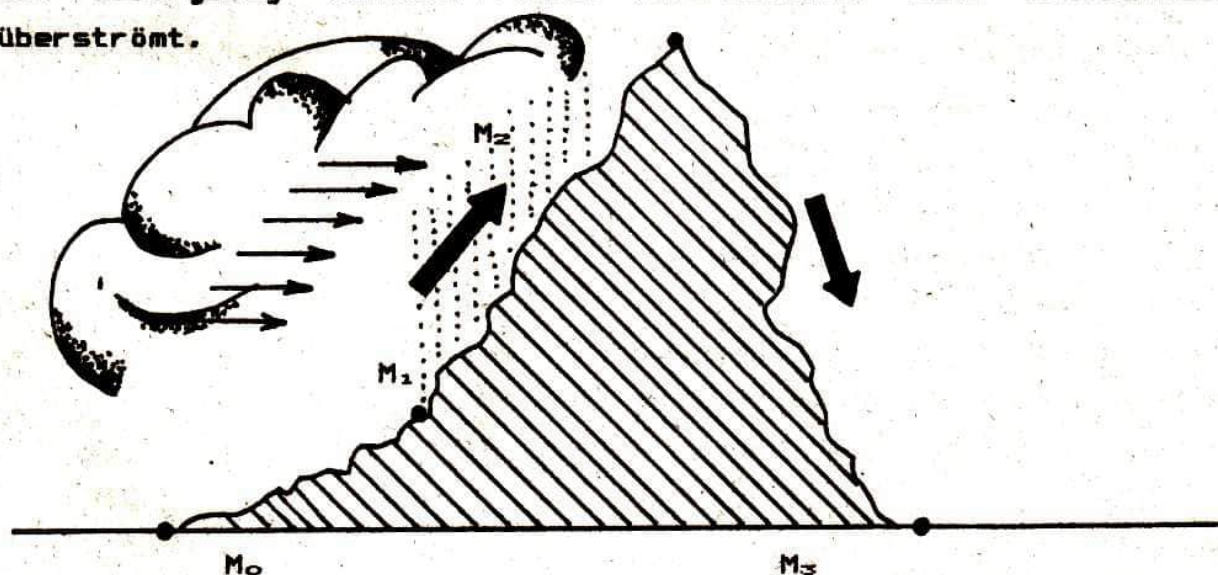
# UNSERE PHYSIKAUFGABE



Die nachfolgenden Aufgabe ist eine derjenigen, die die Teilnehmer der *INTERNATIONALEN PHYSIKOLYMPIADE 1987* zu lösen hatten. Ein ausführlichen Bericht über dieses Ereignis, das vom 5. bis 11. Juli in Jena stattfand, erscheint im Heft 6/87.

## 1. AUFGABE

Ein Gebirgszug (s. Abb.) wird von feuchter Luft adiabatisch überströmt.



An den meteorologischen Stationen  $M_0$  und  $M_3$  wird ein Luftdruck von 100 kPa gemessen, an der Station  $M_2$  70 kPa. Die Lufttemperatur bei  $M_0$  beträgt  $20^\circ\text{C}$ .

Bei dem Ansteigen der Luft setzt bei 84,5 kPa Wolkenbildung ein. Man betrachte jene Menge feuchter Luft, die bergauf steigt und deren Masse 2000 kg über jedem Quadratmeter beträgt. Diese feuchte Luft erreicht den Kamm des Gebirges nach 1500 Sekunden

(Station  $M_2$ ). Dabei gibt sie 2,45 g Wasser je ein Kilogramm Luft als Niederschlag (Regen) ab.

1. Welche Temperatur  $T_1$  besteht im Niveau der Wolkenuntergrenze?
2. In welcher Höhe  $h_1$  über der Station  $M_0$  liegt die Wolkenuntergrenze unter der Annahme einer linearen Abnahme der Dichte der Luft?
3. Welche Temperatur  $T_2$  wird am Kamm des Gebirgszuges gemessen?
4. Wie groß ist die Höhe der im Laufe von 3 Stunden aus dem Luftstrom ausfallenden Wassersäule (Niederschlagshöhe)? Vorausgesetzt wird dabei, daß der Regen zwischen  $M_1$  und  $M_2$  gleichmäßig fällt.
5. Welche Temperatur  $T_3$  wird auf der Rückseite des Gebirgszuges an der Station  $M_3$  gemessen? Diskutieren Sie den Zustand der Luft an der Station  $M_3$  im Vergleich zu dem an der Station  $M_0$ !

Hinweise und Daten:

Die Luft ist als ideales Gas zu behandeln.

Der Einfluß des Wasserdampfes auf die spezifische Wärmekapazität und auf die Dichte der Luft sind zu vernachlässigen, ebenso die Temperaturabhängigkeit der spezifischen Verdampfungswärme. Die Temperaturen sind auf 0,1 K, die Höhe der Wolkenuntergrenze auf 1 m, die Niederschlagshöhe auf 0,1 mm genau anzugeben.

Spezifische Wärmekapazität der Luft in dem in Frage kommenden Temperaturbereich:

$$c_p = 1005 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$$

Dichte der Luft an der Station  $M_0$  bei  $p_0$  und  $T_0$ :

$$\rho_0 = 1,189 \text{ kgm}^{-3}$$

Spezifische Verdampfungswärme des Wassers im Bereich der Wolke:

$$q_v = 2500 \text{ kJkg}^{-1}$$

$$c_p/c_v = \kappa ; \kappa = 1,4 ; g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$$

Dr. Th. Henning  
Dr. B. Stecklum  
FSU Jena  
Sektion Physik  
Universitäts-Sternwarte

## Molekülwolken und Stern- entstehung (Teil 3): Die Geburt eines Sterns

ASTRO

### Die Entstehung eines Sterns

In den beiden vorangegangenen Beiträgen beschäftigten wir uns mit der Charakterisierung der Molekülwolken als Geburtstätten neuer Sterne. Die Wechselbeziehung der neu entstandenen Sterne mit der sie umgebenden Materie der Molekülwolke wurde angedeutet. Für die umfassende Beschreibung dieser Wechselwirkung ist es jedoch erforderlich, zu wissen, welche physikalische Prozesse bei der Entstehung eines Sterns von Bedeutung sind. Die meisten der folgenden Aussagen basieren auf numerischen Modellen, die selbst auf schnellen Computern einen großen Aufwand an Rechenzeit erfordern. Gegenwärtig gelingt es den Astronomen jedoch, in zunehmenden Maße mit Hilfe von Beobachtungen vom Infrarot bis zum Radiobereich die tatsächlich bei der Sternentstehung ablaufenden Vorgänge zu erfassen.

Die allgemein akzeptierte Ansicht über die Entstehung von Sternen geht davon aus, daß sich Sterne durch einen Gravitationskollaps aus interstellaren Wolken (oder Teilen davon) bilden. Die Bildung eines Sterns von etwa einer Sonnenmasse ( $M_{\odot}$ ) kann in drei Etappen eingeteilt werden:

1. Bildung der protostellaren Wolke (Verdichtung des Gases von  $10^{-23} \text{ g cm}^{-3}$  auf  $10^{-17} \text{ g cm}^{-3}$  während etwa  $10^7$  a). Dieser Abschnitt beinhaltet die Bildung der Molekülwolke und deren Aufspaltung (Fragmentation) in einzelne gravitativ gebundene Bereiche.

2. Die protostellare Entwicklung führt im Laufe von  $10^4$  a zu einer Verdichtung von  $10^{-17} \text{ g cm}^{-3}$  auf  $10^{-2} \text{ g cm}^{-3}$ . Die Fragmentation setzt sich fort und die Temperatur im Inneren des Fragments steigt von 10 K auf rund 100 K.

3. Während der nächsten  $4 \cdot 10^7$  a vollzieht der Protostern eine quasistatische Kontraktion. Dabei durchläuft er eine Reihe von

Gleichgewichtszuständen, bis bei Temperaturen von etwa  $10^7$  K die Kernfusion im Inneren einsetzt.

Der zeitliche Verlauf von Anzahldichte und Temperatur im Zentrum während des protostellaren Kollaps ist in Abb.1 dargestellt. Diesem Diagramm liegen die Resultate eindimensionaler Rechnungen zugrunde.

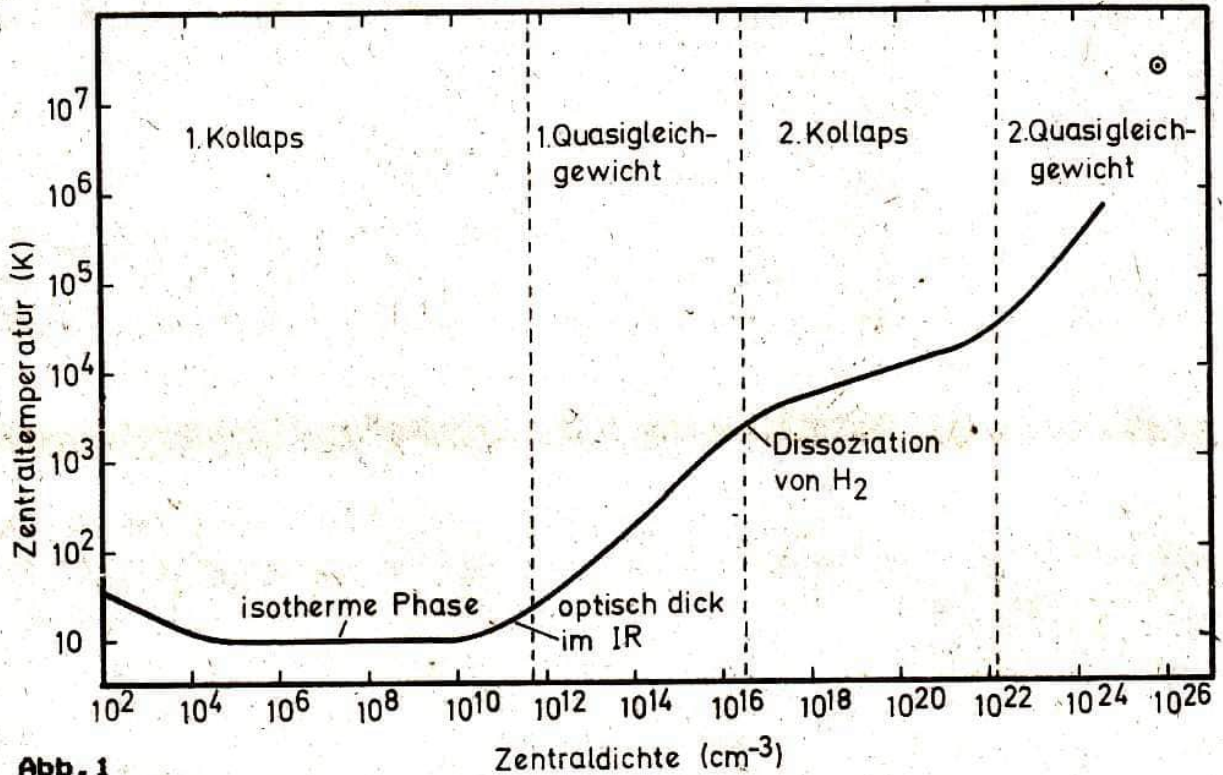


Abb. 1

Zu Beginn verläuft die Entwicklung isotherm, da die beim Kollaps freigesetzte und in Wärme umgewandelte Gravitationsenergie ungehindert abgestrahlt werden kann. Infolge des auftretenden Druckgradienten kommt es zur Herausbildung eines Zentralgebiets mit erhöhter Dichte, wobei die dafür erforderliche Zeitspanne etwas größer ist als die Freifall-Zeitskala  $\tau_{\text{ff}}$  (vergl. Teil 2, Heft 3/87). Im weiteren Verlauf gelingt es der Materie im Zentrum nicht mehr, die freiwerdende Energie effektiv abzustrahlen. Dafür ist vor allem die Absorptionswirkung der interstellaren Staubteilchen verantwortlich. Es kommt daher im Zentralgebiet zu einem starken Temperaturanstieg. Der damit verbundene Anstieg des Gasdrucks führt zum Erreichen des hydrostatischen Gleichgewichts im Inneren: Der erste hydrostatische Kern ist entstanden. Auf ihn fällt von außen Materie herab. Die Temperatur im Inneren steigt weiter, und bei einem Wert von rund 2000 K beginnt der molekula-

re Wasserstoff zu dissoziieren. Der damit verbundene Energieverbrauch beseitigt das hydrostatische Gleichgewicht und läßt den Kollaps fortschreiten. Dieser dauert an bis die Zentraltemperatur etwa  $10^6$  K erreicht hat. Erst dann ist der Gasdruck in der Lage, den Kollaps im Zentrum endgültig zu stoppen. Es bildet sich ein zweiter hydrostatischer Kern heraus, der allerdings wesentlich kleiner ist als der erste. Auch auf ihn stürzt weiter Materie ein, wobei sich in unmittelbarer Nähe des Kerns eine sogenannte Akkretionsstoßfront herausbildet, in der die einfallende Materie sehr stark abgebremst wird und eine Umwandlung der kinetischen Energie in Strahlungsenergie erfolgt. Die Struktur eines solchen Protosterns ist in Abb.2 schematisch dargestellt.

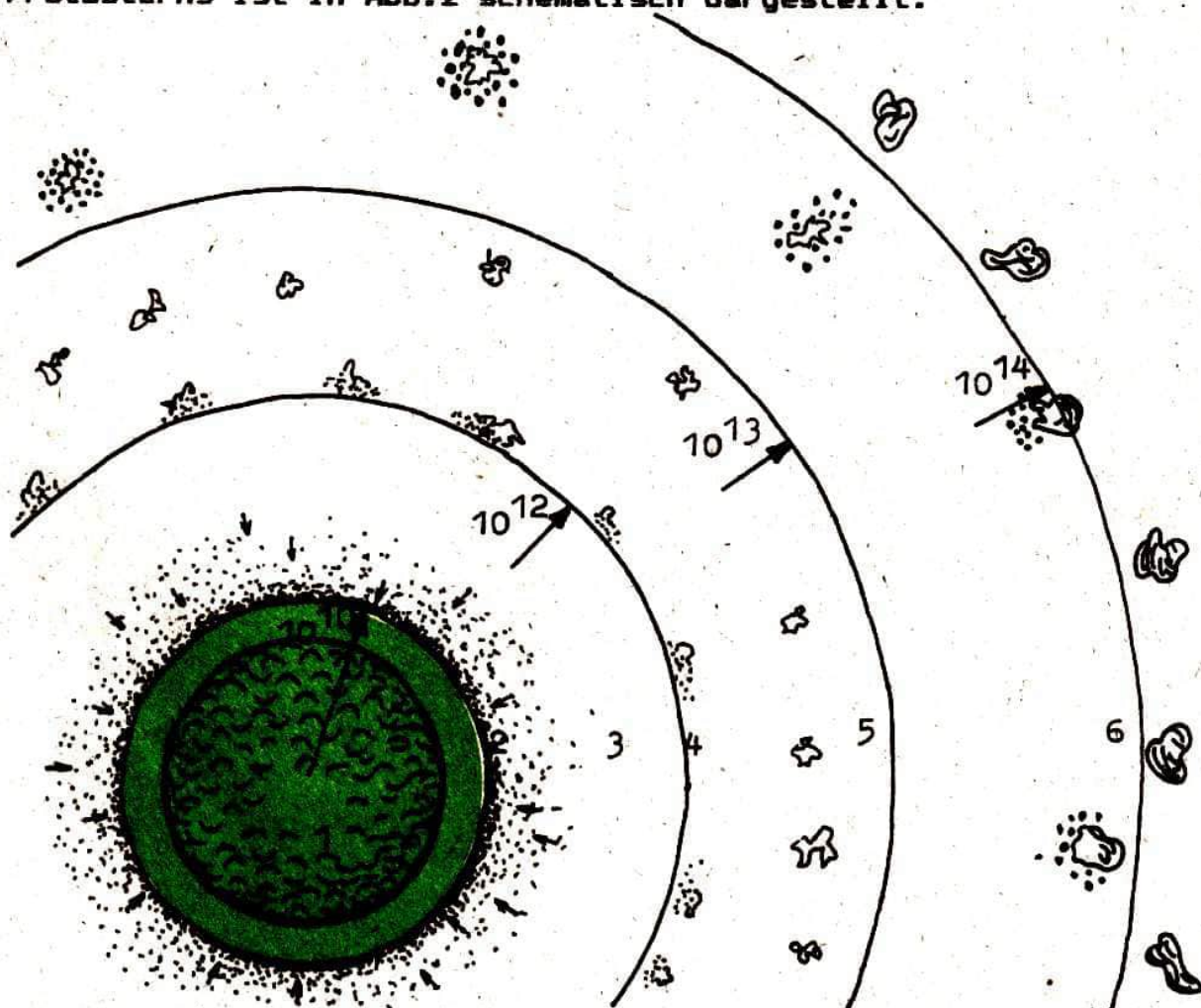


Abb.2: Schematischer Schnitt durch eine protostellare Wolke wahrend der Akkretionsphase. Es bedeuten: (1) zentraler Kern, (2) Akkretionsstofront, (3) staubteilchenfreie Zone, (4) Entfernung, in der die Staubteilchen sublimieren, (5) Zone, in der die Staubteilchen keine Eismantel besitzen, (6) Abstand, in dem die Eismantel verdampfen. (Abmessungen in m)

### INFORMATIONSKASTEN

Die vollständige theoretische Beschreibung des Kollaps erfordert die Lösung einer Vielzahl von Gleichungen. Dabei handelt es sich um hydrodynamische Gleichungen, die Bewegungsgleichung, die Poisson-Gleichung, Gleichungen der Transportprozesse (Konvektion, Strahlung, Reibung), Gleichungen zur Beschreibung mikrophysikalischer Vorgänge (Anregung, Ionisation, Dissoziation, thermonukleare Reaktionen) und chemischer Reaktionen (Ratengleichungen) sowie Gleichungen zur Berücksichtigung von Magnetfeldern. Die Aufzählung läßt vermuten, daß sich ein derart kompliziertes Gleichungssystem in seiner Gesamtheit nur schwerlich lösen läßt, weshalb man zu Vereinfachungen gezwungen ist (z.B. keine explizite Behandlung der Mikrophysik). Bei den grundlegenden Gleichungen handelt es sich um:

- Kontinuitätsgleichung (Erhaltung der Masse)
- Bewegungsgleichung (führt zu Energie- und Impulserhaltung und berücksichtigt eventuelle Rotation)
- Poisson-Gleichung (Gravitationswirkung)
- Zustandsgleichung der Materie (z.B. ideales Gas)
- Transportgleichung (Strahlungstransport, Konvektion)
- Induktionsgleichung (falls Magnetfeld vorhanden)

Ausgangspunkt der Rechnungen sind Anfangs- und Randbedingungen, die sich im einfachsten Fall auf eine Wolke homogener Dichte beziehen, die vom Zustand der Ruhe bzw. gleichförmiger Rotation isotherm kollabiert. Den Zustand einer magnetischen, rotierenden Wolke (Rotationsachse in z-Richtung parallel zum Magnetfeld) zum Zeitpunkt  $t = 1,5\tau_{rr}$  nach Beginn des Kollaps zeigt Abb.3.

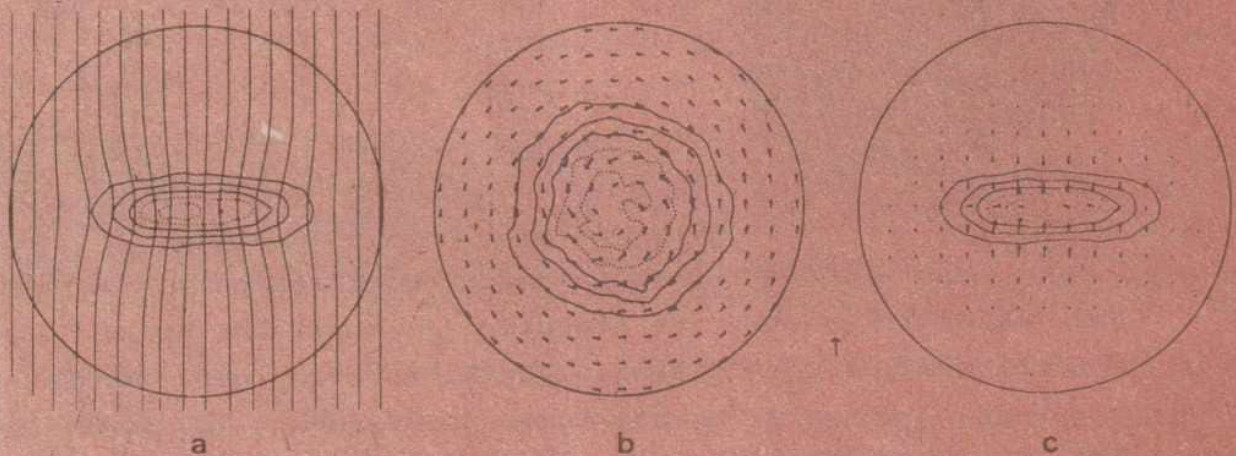


Abb.3: a) Magnetfeldlinien in der xz-Ebene, Geschwindigkeitsfeld in der xy-Ebene (b) und der xz-Ebene (c)

Obwohl mittlerweile dreidimensionale Modelle unter Berücksichtigung des Magnetfeldes berechnet wurden, besteht noch keine vollkommene Klarheit über Ablauf und Resultat des Kollaps, da die erhaltenen Resultate von den jeweiligen numerischen Lösungsverfahren beeinflußt werden. Bei der Lösung eines der wichtigsten Probleme des Kollaps, dem Transport des Drehimpulses, gab es jedoch große Fortschritte. Das Problem läßt sich anhand der Verhältnisse im Sonnensystem illustrieren, bei dem der Gesamtdrehimpuls der Planeten (Bahn- plus Eigendrehimpuls) den der Sonne wesentlich übersteigt. Bei der Bildung des Sonnensystems muß also eine Umverteilung des Drehimpulses vom Zentralobjekt nach außen erfolgt sein, denn sonst hätte die Sonne eine wesentlich kürzere Rotationsperiode oder sie wäre aufgrund der bei der raschen Rotation auftretenden großen Fliehkräfte erst gar nicht entstanden. Wie groß die im Fall des Kollaps von Molekülwolken zu transportierenden Drehimpulsbeträge sind, zeigt der Vergleich des spezifischen Drehimpulses (Drehimpuls bezogen auf die Gesamtmasse) eines schnell rotierenden, massereichen Sterns von  $10^{-14} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$  mit dem der Molekülwolken ( $10^{18} \dots 10^{20} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ). Die Modellrechnungen lassen vermuten, daß die Abfuhr des Drehimpulses dadurch erfolgt, daß sich zunächst ringförmige Gebilde formen, aus denen durch weitere Fragmentation zwei oder mehrere Protosterne gebildet werden. In diesem Fall wird der Drehimpuls in Bahndrehimpuls und Eigendrehimpuls der Fragmente umgewandelt. Tatsächlich scheint dieser Mechanismus oft aufzutreten, denn wie die Beobachtungen zeigen, sind etwa 2/3 aller Sterne Mitglieder von Doppel- oder Mehrfachsternsystemen. Daneben spielt möglicherweise auch der Drehimpulstransport durch Magnetfelder und turbulente Viskosität (vergl. Teil 2, Heft 3/87) eine Rolle.

### Aktivitätserscheinungen

Von B. Bok, einem der Pioniere auf dem Gebiet des Studiums des Milchstraßensystems und der Suche nach entstehenden Sternen, stammt folgender Ausspruch, den er kurz vor seinem Tod äußerte: "Ich habe mir den Kollaps einer kleinen interstellaren Wolke zu einem Protostern als ein friedliches Phänomen vorgestellt. Jetzt ist offenkundig, daß auch gewalttätigere Kräfte am Werke sind." Worauf diese Äußerung beruht und um welche Kräfte es sich han-

delt, soll am Beispiel des Objektes L 1551/IRS 5 dargestellt werden. Es handelt sich um eine Quelle intensiver Infrarotstrahlung (IR-Quelle), die sich in den südlichen Ausläufern des Sternentstehungskomplexes im Sternbild Stier befindet (genauer gesagt in der Dunkelwolke Lynds 1551). Anfang der siebziger Jahre begann man, die Umgebung dieser Infrarotquelle im Lichte der 2,6 mm-Linie des CO-Moleküls zu durchmustern. Dabei wurde festgestellt, daß sich die IR-Quelle in einem lokalen Dichtemaximum befindet. Mit wachsendem Auflösungsvermögen gelang es, die Struktur der die Radiostrahlung emittierenden Gebiete genauer festzustellen und es zeigte sich, daß die Emission aus zwei deutlich abgegrenzten Gebieten kommt, die jeweils entgegengesetzt zum Zentralobjekt liegen. Die Wellenlänge der Strahlung aus dem südlichen Gebiet ist gegenüber der aus dem Zentralgebiet kommenden Strahlung rotverschoben, was darauf schließen läßt, daß sich das die Strahlung emittierende Gas relativ zu L 1551/IRS 5 auf uns zu bewegt (mit  $1,2 \text{ km s}^{-1}$ ). Demgegenüber ist die Wellenlänge der Strahlung des sich nördlich befindenden Gases blauverschoben; es bewegt sich also relativ zu L 1551/IRS 5 von uns weg (mit  $11,5 \text{ km s}^{-1}$ ). Man beobachtet also eine nach zwei Seiten gerichtete (bipolare) Ausströmung, die einen vom Zentralobjekt wegführenden Fluß von Molekülen bewirkt (wegen des Nachweises auch als CO-Molekülfluß bezeichnet). Interessanterweise befinden sich im Gebiet des Molekülflusses zwei Herbig-Haro Objekte (HH). Solche Objekte wurden bis vor einigen Jahren als mögliche Kandidaten für Protosterne angesehen. Es hat sich jedoch herausgestellt, daß es sich dabei um interstellares Gas handelt, daß in Stoßfronten zur Strahlung angeregt wird. Die Analyse der Eigenbewegung von HH 28 und HH 29 erbrachte eine Tangentialgeschwindigkeit von etwa  $150 \text{ km s}^{-1}$  und die Tatsache, daß sie sich nahezu geradlinig vom Zentralobjekt wegbewegen. Geht man von dem Ort aus, an dem sich die HHs heute befinden und berücksichtigt die Entfernung von L 1551/IRS 5 (ca. 160 pc), so kann man schlußfolgern, daß sie sich vor etwa 3000 Jahren äußerst nahe am Zentralobjekt befanden. Ähnliche Bewegungsverhältnisse wie für die HHs fand man auch für die in der Nähe von leuchtkräftigen Infrarot-Quellen gelegenen H<sub>2</sub>O-Maser, deren Eigenbewegung mit Hilfe der VLBI (Very Long Baseline Interferometry, Interferometrie mit großer Basislänge) gemessen werden konnte.



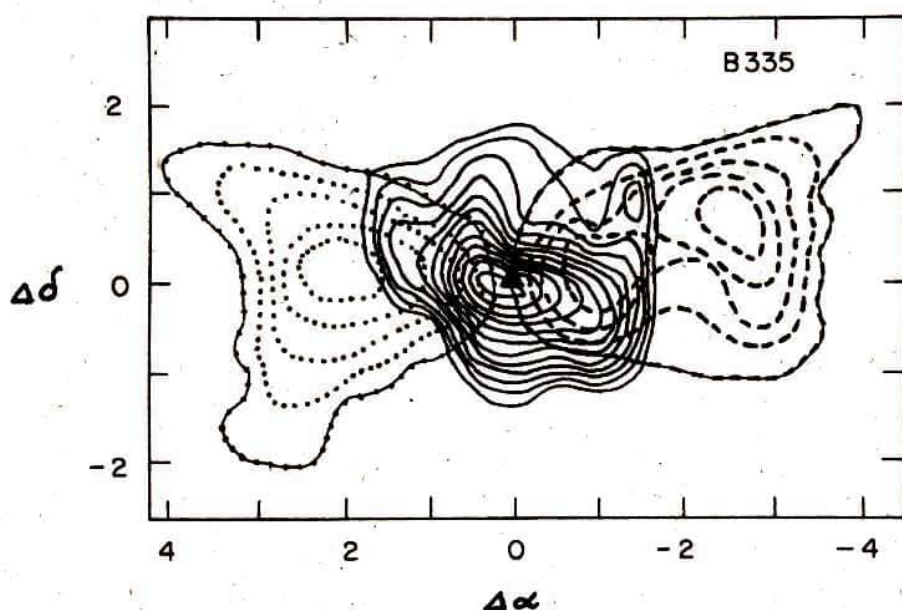
Eine detailliertere Untersuchung war mit Hilfe des in der Wüste von Neu-Mexiko (USA) befindlichen VLA-Radiointerferometers (VLA Abkürzung für Very Large Array) möglich. Das Gerät verfügt über 27 Radioteleskope von je 25 m Durchmesser, die auf Y-förmigen Transportschienen in verschiedenen Konfigurationen angeordnet werden können. Die damit erreichbare Winkelauflösung entspricht dem eines Radioteleskops von 27 km Durchmesser. Mit diesem Gerät konnte man zunächst sogenannte Radiojets nachweisen, die ebenso ausgerichtet sind wie die Molekülströmung. Mit der bei einer Wellenlänge von 2 cm maximalen Winkelauflösung von etwa  $0;1$  gelang es, zwei punktförmige Quellen mit einem Abstand von  $0;3$  zu beobachten, die entweder durch ein Doppelsternsystem oder ein ringförmiges Gebilde (Torus, der von der Seite gesehen wird) verursacht werden. Der Abstand der beiden Komponenten entspricht im linearen Maß 45 AE ( $1 \text{ AE} = 149 \cdot 10^6 \text{ km}$ , Entfernung Sonne-Erde), d.h. man beobachtet Erscheinungen mit Dimensionen, die denen unseres Planetensystems entsprechen!

Neben der Untersuchung im Radiobereich gelang es auch mit Hilfe optischer Teleskope, an denen hochempfindliche Festkörperdetektoren (CCD - Charge Coupled Device) eingesetzt wurden, interessante Einzelheiten festzustellen. Dazu gehört ein optischer Jet von etwa  $17''$  Länge und weniger als  $2''$  Breite, der in die Richtung des blauverschobenen Molekülflusses zeigt. Er besitzt einen Öffnungswinkel von etwa  $10^\circ$  und eine knotige Struktur. Die Spektroskopie des Jets erbrachte den Nachweis, daß die Emission in den Knoten durch stoßangeregtes Gas verursacht wird und der der HHs gleicht. Weiterhin konnte man schlußfolgern, daß die Extinktion (Lichtabschwächung durch interstellare Staubteilchen) in Richtung auf das Zentralobjekt sprunghaft ansteigt. Dies deutet darauf hin, daß das Zentralobjekt IRS 5 von einer Gas- und Staubscheibe umschlossen wird, die wir möglicherweise nicht genau von der Seite sehen und so den anderen optischen Jet vor uns verbirgt. Eine derartige Interpretation wird auch durch Beobachtungen der Radiolinien des CS-Moleküls unterstützt. Mit Hilfe von Polarisationsmessungen war es möglich, zumindest einen indirekten Blick auf die Zentralquelle zu werfen. Trägt man nämlich die in vielen Punkten gemessene Polarisationsrichtung in die Karte von L 1551/IRS 5 ein, so stehen alle Polarisationsrichtungen senkrecht auf der Verbindungslinie zum Zentralobjekt. Offensichtlich tritt

das vom Zentralobjekt ausgehende Licht in den polaren Öffnungen der Scheibe aus und wird dann durch Streuung an Staubteilchen in Richtung Erde umgelenkt.

Einen Überblick über die bei L 1551/IR8 5 mit wachsendem Auflösungsvermögen gefundenen Phänomene zeigt Abb. 6 (Seite 47).

Ähnliche Beobachtungen konnten auch bei einer Reihe anderer Objekte gemacht werden. In Abbildung 4 sind die für das Objekt B 335 erhaltenen Resultate dargestellt. Dabei ist der anhand der Verteilung der CO-Emission nachgewiesene bipolare Ausfluß deutlich festzustellen. Der linke Flügel des Ausflusses bewegt sich relativ auf uns zu, während der rechte sich relativ von uns entfernt. Das im Zentrum der Abbildung gelegene Dreieck repräsentiert ein Objekt, das im fernen Infrarotbereich (FIR) leuchtkräftig ist und etwa die achtfache Leuchtkraft der Sonne aufweist. Die um dieses Objekt eingetragenen Konturen charakterisieren die Emission des CS-Moleküls. Das Objekt B 335 wird als Prototyp für die Entstehung von Sternen geringer Masse angesehen ( $M \approx 1 M_{\odot}$ ). Aus Beobachtungen der Emission des  $NH_3$ -Moleküls schließt man auf einen dichten Kern, der innerhalb von  $45''$  Radius etwa  $3 M_{\odot}$  an Gas einschließt.



Bislang wurden 41 Molekülflüsse gefunden, wobei die meisten mit intensiven Infrarotquellen verbunden sind. Ihre Ausdehnungen erstrecken sich von 0,1 bis 4 pc, was vergleichsweise klein gegenüber der Größe der Molekülwolken ist und eindeutig den lokalen Charakter dieses Phänomens unterstreicht. Während bei der

Mehrzahl der Objekte (30) die bipolare Struktur deutlich ausgeprägt ist, weisen sieben Molekülflüsse eine monopolare Morphologie auf, d.h., das Gas strömt nur nach einer Seite ab. In vier Fällen wurde eine isotrope Struktur nachgewiesen, bei der die rotverschobene als auch die blauverschobene Linienemission aus demselben Gebiet stammt. Es ist nicht ausgeschlossen, daß dies durch die Neigung der Ausflußrichtung zum Beobachter verursacht wird (Projektionseffekt).

Überraschend niedrig ist die Temperatur des abströmenden Gases, die mit 10 bis 90 K z.T. unter der des umgebenden Gases liegt. Die breiten Emissionslinien, die von Molekülflüssen ausgehen, werden durch Geschwindigkeiten von  $10 \dots 60 \text{ km s}^{-1}$  verursacht. Diese Geschwindigkeiten übersteigen die Schallgeschwindigkeit (ca.  $0,1 \text{ km s}^{-1}$ ) bei weitem. Die Molekülflüsse stellen also Überschallströmungen dar, die Massen von 1 bis  $130 M_{\odot}$  und damit beträchtliche kinetische Energien in das umgebende Gas befördern.

Weitere Untersuchungen, insbesondere von Wasserstoff-Rekombinationslinien, erbrachten Hinweise auf ein kontinuierliches Abströmen ionisierter Teilchen vom zentralen leuchtkräftigen Objekt (ionisierter Sternwind). Offensichtlich bläst dieser Sternwind, der eine hohe Elektronendichte besitzt, zwei gegenüberliegende Hohlräume in das Gas der Molekülwolke und führt an der Grenzfläche zu einer Beschleunigung der Moleküle, die sich als Molekülfluß bemerkbar macht. Trifft dieser Sternwind auf ruhende Gasklumpen, so erfolgt eine Anregung des Gases durch Stöße und das typische HH-Spektrum wird emittiert. Ein besonders gutes Beispiel dafür ist das HH-Objekt 34 (s. Abb. 4), das die Form einer paraboloidförmigen Front besitzt, die von einem optischen Jet auszugehen scheint. Man nimmt an, daß die ersten  $10^4$  a der Existenz eines Sterns mit dem Auftreten von Ausströmungen verbunden sind. Die dabei auftretenden Massenverlusten betragen  $10^{-4}$  bis  $10^{-3} M_{\odot}$  pro Jahr.

#### Scheiben um junge Sterne

Die oben aufgeführten Befunde deuten darauf hin, daß sich um junge Sterne aus Gas und Staub bestehende Scheibenstrukturen unterschiedlicher Dimensionen befinden müssen. Diese Scheiben werden als wesentlich für die Entstehung der bipolaren Molekül-

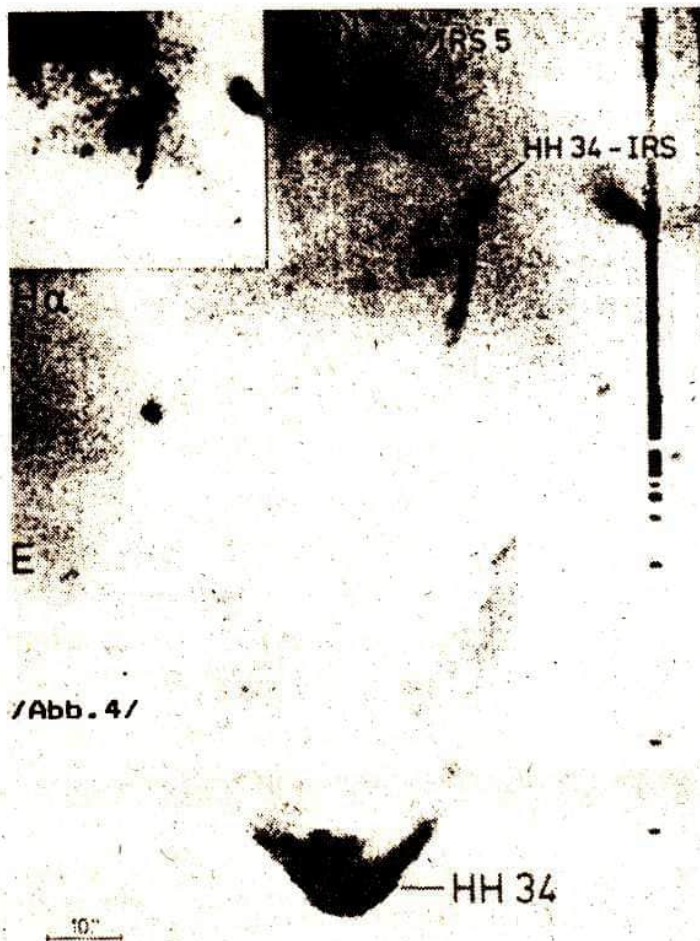


Abb. 4: Herbig-Haro-Objekt 34, aufgenommen im Lichte der  $H_{\alpha}$ -Linie (657 nm). Norden ist oben und Osten links. Der Jet geht vom Objekt HH 34-IRS 5 aus.

/Abb. 4/

flüsse und der Jets angesehen. Die diesbezüglichen Modelle gehen entweder davon aus, daß in den Öffnungen der Scheiben eine Kanalisierung des Sternwindes erfolgt oder die bipolaren Ausströmungen über eine hydromagnetische Wechselwirkung mit der Scheibe hervorgerufen werden. Dabei sind jedoch noch viele Fragen offen, insbesondere die der unterschiedlichen Kollimation von Jets und Molekülflüssen. Offensichtlich spielt das Magnetfeld bei der Herausbildung der Scheiben und der Aufrechterhaltung der bipolaren Ausströmungen eine große Rolle. In vielen Fällen, z.B. auch bei L 1551, konnte man durch Polarisationsmessungen nachweisen, daß die Richtung der Molekülflüsse mit der Richtung des Magnetfeldes nahezu übereinstimmt und sich senkrecht dazu die Staubscheibe befindet. Dies deutet möglicherweise darauf hin, daß der Kollaps der Molekülwolke parallel zu den Feldlinien erfolgte und sich so die Scheibenstruktur herausbildete (Entstehung einer Akkretionsscheibe). Allerdings gibt es auch Fälle, in denen sich die Richtung der Molekülflüsse von der des umgebenden Magnetfeldes unterscheidet.

Ein einfaches Modell, das die wesentlichen Beobachtungsbefunde

enthält, ist in Abb.5 (S.46) schematisch dargestellt.

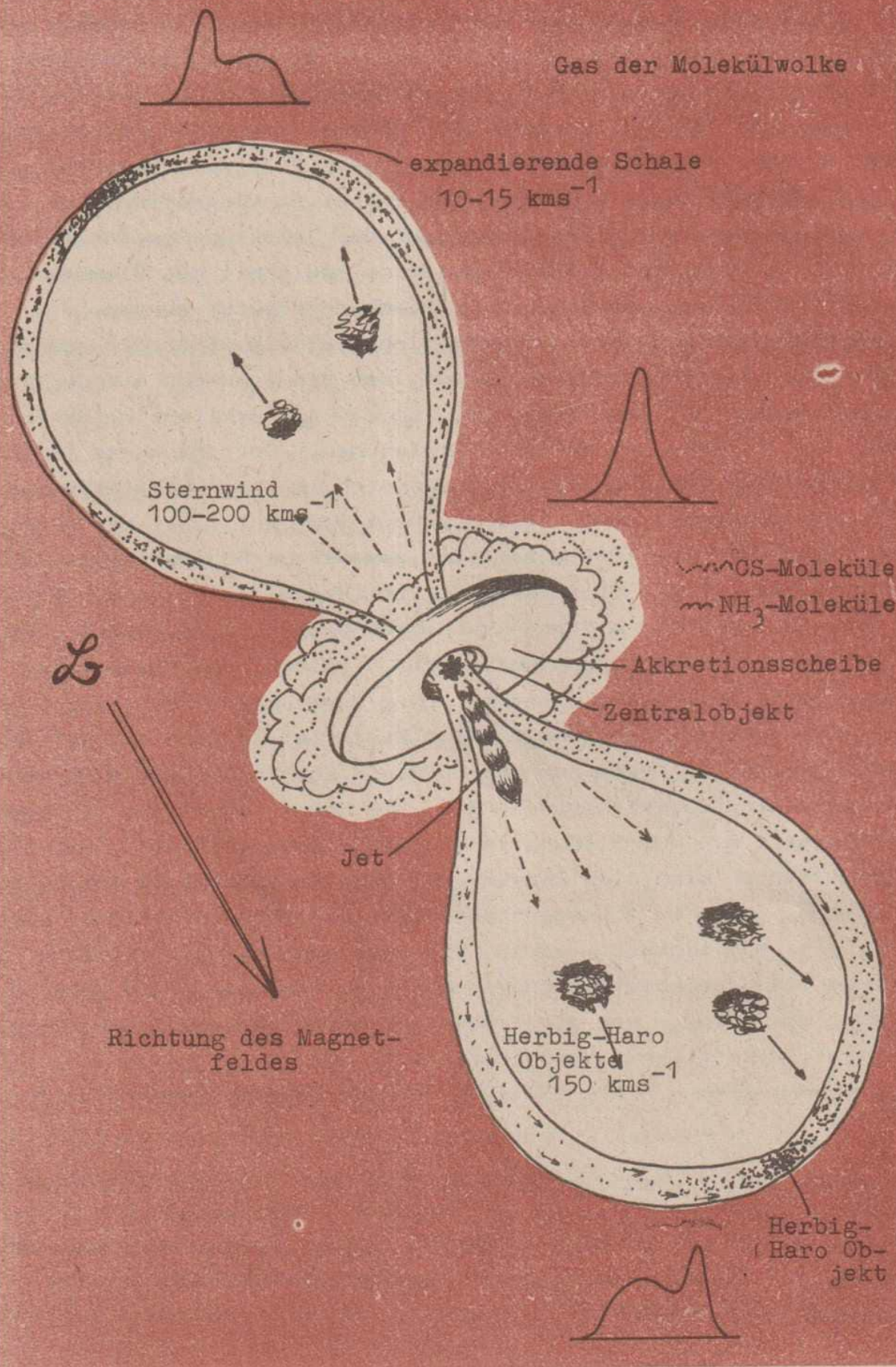
Die Kartierung der Gasverteilung in den Scheiben ist nur durch hochauflösende Radiobeobachtungen im Millimeterwellenbereich möglich. Die Zusammenschaltung von Millimeterwellen-Teleskopen zu Radiointerferometern wird in den nächsten Jahren Klarheit darüber bringen, ob tatsächlich derartige Akkretionsscheiben existieren. Ebenso kann durch die Methode der Speckle-Interferometrie, die die Einflüsse der atmosphärischen Turbulenz kompensiert und das beugungsbegrenzte Auflösungsvermögen der Teleskope gewährleistet, die Verteilung der Infrarot-Emission und damit des Staubes mit hoher Auflösung in derartigen Scheiben untersucht werden.

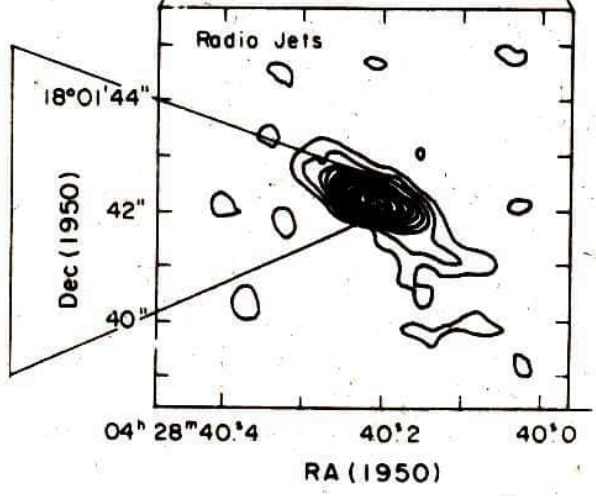
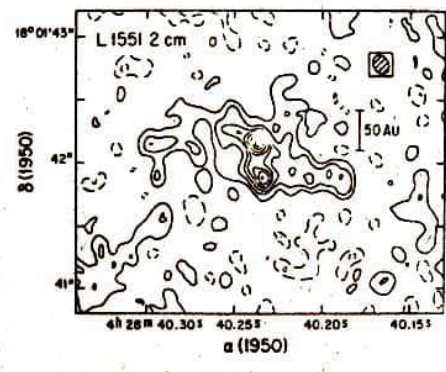
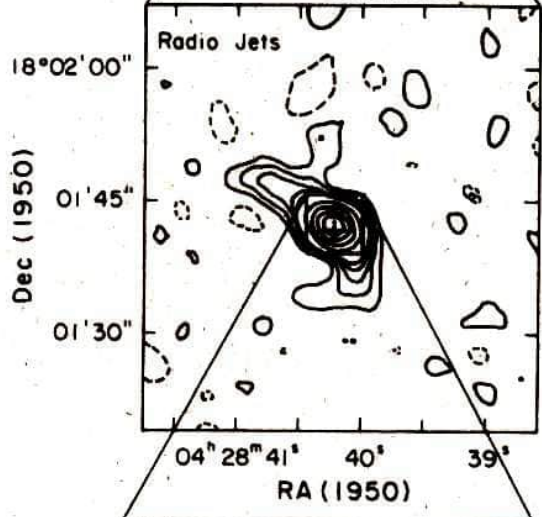
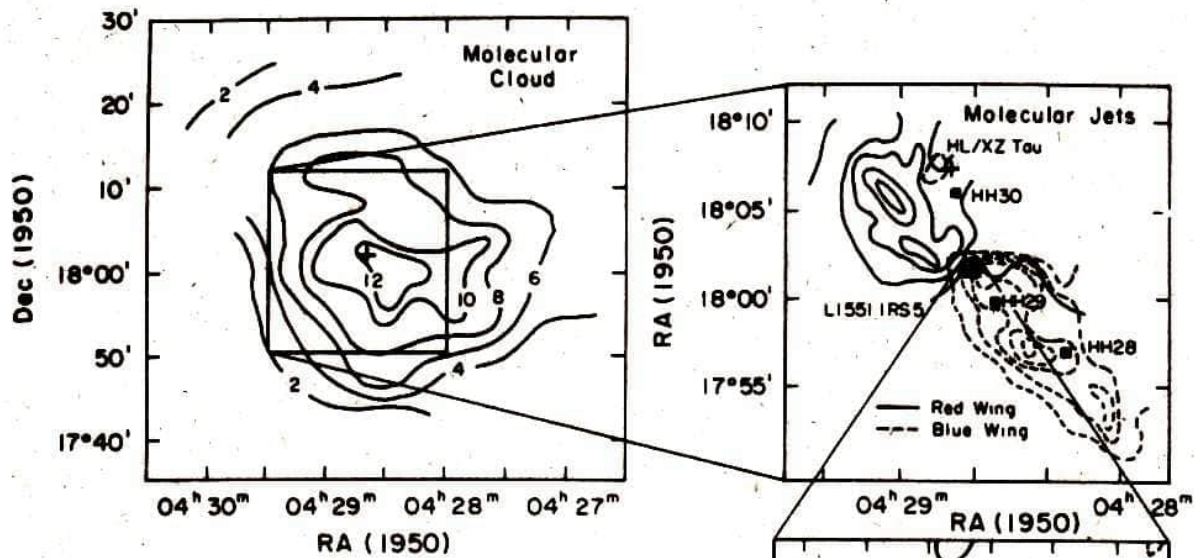
Die Dicke der Scheiben ist offensichtlich vom Alter der Objekte abhängig. Es gibt Hinweise darauf, daß die Scheiben mit der Zeit dünner werden und Gas verlieren, so daß sie schließlich denen um Vega ( $\alpha$  Lyrae) und  $\beta$  Pictoris gleichen. Der Nachweis dieser Scheibenstrukturen um Sterne, die sich in ihrer Entwicklung auf der Hauptreihe befinden, gelang sowohl indirekt (über die Analyse des mit Hilfe des IRAS-Satelliten gemessenen FIR-Spektrums) als auch direkt durch CCD-Aufnahmen, bei denen das störende Streulicht, das durch die Sterne selbst verursacht wird, durch geeignete Blenden abgeschwächt wurde. Man vermutet, daß diese Scheiben durch millimetergroße Staubteilchen gebildet werden. Es gibt Hinweise darauf, daß sowohl bei  $\beta$  Pictoris als auch bei L 1551/IRS 5 die Staubscheibe nur bis zu einer Entfernung von etwa 15 AU an das Zentralobjekt heranreicht. Die Frage ist offen, ob dieser Sachverhalt mit der Bildung von Planeten zusammenhängt. Auf alle Fälle deuten sich hier Aspekte an, die unmittelbaren Bezug zur Entstehung unseres Sonnensystems besitzen. Offensichtlich haben wir die Möglichkeit, durch die Untersuchung der Vorgänge in Sternentstehungsgebieten Erkenntnisse zu gewinnen, die uns der Lösung der Frage, wie die früheste Entwicklung des Sonnensystems verlief, wesentlich näherbringen.

---

„Impuls 68“ stellt sich während der MMM in Leipzig (6.–20. 11. 87) auf der 10. Zentralen Leistungsschau mit einem Heft vor, das dem zwanzigjährigen Bestehen der Schülerzeitschrift gewidmet ist. Mitglieder der Redaktion halten sich im Bereich Gesellschaftswissenschaften zur Diskussion mit Lesern bereit. Bei dieser Gelegenheit werden Restbestände einiger Hefte (u. a. BASIC-EXTRA) angeboten.

schematisches Profil der 2,6 mm CO-Linie





Berichtigung zum Sonderheft BASIC-EXTRA:

Aufmerksame Leser wiesen uns auf einige Fehler hin, die im Beitrag "BASIC-Zeichengenerator" enthalten sind. Die Redaktion bittet dafür um Entschuldigung. Hier die Richtigstellung der entsprechenden Programmzeilen.

```
3620 WINDOW 0,31,0,39:COLOR 7,1:CLS:GOTO 40
4630 PRINT"      EINSCHALTEN :VPOKE 14247,186"
4640 PRINT"              VPOKE 14249,186"
4650 PRINT:PRINT"      AUSSCHALTEN :VPOKE 14247,238"
4660 PRINT"              VPOKE 14249,254"
7060 IF HEX>47 AND HEX<58 THEN HEX=HEX-48
7070 IF HEX>64 AND HEX<71 THEN HEX=HEX-55
7100 IF DEZ>32767 THEN DEZ=-(65536-DEZ)
7240 IF DEZ<0 THEN DEZ=DEZ+65536
7300 DC=DEZ
7606 PRINT:PRINT" ■ SETZEN    -- SPACE    Q W E    U"
7610 PRINT:PRINT" ■ LOESCHEN -- CLR      A   D  H J K"
8230 GOTO 8040
8313 IF A=72 THEN AS=-1:GOTO 8040
8740 IF VPEEK(W)=0 OR VPEEK(W)=7 THEN V=7:H=0:B=1:ELSE V=0:H=7:B=2
```

} (bei BASIC-Modul oder KC 85/3)

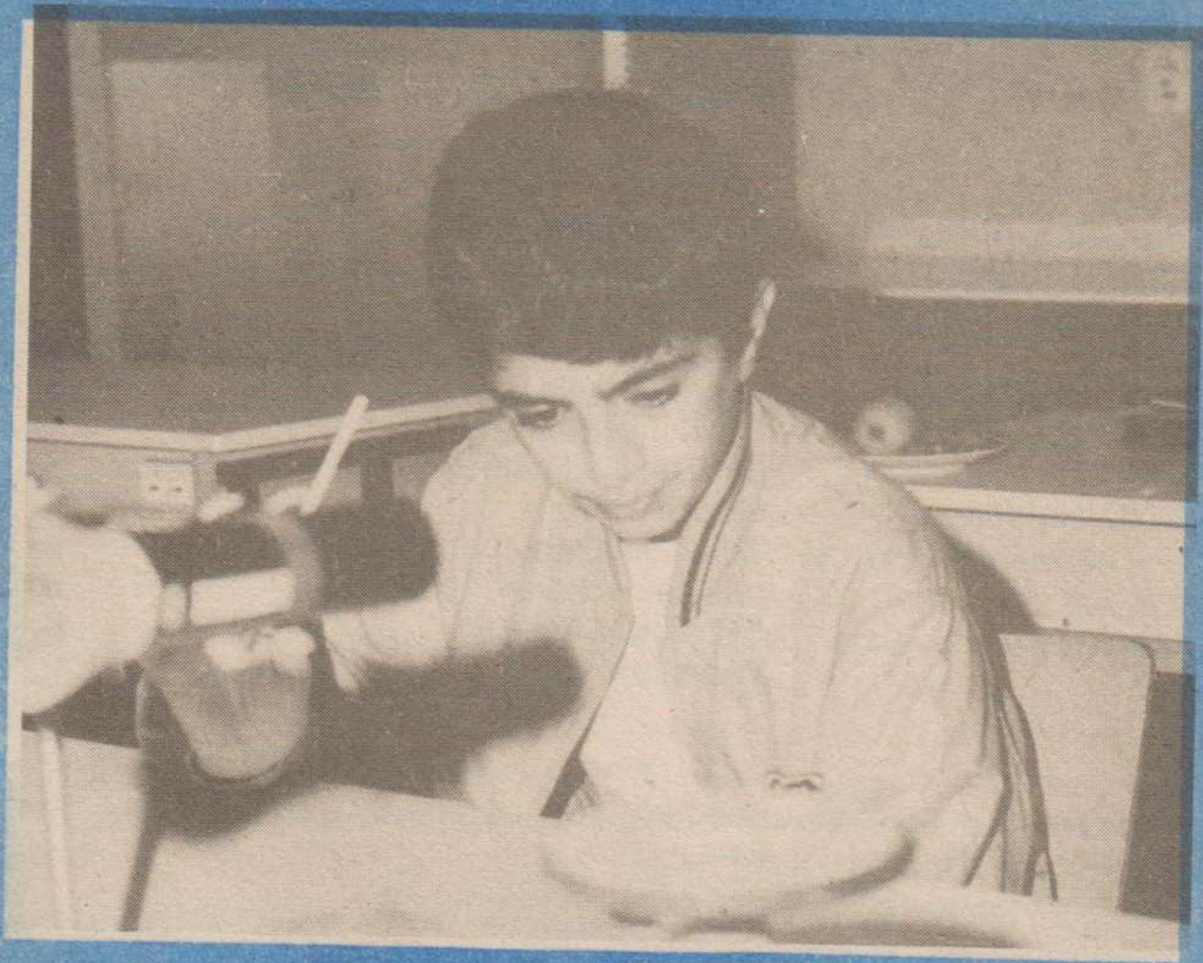
Die Programmzeilen 3615, 3630 bis einschließlich 4510, 7050, 7080, 7250 bis einschließlich 7290, 8229 und 8360 sind für den Programmablauf unwesentlich und können entfallen.



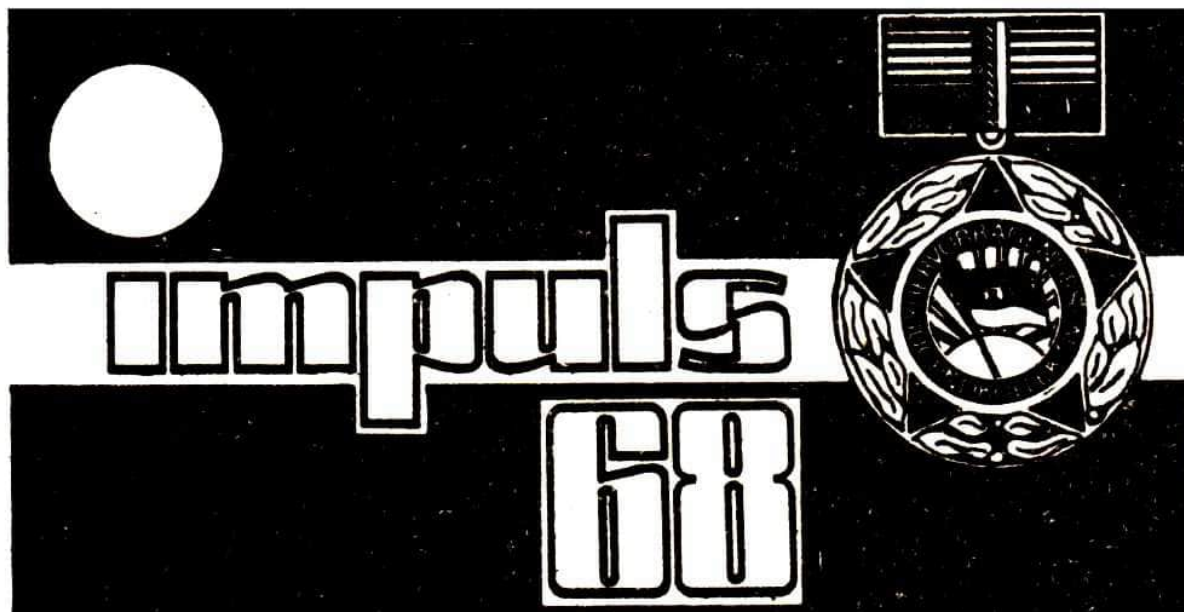
# impuls 68

Schülerzeitschrift für  
Physik, Chemie und Biologie

6/87 (21. Jg.) Preis 60 Pf. INDEX 322004 ISSN 0232-9220



– Internationale Physikolympiade –  
– 20 Jahre „impuls 68“ –



Prof. Dr. B. Wilhelmi	20 Jahre „impuls 68“		S. 3
Dr. H.-D. Jähmig	Aus den Anfängen von „impuls 68“		S. 5
Prof. Dr. L. Kolditz	Anorganische Chemie und Schlüsseltechnologien	CHE	S. 9
Alexander Niehardt	Internationale Physikolympiade		S. 19
Prof. Dr. D.-E. Liebscher	Newtonsche Axiome und Relativitätstheorie	PHY	S. 25
Dr. D. Hoffmann	Gustav Hertz – Zum 100. Geburtstag des deutschen Physikers	GE	S. 37
	PHYSIKAUFGABE		S. 45
	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 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: Dr. Roland Colditz, Sylvia Kaschke, Antje Katzer, Petra Richter, Peter Kroll,

Alexander Niehardt, Ralph Huonker, Rainer Strobel

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, König

Redaktionsschluß: 18. 9. 1987

Titelbild: Mahmoud Kazem aus Kuwait, Teilnehmer der XVIII.IPhO, während der Klausur (bei der Lösung der experimentellen Aufgabe)

---

Magnillzer  
Prof. Dr. B. W. W. W.  
Rektor  
FSU Jena

---

Der Mittheilungsfertigkeit bedarf der Gelehrte immer; denn er besitzt seine Kenntniss nicht für sich selbst, sondern für die Gesellschaft. Diese hat er von Jugend auf zu üben.

J.G. Fichte, Jenaer Vorlesungen über die Bestimmung des Gelehrten, 1794.

Die ersten zwanzig Jahrgänge der Zeitschrift "impuls 68", mit der sich die Studenten und Nachwuchswissenschaftler der Alma mater Jenensis an wissensdurstige Schüler wenden, entsprechen so ganz den Vorstellungen und Forderungen des Jenaer Philosophieprofessors Johann Gottlieb Fichte und hätten ihn sicher begeistert.

Seit 1968 erfahren die Jugendlichen in allen Städten und Dörfern unseres Landes aus "impuls 68" vom stürmischen Vordringen der Wissenschaft in den Mikrokosmos und Makrokosmos, von neu entdeckten Elementarteilchen und Galaxien, von der Erkundung immer komplizierterer Strukturen der belebten und unbelebten Natur. Sie konnten miterleben, wie neue Generationen mikroelektronischer und optoelektronischer Bauelemente, große Beschleuniger, Teleskope und leistungsstarke Laser entstanden, wie man Moleküle und Werkstoffe "nach Maß" konstruierte, neue technologische Verfahren entwickelte und dabei alle Bewegungsgesetze der Natur, einschließlich der biologischen, nutzte. Die Leser wurden vertraut mit der Informatik, mit Möglichkeiten, die Rechner zur Unterstützung in allen Tätigkeitsbereichen des Menschen heranzuziehen.

Impuls berichtete nicht nur von neuen Entdeckungen und Entwicklungen, von der Verbindung von Wissenschaft und Produktion in der Gegenwart, sondern auch von den großen wissenschaftlichen Lei-

stungen der Geschichte, auf denen wir heute aufbauen, und Impuls befragte Wissenschaftler nach ihrer Meinung über wichtige Aufgaben und Entwicklungen der Zukunft.

Die Abonnenten lasen nicht nur, sie wurden zum Knobeln, Rechnen und Experimentieren angeregt wie auch zum Erlernen von Programmiersprachen.

"Impuls 68" war niemals ein unpolitisches naturwissenschaftliches Journal. Die Autoren positionierten sich zu allen grundlegenden Fragen unserer Zeit und stellten die aktive Rolle des Wissenschaftlers in der Gesellschaft heraus. Sie zeigten, wie bei uns die Wissenschaft beiträgt, den Sozialismus zu stärken und das Leben aller Menschen schöner und reicher zu machen. Die besondere Rolle der Wissenschaftler im Friedenskampf, im Kampf gegen Massenvernichtungswaffen und bei der Lösung weiterer globaler Probleme spielte in vielen Beiträgen die dominierende Rolle.

Impuls provozierte Fragen und Diskussionen, forderte zum Nachdenken und zum Meinungsstreit heraus, hilft bei der Wahl von Studium und Beruf und bereichert das geistige Leben.

Im Namen aller Angehörigen der Friedrich-Schiller-Universität Jena gratuliere ich dem großen Autorenkollektiv, d.h. den Redakteuren des ersten wie des zwanzigsten Jahrgangs, die mit und an ihren Aufgaben wuchsen, und wünsche der Zeitschrift, daß sie auch in der Zukunft kräftige Impulse bewährter Folgefrequenz ausstrahlt, die immer mehr Leser erreichen und stimulieren.

*H. Schlemmer*

---

---

Dr. H.-D. Jähnig  
Forschungsdirektor  
FSU Jena

Aus den Anfängen von  
„impuls 68“ – Interview mit dem  
Gründungsmitglied und  
langjährigem Chefredakteur

---

■ Vor zwanzig Jahren wurde "impuls 68" gegründet. Wie kam es dazu und welche Ziele wurden damit verfolgt?

Dr. Jähnig: Die Initiative zur Gründung von "impuls 68" ging von uns damaligen Studenten aus, wobei wir zwei Schwerpunkte ins Auge gefaßt hatten. Zum einen war es unsere Absicht, die Vorbereitung der zukünftigen Studenten auf das Studium der Physik zu verbessern und andererseits ging es uns darum, mehr Studenten als bislang für ein Physikstudium zu begeistern. Letzteres hing mit der Gründung der Sektion Physik für den wissenschaftlichen Gerätebau und den großen Plänen zur Entwicklung von Wissenschaft und Technik in Jena zusammen. Insofern war die Gründung von "impuls 68" vor zwanzig Jahren ein konkreter Beitrag zur 3.Hochschulreform.

■ Wie gelang es, diese anspruchsvollen Aufgaben zu bewältigen?

Dr. Jähnig: Die Absicht, die Vorstellungen und Hoffnungen hinsichtlich des Physikstudiums richtigzustellen, die fachlichen Voraussetzungen und die methodischen Fähigkeiten im Niveau zu erhöhen und damit den Erfolg des Studiums zu verbessern, erforderte von uns viele Aktivitäten, von denen die Schülerzeitschrift "impuls 68" nur eine war. Insgesamt bildeten wir vier Arbeitsgruppen, von denen eine die Schülerzeitschrift herausgab. Die zweite Gruppe organisierte Sommerlager für physikinteressierte Schüler des Bezirkes Gera und eine weitere Gruppe stellte einen Vorbereitungslehrgang für das Physikstudium zusammen, das als teilprogrammiertes Lehrmaterial veröffentlicht wurde. Dieses Vorbereitungs material erhielt jeder zukünftige Physikstudent zugeschickt. Es sollte ihm helfen, z.B. nach dem Wehrdienst die

physikalischen Kenntnisse zu regenerieren. Die vierte Arbeitsgruppe von "impuls 68" baute an der Universität Arbeitsgemeinschaften für Oberschüler auf. Damit betraten wir echtes Neuland und recht erfolgreich, wie das Interesse des Ministeriums für Volksbildung zeigte. Gemeinsam erarbeiteten wir die ersten Rahmenprogramme zum wissenschaftlichen Gerätebau. Heute kann man sagen, daß diese Arbeitsgemeinschaften die Vorläufer der wissenschaftlich-produktiven Arbeit waren.

■Damit war sicherlich eine Menge Arbeit verbunden. Wie wurde diese bewältigt und wer half dabei?

Dr. Jähnig: Natürlich mußten viele Aufgaben und Probleme gelöst werden, bevor sich die ersten Erfolge einstellten. Man muß jedoch sagen, daß wir damaligen Studenten mit viel Begeisterung und Phantasie diese Dinge angegangen sind. Anders wäre dies auch nicht möglich gewesen, denn auf vielen Gebieten konnten wir keine Erfahrungen übernehmen, weil es so etwas, was wir machen wollten, noch nicht gab. Ich denke da z.B. an die Diskussionen mit Mitarbeitern des Presseamtes beim Ministerrat der DDR oder den Verantwortlichen der Druckerei Rudolstadt. All diese Details wurden gemeinsam geklärt und was uns betraf, während der Freizeit. Natürlich waren wir sehr glücklich, als wir die ersten Exemplare unserer Zeitschrift im Frühjahr 1968, eigenhändig verpackt, der noch kleinen Leserschaft per Post zukommen lassen konnten. Die Resonanz unter den Lesern in der DDR als auch den Studenten an der Universität war groß. Die Auflage erhöhte sich bis auf etwa 7000 Exemplare. Im Jahr 1970 arbeiteten nahezu 100 Studenten und junge Wissenschaftler aus fünf Sektionen der Universität im Rahmen der vier Arbeitsgruppen von "impuls 68".

Hinweise und Ratschläge bekamen wir von vielen Seiten. Zu Beginn unterstützten uns Kollegen vom Bereich Hochschulpädagogik durch methodische und inhaltliche Beiträge. Besonders stolz waren wir natürlich, daß Prof.Dr.M. Steenbeck die Schirmherrschaft über unser Projekt übernommen hatte und uns in unserem Anliegen bis zu seinem Tode unterstützte. Weitere namhafte Wissenschaftler, wie z.B. Nobelpreisträger G. Hertz, Nobelpreisträger G. Basov oder Manfred v. Ardenne, stellten sich als Interviewpartner zur Verfügung. Damit gelang es in beeindruckender Weise, neue Entwick-

lungstendenzen der Physik aufzuzeigen.

Es gehörte aber auch zur "impuls"-Tradition, die Erfolge zu feiern und die studentische Kultur zu pflegen. Das alljährlich veranstaltete Schlachtfest war ein bekannter Höhepunkt. Besonders angespornt wurden wir durch die Verleihung des Ehrentitels "Hervorragendes Jugendkollektiv der DDR" und andere Auszeichnungen.

■ Als Forschungsdirektor der Friedrich-Schiller-Universität sind Sie tagtäglich mit der Entwicklung von Wissenschaft und Technik konfrontiert. Wie sehen Sie aus dieser Sicht die heutige Bedeutung von "impuls 68"?

Dr. Jähnig: Natürlich hat sich die Bedeutung von "impuls 68" seit der Gründung vor zwanzig Jahren verändert. Dazu haben unter anderem neue Strukturen des Bildungsweges geführt. Wir erleben im wahrsten Sinne des Wortes, wie die wissenschaftlich-technische Revolution alle Bereiche der Gesellschaft durchdringt. Aus diesem Grund war es erforderlich, daß "impuls 68" die Breite der Entwicklung der Naturwissenschaften und ihrer Beziehungen zu anderen Wissenschaftsdisziplinen aufgreift und popularisiert. Gerade in der heutigen Zeit kommt es darauf an, die Wissenschaft für die Bevölkerung transparent zu machen, ihre Möglichkeiten und Grenzen aufzuzeigen. Geschieht dies nicht, so bauen sich Ängste auf, wie wir an vielen Erscheinungen in kapitalistischen Ländern sehen können. Besonders die Universitäten tragen dabei eine große Verantwortung. So sehen wir uns nicht nur als Alma mater für 6000 Studenten, sondern auch als Bildungseinrichtung für die Bevölkerung. Ich denke, daß "impuls 68" dazu einen wesentlichen Beitrag liefert.

■ Ihr Engagement für die Popularisierung wissenschaftlicher Erkenntnisse ist sehr groß. Bekannt sind Ihre vom Fernsehen übertragenen Vorlesungen zur Experimentalphysik. Welche Beziehung sehen Sie zwischen dieser Tätigkeit und Ihrer Aufgabe als Forschungsdirektor?

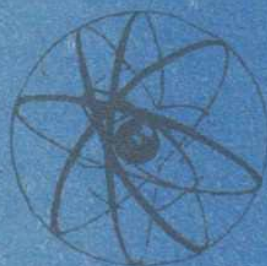
Dr. Jähnig: Zunächst zur Frage der Öffentlichkeitsarbeit. Ich denke, daß wir Wissenschaftler die gesellschaftliche und moralische Verpflichtung haben, unsere Ergebnisse allgemeinverständlich

darzustellen. Mir ist klar, daß der eine oder andere grundsätzlich daran zweifelt, ob dies bei dem rasanten Entwicklungstempo und dem enormen Abstraktionsniveau der Naturwissenschaften noch möglich ist. Aus meiner Erfahrung heraus muß ich sagen, Voraussetzung dafür ist die exzellente Sachkenntnis und das Ge-

## STUDIUM, PRAXIS, PROBLEME

der Physik und anderer Naturwissenschaften

# impuls 68



1

monatsschrift für Schüler 1. Jahrgang 1968

Einleitung

Das hier ist eine gute und eine neue Sache: - Studenten erben unter Schülern für ihr Studium. So etwas bewirkt, daß die Studenten von ihrer Wissenschaft wirklich gepackt wurden; es ist aber auch ein Zeichen für echtes gesellschaftliches Verantwortungsgefühl. Ich freue mich darüber, daß es angehende Physiker sind, die dies tun; denn ich selber bin so sehr Physiker, daß ich in meinem ganzen Leben niemals gewünscht habe, etwas anderes zu sein. Und ich bin auch genügend Lokalpatriot, um zu begreifen, daß gerade Jenseener Studenten dieses Initiative ergreifen haben.

Owohl die Physik unter den Naturwissenschaften eine Art Zentralrolle einnimmt und jedenfalls in alle Himmelsrichtungen, obwohl sie sowohl dem philosophischen Kopf wie der in nützliche Anwendung Bemühten ein wichtiges Fundament für seine Arbeit bedeutet, ist der Drang junger Menschen zur Physik nicht ausreichend; es widmen sich diesen Studien weniger, als wir es wünschen würden. Das liegt sicher zum Teil daran, daß es sich herumgesprochen hat: Physik ist ein sehr anspruchsvolles Studium. Gerade in den ersten Semester wird viel an Gedanken von den jungen Studenten gefordert - die nämlich die wunderbare gedankliche Ordnung dieser Wissenschaft wirklich erfährt wurde. Gerade darum ist es wichtig, daß Studenten selbst davon berichten. Ein anderer Grund mag sein, daß Physiker von unserer Industrie nicht so "gefragt" werden, wie sich das die Absolventen vielleicht vorgestellt hatten; aber das wird sich mit der Verstärkungsrichtung unserer ganzen Technik allerdings sehr gründlich ändern. Der Physiker muß lernen, nicht große Leistungen Einzelner ein Ziel zu sehen, wie sie in der Vergangenheit das Bild der Physik bestimmten. Auch er muß bereit sein, sich in ein Kollektiv einzuordnen - und wenn er selbst es erst aufbauen muß.

Auf die Dauer wird diese Zeitung als reines Jenseener Unternehmen den gestellten Aufgaben wohl nicht genügen können. Von anderen Universitäten, Hochschulen, Forschungsinstituten und nicht zuletzt von der Industrie werden Beiträge kommen müssen. Wichtig ist aber, daß hier ein guter Anfang gemacht worden ist.

So wünsche ich dieser jungen Zeitung guten Erfolg und ein langes Leben.

(Professor Dr. Dr.-h.c. Max Steenbeck)  
Vorsitzender des Rates

Jena, den 15. 1. 1968

spür für das Wesentliche. Ein guter populärwissenschaftlicher Artikel setzt ein zehnfach höheres Wissen voraus. Nur dann kann es gelingen, die Dynamik der Wissenschaft gleich einer guten Kriminalstory darzustellen. In dieser Beziehung war für mich die Arbeit bei "impuls 68" eine gute Schule.

Als Chefredakteur von 1968 bis 1978 hatte ich ein großes Kollektiv zu leiten, mußte komplexe Zusammenhänge koordinieren und wenn es notwendig war, rasch und flexibel entscheiden. Dies sind auch Merkmale meiner heutigen Tätigkeit.

Manchmal kommt, wenn eine Ausgabe von "impuls 68" zufällig in meine Hände gelangt, etwas Wehmut auf. Aber auch Stolz, mit erheblichem Engagement sich für diese Ziele eingesetzt zu haben und einer der "Väter" dieser Zeitschrift zu sein.



Prof. Dr. L. Kolditz  
Direktor des Zentral-  
instituts für anorganische  
Chemie der AdW der DDR  
Präsident des National-  
rates der Nationalen  
Front der DDR

## Anorganische Chemie und Schlüsseltechnologien

CHEMIE

### 1. Allgemeine Bemerkungen

Die anorganische Chemie war von jeher damit befaßt, mineralische Rohstoffe zu veredeln und in Produkte zu überführen, die entweder als Zwischenverbindungen für weitere Synthesen genutzt wurden oder als Baustoffe, als Werkstoffe bzw. als Wirkstoffe auf den verschiedensten Gebieten zum Einsatz gelangen. Die Anforderungen an die produzierten Substanzen steigen ständig. Bestimmte hervorragende Eigenschaften bei Werkstoffen wie hohe Härte, hohe Temperaturbeständigkeit und Temperaturwechselbeständigkeit, besondere optische Eigenschaften z.B. bei Lichtleitfasern, elektrische Leitfähigkeitseigenschaften bis hin zur Supraleitung, hohe Wärmeleitfähigkeit oder das Gegenteil bei Wärmedämmstoffen können oft nur erreicht werden, wenn hochgereinigte Substanzen zur Anwendung gelangen.

So wird die Industrie in Zukunft immer stärker Probleme der Hochveredlung zu bearbeiten haben, die durch höhere Anforderungen an die Reinheit der Produkte gekennzeichnet sind. In der chemischen Industrie, aber auch in den Industriezweigen, die Werkstoffe aus Einsatzprodukten der Chemie erzeugen, wird durch die erhöhten Reinheitsforderungen ein Strukturwandel in den Technologien eintreten. Die neue Phase in der Industrie wurde eingeleitet durch die Mikroelektronik, die Stoffe höchster Reinheit zunächst im kg-Maßstab benötigte, der aber in einigen Fällen, auf den Tonnen-Maßstab und darüber hinaus vergrößert werden mußte. Für neue Werkstoffe wie keramische Konstruktionsmaterialien ist eine Produktion reiner Stoffe in kt-Mengen erforderlich. Damit im Zusammenhang stehen Überführungsprobleme neuen Charakters, auf die die Industrie vorbereitet werden muß, begleitet von einer anspruchsvollen Grundlagen- und angewandten Forschung.

Die höheren Reinheitsforderungen in der Produktion bedingen aber auch gleichzeitig höhere Ansprüche an die Kontrollanalytik, die auf eine Spurenanalytik ausgerichtet sein muß, neben der Kontrol-

le der geforderten Eigenschaften des Endproduktes.

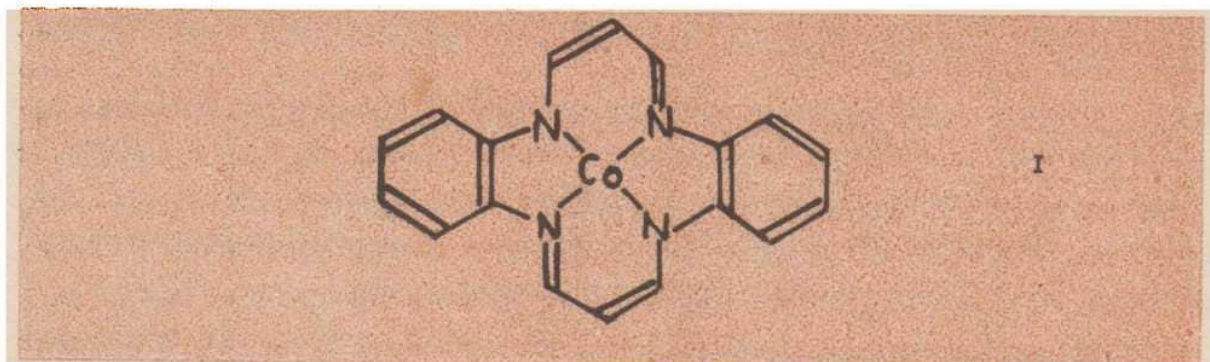
Die uns zur Verfügung stehenden mineralischen Rohstoffe, das gilt besonders für einheimische aber auch für importierte, werden in ihrer Zusammensetzung komplizierter, was angesichts der genannten Reinheitsforderungen die Weiterentwicklung wirksamer Trennmethode verlangt. Die Biotechnologie gibt uns Methoden an die Hand, um mit Hilfe von Bakterien aus Rohstoffen bestimmte Elemente anzureichern und damit ökonomisch zu gewinnen. Dieser Prozeß enthebt uns aber nicht notwendiger Trennoperationen. Die Biomasse muß von den anorganischen Bestandteilen getrennt werden und diese müssen einer Feinreinigung unterzogen werden. In anderen Fällen wirken die Bakterien lediglich als Aufschlußmittel, das die Bestandteile des Rohstoffs in eine reaktionsbereite Form bringt. So kann aus Phosphorofenschlacke, die bei der Verarbeitung von Rohphosphaten zu elementarem Phosphor anfällt, durch Bakterienaufschluß neben Kieselsäure ein Gemisch von Seltenen Erden gewonnen werden, das auf chemischem Wege weiter aufgetrennt werden muß. Der Aufschluß von Phosphorofenschlacke ist auch erreichbar mit Salzsäure. Welcher Weg in der Praxis beschritten wird, muß nach ökonomischen Gesichtspunkten entschieden werden.

## 2. Koordinationschemie

Von der Koordinationschemie kennen wir Reaktionen, die spezifisch mit vielen Materialien ablaufen. Sie werden auch in der analytischen Chemie genutzt. Solche Reaktionen, die mit bestimmten sogenannten chelatbildenden Liganden ausgeführt werden, dienen auch dazu, aus komplizierten Rohstoffen Metalle zu extrahieren (hydro-metallurgische Laugung) oder werden in der Abwasserbehandlung als Reinigungsmittel verwendet (Entfernung von Cu, Zn, As u.a.).

Koordinationschemische Vorgänge spielen in biologischen Prozessen eine große Rolle. Das Vitamin B<sub>12</sub> ist z.B. ein Kobalt-Komplex. Das in der DDR entwickelte Pflanzenschutzmittel Camposan, dessen Anwendung in der Landwirtschaft zu beträchtlichen Ertragssteigerungen geführt hat, ist die Verbindung  $\beta$ -Chlorethylphosphonsäure. Der Zerfall dieser Säure führt zu Ethylen, einem Pflanzenhormon, das im Stoffwechsel der Zelle wahrscheinlich an ein Kupferprotein koordinationschemisch gebunden wird. Im Grunde wirken diese Verbindungen als Katalysatoren, die also chemische Reaktionen kinetisch beschleunigen. Da die biologischen Systeme

sehr kompliziert sind, versucht man, über Modellsubstanzen die Wirkungsweise zu studieren und diese Substanzen auch direkt als Katalysatoren einzusetzen. Diesen Zweig der Chemie nennt man bioanorganische Chemie. Als Modell für Porphyrine und Corrine sind Dibenzotetraaza-[14]-annulene von redoxaktiven Übergangsmetallen von besonderem Interesse. Ein entsprechender Co(II)-Komplex hat die Formel



Solche Verbindungen sind hochaktive Katalysatoren für zahlreiche Redoxprozesse. Die Verbindung I ist z.B. neben dem Platin der bisher beste bekannte Katalysator für die Nachverbrennung von KFZ-Abgasen. Allgemein hat die Verwendung von metallorganischen Koordinationsverbindungen in der Katalyse eine breite Basis. Vor allem Polymerisationsprozesse, die stereospezifisch verlaufen, in denen also die monomeren Molekeln regelmäßig in bestimmter räumlicher Anordnung miteinander verknüpft werden und auf diese Weise bei den Polymeren hervorragende Eigenschaften erreicht werden, stehen im Mittelpunkt des Interesses.

Die Butadienpolymerisation gehört zu diesen Prozessen. In der Synthese komplizierter organischer Verbindungen (Steroide, Vitamine, Terpene u.a.) haben metallorganische Verbindungen wesentliche Fortschritte gebracht, die in einer Vereinfachung der Syntheseschritte zum Ausdruck kommen. Bei vielstufigen Synthesen, die zu einem gewünschten Endprodukt führen, erweist sich die Kombination aus mikrobiologischen und chemischen Stufen häufig als vorteilhaft, was für die Erweiterung der Möglichkeiten der Biotechnologie von Bedeutung ist.

Koordinationsverbindungen finden weiterhin als Chemotherapeutika Verwendung. So ist der Platin-Komplex  $\text{cis}(\text{NH}_3)_2\text{PtCl}_2$  als Cancerostaticum bekannt geworden.

Für die Herstellung von Verbindungshalbleitern in der Mikroelektronik spielen hochreine metallorganische Verbindungen des Alu-

miniums, Galliums, Antimons, Zinns usw. eine Rolle; in vielen Fällen ermöglichen erst sie die sichere Herstellung des Halbleitersmaterials.

Die Koordinationschemie hat Wege gefunden, das Kohlendioxid so zu aktivieren, daß es sich an ungesättigte Kohlenwasserstoffe anlagert und verschiedene Produkte liefert, die auf anderem Wege nicht ökonomisch, d.h. auch energetisch ungünstiger gewonnen werden können. In der Natur haben wir einen solchen Vorgang in Form der Assimilation.

Schließlich soll noch erwähnt werden, daß die Kopplung von Fotochemie und Koordinationschemie nicht nur für die Synthese schwierig zu erhaltender Verbindungen gute Dienste leistet, sondern auch in der Entwicklung von unkonventionellen Aufzeichnungsverfahren (Mikrodiazo) Erfolge aufzuweisen hat.

### 3. Silicate und Aluminate

Diese Verbindungsklasse ist überall in der Welt und auch in unserem Lande durch eine reichhaltige Rohstoffbasis gesichert. Allerdings gilt gerade für diese Rohstoffe das Vorliegen komplizierter Strukturen, die einer leichten Verarbeitbarkeit in hochreine Stoffe entgegensteht. Zur Herstellung von Aluminium wird nach klassischem Verfahren Bauxit eingesetzt, den wir importieren müssen. Andererseits gibt es die Möglichkeit, und das wird auch bei uns praktiziert, aus Tonen durch Umsetzung mit Säure, speziell Salzsäure, Aluminiumoxid zu gewinnen. Das Verfahren liefert Tonerde, also Aluminiumoxid und Tonlaugungsrückstände, die restlos weiterverwertet werden, die somit kein Rückstand im eigentlichen Sinne des Wortes sind, sondern nützliche Produkte. Sie können z.B. als Zuschlagstoffe zur Herstellung eines verbesserten Betons dienen. Überhaupt spielt die gesamte Verbindungsgruppe im Bauwesen eine Rolle. Die Zementherstellung ist ein energieaufwendiger Prozess. Bei der hohen Produktionsmenge an Zement ist jede rationelle Energieeinsparung von volkwirtschaftlichem Gewicht. Die Gewinnung von aktivem Belitzement, benannt nach einer als Hauptkomponente in solchen Zementen auftretenden Dicalciumsilicidphase, ermöglicht bei prinzipiellem Aufrechterhalten der Festigkeitseigenschaften eine Energieeinsparung um 10-14 %. Außerdem sind Lagerstätten von Kalkmergel mit niedrigem Kalkgehalt - als für die Produktion von Portlandzement notwendig - für die Gewinn-

nung von Belitzement einsetzbar.

Zm Problembereich Energieeinsparung gehört auch die Weiterentwicklung von Wärmedämmstoffen auf silicatischer Basis, die bei niedriger Dichte einen hohen Wärmeisolationseffekt gewährleisten.

Wasserglas ist ein in Wasser lösliches Natriumsilicat, dessen Produktion schon sehr alt ist, das wir aber in seinen Eigenschaften, in seiner Struktur immer noch nicht voll erfaßt haben. Es sind Untersuchungen im Gange, für die Herstellung Bedingungen zu finden und Kontrollverfahren der Produktion zu entwickeln, die es gestatten, für verschiedenen Einsatzzwecke das geeignete Wasserglas zu erzeugen. Es wird vor allem benötigt zur Gewinnung von Molsieben, die als Phosphatersatz in Waschmitteln dienen und als Katalysatormaterial zum Einsatz kommen. In Verbindung mit bestimmten Härtern auf Phosphatbasis wird Wasserglas auch als Baumaterial in geringerem Umfang eingesetzt.

Untersuchungen über tonerreichere Aluminatzemente haben zur Qualitätsverbesserung bei höherer Material- und Energieökonomie dieser Zemente geführt, die als Feuerbetone zum Einsatz gelangen und höhere Standzeiten bei der feuerfesten Zustellung von Ofenaggregaten ermöglichen.

#### **4. Sonderkeramische Werkstoffe**

Ausgehend von den seit langem bekannten tonkeramischen Werkstoffen, deren Formbarkeit im Rohzustand auf die besonderen rheologischen Eigenschaften von Ton-Wasser-Gemischen zurückzuführen ist, hat sich die Palette neuartiger sonderkeramischer Werkstoffe in den letzten 20 Jahren breit entwickelt, so daß hier nur auf technische Konstruktionskeramik eingegangen werden kann. Von der Konstruktionskeramik erwartet man hohe mechanische Festigkeiten bis zu hohen Einsatztemperaturen, eine geringe Anfälligkeit gegenüber schroffen Temperaturwechseln, hohen Widerstand gegen abrasiven Verschleiß und gute Beständigkeit gegenüber aggressiven Gasen, Lösungen und Schmelzen.

Die Werkstoffe werden erzeugt auf der Basis von Siliciumnitrid, Siliciumcarbid und Aluminiumoxid, so daß die Rohstoffe, nämlich Sand, Tonerde beinhaltende Materialien, Kohlenstoff und Stickstoff praktisch unbegrenzt und vergleichsweise billig zur Verfügung stehen. Die Sintertemperaturen liegen meist beträchtlich unter den für ein völliges Einschmelzen des Gemischs erforderli-

chen, es lassen sich deshalb auf energetischem Wege oft selbst Pulver solcher Stoffe verarbeiten, die beim Schmelzen zur Zersetzung kommen oder aber das Behältermaterial angreifen.

Die großtechnische Realisierung der möglichen, zum Teil mit anderen Stoffen nicht erreichbaren Eigenschaftskombinationen im Vergleich zu konventionellen keramischen Werkstoffen ist noch sehr aufwendig. Es bestehen aber begründete Ausichten, durch technologische Verbesserungen im Verein mit der festkörperchemischen und -physikalischen Grundlagenforschung die Zuverlässigkeit von Konstruktionskeramik so zu verbessern, daß ihr Einsatz im Dauerbetrieb, z.B. als Keramik-Dieselmotor oder für Kraftwerksturbinen, verantwortet werden kann.

Die anderen Keramiktypen sollen nur erwähnt werden. In der Funktionskeramik werden z.B. die besonderen Isolations-, magnetischen, ferro- oder piezoelektrischen Eigenschaften des fertigen Erzeugnisses ausgenutzt. Sonderkeramiken im engeren Sinne werden z.B. durch Schneidwerkstoffe oder Knochenimplantate verkörpert. Die letzteren Materialien sind unter dem Namen Biokeramik bekannt. Sie verbinden sich fest mit dem normalen Knochen und werden auch vom Bindegewebe nicht abgestoßen.

## 5. Glas

Der Werkstoff Glas wird auch weiterhin nach bewährten Methoden in großen Mengen erzeugt. Das wird auch künftig so sein. Doch daneben gibt es auch die Entwicklung von Spezialgläsern, die ihre Eigenschaften nur zeigen, wenn hohe Reinheitsforderungen eingehalten werden, was mit der Anwendung und Weiterentwicklung neuer Technologien verbunden ist.

Kieselglas, das praktisch nur aus  $\text{SiO}_2$  besteht, wird für Hochleistungslampen und im speziellen Apparatebau benötigt. In der Natur gibt es dafür ein bereits sehr reines Ausgangsmaterial, Quarz oder Bergkristall. Abgesehen davon, daß es sich hier nicht um einheimische Rohstoffe handelt, steigen auch auf diesem Gebiet die Reinheitsforderungen an, in einigen Fällen über die Grenzen hinaus, die durch die natürlichen Rohstoffe gegeben sind. In diesem Falle kommt nur die chemische Reinigung anderer Ausgangsmaterialien in Frage. Aus Wasserglas (vgl.4) kann nach verschiedenen Reinigungsoperationen eine hochreine Kieselsäure abgeschieden werden, die sehr voluminös anfällt und unter Reinstbedingun-

gen verdichtet und granuliert werden muß. Sie ist dann zum Einschmelzprozeß geeignet und liefert ein hochreines Kieselglas, das dem aus Bergkristall gewonnenen überlegen ist, weil die Reinheit gesteuert werden kann. Das Grundmaterial kann auch zur Herstellung dotierter Kieselgläser verwendet werden, die besondere Eigenschaften aufweisen. Das Verfahren entspricht im Prinzip der in der Halbleitertechnik geübten Praxis, wo durch Dotierung, also gezielte Verunreinigung von hochreinem Ausgangsmaterial, die gewünschten Halbleitereigenschaften erzeugt werden.

Die Entwicklung von Spezialgläsern ist ein so weites Feld wie das der Sonderkeramiken. Die optischen Gläser sind schon klassische Vertreter dieser Gruppe. Die Materialbasis beruht nicht in jedem Fall auf dem Silicattyp. Für besondere optische Zwecke werden auch Gläser auf der Basis von Phosphaten, Fluorphosphaten und Fluoriden eingesetzt. Gläser mit hoher Ionenleitfähigkeit für Feststoffbatterien sind in der Entwicklung und ebenfalls mit besonderen Reinheitsforderungen verbunden. In der Mikroelektronik gibt es vielfältige Anwendungsgebiete für Spezialgläser.

Gläser können gezielt zur Kristallisation gebracht, dabei auch in keramische Produkte umgewandelt werden, die besonders widerstandsfähig gegen Verschleiß und in einigen Fällen auch maschinell bearbeitbar sind. Biovitrokerame für Knochenimplantate gehören dazu. Sie werden auch im Verbund mit organischen Materialien erprobt. Der Übergang zwischen dem Glas- und Kermaikgebiet ist fließend.

Poröse Gläser oder Keramiken weisen nach Funktionalisierung eine erhöhte Bindungskapazität für biologisch aktive Materialien auf und sind deshalb als Träger für den Einsatz in der Biotechnologie geeignet. Für den Apparatebau, aber auch für die Konsumgüterproduktion, ist die Weiterentwicklung von glaskristallinen Emails von großer Bedeutung, das zur Materialeinsparung führt. Die Untersuchung der Bruchvorgänge beim Glas, die Erhöhung der Stabilität des Glases durch Oberflächenbehandlung zielt ebenfalls darauf ab, den Materialeinsatz so rationell wie möglich zu gestalten.

## **6. Fluor-, Phosphor- und Schwefelchemie**

Prinzipiell könnte man jedem Element eine charakteristische Chemie zuordnen. Sie sind nur in ihrer Bedeutung sehr unterschiedlich. Die genannten drei Gebiete haben in vielerlei Richtung

Anwendung gefunden, so daß ein Herausheben gerechtfertigt ist.

Ausgangrohstoff für die Fluorchemie ist der Flußspat  $\text{CaF}_2$ , aus dem nach einer bereits 1871 von SCHEELE entdeckten Reaktion noch heute Fluorwasserstoff produziert wird



Fluorwasserstoff ist das Zwischenprodukt, mit dessen Hilfe praktisch alle Fluorverbindungen erzeugt werden können. In der Weltproduktion hat der sogenannte Säurespat, der für die genannte Reaktion benötigt wird, einen Anteil von 40 %. Als Zusatz für die Keramikproduktion werden 5% eingesetzt (Keramikspat) und 55 % dienen der Hüttenindustrie als Flußmittel für eine leichter schmelzende Schlacke. Daher kommt auch der alte Mineralname Flußspat. Die DDR gehört zu den Ländern die Flußspat exportieren. Eine weitere Rohstoffquelle für Fluorverbindungen sind die Rohphosphate wie Apatit und Phosphorite, die immer einen geringen Fluoridgehalt aufweisen. Bild 1 vermittelt einen Eindruck von der

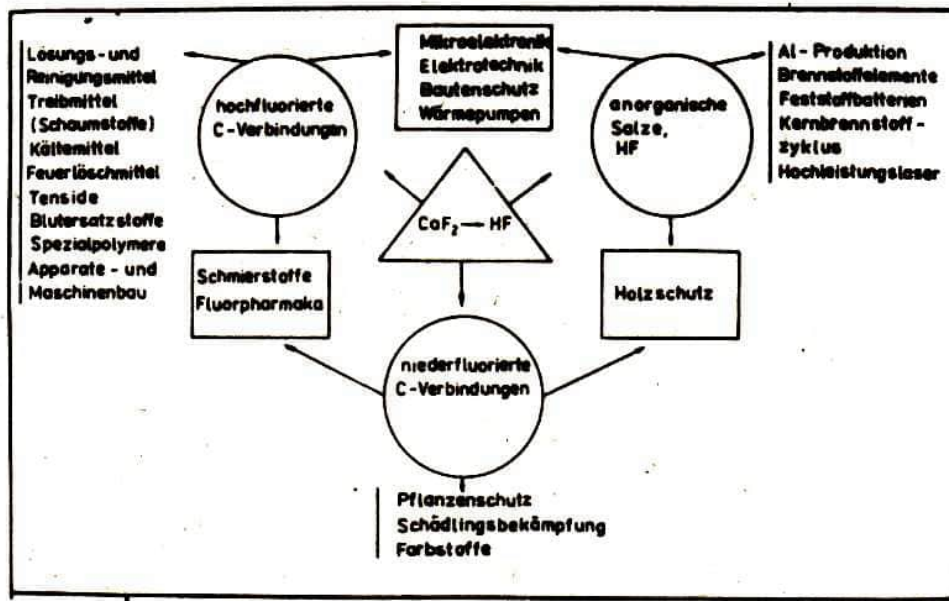


Bild 1

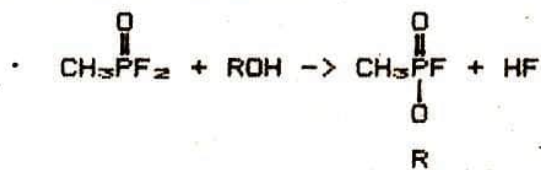
Vielfalt der Anwendungsgebiete für wichtige Gruppen von Fluorverbindungen.

Zentrale Rohstoffe der Phosphorchemie sind die Rohphosphate, die in großen Mengen zu Düngemitteln und Futterphosphaten verarbeitet werden. Durch Reduktion von Phosphat wird elementarer Phosphor erzeugt, der als Ausgangsprodukt für Pflanzenschutz-, Holz-

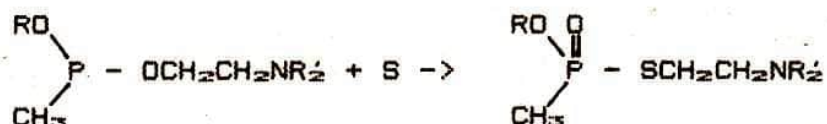


schutz-, Flammenschutzmittel und für Verbindungen dient, die in der Aufbereitung von Rohstoffen, d.h. in der Trennung von Teilkomponenten, eine Rolle spielen.

Leider hat die biologische Wirksamkeit von vor allem halogenhaltigen Phosphorverbindungen auch zu deren Mißbrauch geführt. Bei den binären Waffensystemen werden relativ ungiftige Komponenten bevorratet, aus denen der hochgiftige Stoff in einer schnellen Reaktion bei der Anwendung, also während des Flugs der Granate, Rakete oder Bombe erzeugt wird. Eine Reaktion, die derzeit in den binären Waffen der USA vorgesehen ist, wird durch folgende Gleichung wiedergegeben



Auch Schwefelverbindungen sind in den Systemen der USA vorgesehen:



Das umfassende Verbot chemischer Kampfstoffe ist dringender denn je. Ein Rahmenabkommen über die Schaffung einer von chemischen Waffen freien Zone in Europa wurde in Verhandlungen zwischen Expertengruppen der SED und der SPD ausgearbeitet. Es ist ein wichtiger Teil der von den sozialistischen Staaten ausgehenden Abrüstungsbemühungen.

Die Schwefelchemie hat ähnliche Anwendungsgebiete wie die Fluor- und Phosphorchemie. In der Absorption von  $\text{SO}_2$  aus Rauchgasen haben wir eine Schwefelquelle, deren Nutzung sehr intensiv bearbeitet wird.

## 7. Anorganische Salze

In den Salzlagerstätten steht der DDR eine ergiebige Rohstoffquelle zur Verfügung. Diese Rohstoffe sind Ausgangsverbindungen für Düngemittel und Zwischenprodukte der chemischen Industrie. Zentrale Bedeutung hat der Carnallit  $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Die komplexe und effektive Nutzung solcher Rohstoffe beruht auf ausgedehnten Untersuchungen zum Löseverhalten und in der Ermittlung thermodynamischer Größen. Solche Stoffe haben viele Nebenkompo-

henten, deren ökonomische Gewinnung nur nach genauer Kenntnis der Lösungskinetik möglich ist. Die gewonnenen Erkenntnisse sind zu erweitern auf die Laugenkinetik aluminiumreicher Aschen sowie verschiedener calciumcarbonathaltiger Rohstoffe zur Gewinnung von Tonerde, Bleicherden, Adsorbentien und hochwertiger Füllstoffe für Plaste, Papier und Lacke. Aus den Aschen sind Vorprodukte für Konstruktionskeramiken zu gewinnen.

Für die Nutzung von Sekundärenergie oder Niedrigtemperaturwärme werden Salzhydrate als Latentwärmespeicher eingesetzt. Geeignete Salzhydrate wie  $KF \cdot 4H_2O$  schmelzen unter Wärmeaufnahme und geben bei niedrigerer Temperatur diese Wärme beim Auskristallisieren wieder ab. Verschiedene Wärmespeicher für  $30^\circ C$ ,  $60^\circ C$  und  $75^\circ C$  und Kapazitäten von 50-70 kWh sind auf dieser Basis bereits entwickelt worden. Sie können in Heizungsanlagen und zur Warmwasserbereitung genutzt werden.

## 8. Schlußbemerkungen

Auf diesen wenigen Seiten läßt sich natürlich die anorganische Chemie nicht erschöpfend behandeln. Es konnte nur ein kleiner Eindruck von ihrer Mannigfaltigkeit vermittelt werden. Die Schlüsseltechnologien kommen ohne die Hilfsstoffe und begleitenden Untersuchungen der anorganischen Chemie nicht aus. Besonders die Weiterentwicklung von Trennmethoden zur Gewinnung reiner Substanzen und rückstandsarmen Aufarbeitung der Rohstoffe wird für die Zukunft an Bedeutung gewinnen. Bei der Lösung ihrer Aufgaben für die Gesellschaft in den Problemkreisen Rohstoffe, Energie, Umwelt ist die Chemie auf die Wechselwirkung mit anderen Disziplinen angewiesen. Das sind vornehmlich Physik, Mathematik, Biologie und die Ökonomie. Die sichere Anwendung der Wissenschaft kann nur gewährleistet werden, wenn eine gediegene Grundlagenforschung vorausgegangen ist, die den wissenschaftlichen Fortschritt mit sich bringt und umfassende Kenntnis über das Reaktionsverhalten der Systeme vermittelt. Das gilt für die Untersuchung von Transportprozessen in der Festkörperchemie (Keramik, Mikroelektronik, Bauwesen, Werkstoffforschung) ebenso wie für die Untersuchung des Lösungsverhaltens anorganischer Salze und für die Weiterentwicklung der Trennprozesse.

Weltweit ist mit diesem Prozess ein Aufschwung in der anorganischen Chemie zu verzeichnen.

---

Alexander Niehardi  
5. Stdj. Physik/  
Astron.-Lehrer  
Sektion Physik  
FSU Jena

Internationale  
Physikolympiade



---

Neun Tage dauerte die XVIII. Internationale Physikolympiade (IPhO), die vom Ministerium für Volksbildung der DDR in Zusammenarbeit mit dem Ministerium für Hoch- und Fachschulwesen, der Physikalischen Gesellschaft der DDR, dem Zentralrat der FDJ, dem Kombinat VEB Carl Zeiss Jena und der Friedrich-Schiller-Universität Jena ausgerichtet wurde.

Das Jahr 1987 gestaltete sich zu einem der erfolgreichsten in der Geschichte der nunmehr 20jährigen IPhO. Mit Mannschaften aus 25 Ländern und Beobachtern aus weiteren Ländern, die eine zukünftige Teilnahme ins Auge fassen, sowie Vertretern internationaler Organisationen (UNESCO) war der Andrang so groß wie noch nie.

Drei erste, zehn zweite und zwanzig dritte Preise sowie dreißig Diplome für aner kennenswerte Leistungen verdeutlichen das hohe Leistungsniveau und die gewachsene Leistungsdichte.

Dazu sollte man wissen, daß die Bewertung der Leistungen ausschließlich in einer Einzelwertung nach Prozentpunkten (eine offizielle Mannschaftswertung gibt es nicht) ähnlich der Benotung in unseren Schulen erfolgt. Dem internationalen Reglement zufolge setzt sich die Olympiade aus einem aus mehreren Aufgaben bestehenden theoretischen Teil und einer experimentellen Aufgabe zusammen, zwischen denen ein Tag der Erholung eingeschoben wird. Darüber hinaus organisiert das Gastgeberland ein reiches Programm an Veranstaltungen, bei denen die Teilnehmer, Betreuer und Beobachter Land und Leute kennenlernen können. Exkursionen zu den Dornburger Schlössern, ins Observatorium Tautenburg, zur Nationalen Mahn- und Gedenkstätte Buchenwald und nach Weimar, zur Bleilochtalsperre und nach Ebersdorf boten dazu viele Möglichkeiten. In Jena selbst trafen die Teilnehmer der IPhO mit Lehrlingen aus dem Kombinat VEB Carl Zeiss Jena im Jugendklubhaus Burgau und Jugendforscherkollektiven der Friedrich-Schiller-Universität im traditionsreichen Studentenklub "Rosenkeller" zusammen und lern-

ten das Cosmorama-Planetarium der Carl-Zeiss-Stiftung kennen.

Ein Heer von Dolmetscher-Betreuern, Korrektoren und technischen Kräften sorgte für einen reibungslosen Ablauf und einen angenehmen Aufenthalt.



Abb.1: Startvorbereitung - Gedränge im Foyer der Spezialschule; die Teilnehmer informieren sich über die Sitzverteilung.

Da sitzen sie bei einer Lufttemperatur von  $30^{\circ}\text{C}$  in den Räumen der Spezialschule "Carl Zeiss" in Jena und unterziehen sich freiwillig einer Klausur mit hohem Schwierigkeitsgrad - die 123 Teilnehmer der XVIII. Internationalen Physikolympiade.

Andere Jugendliche ihres Alters genießen jetzt ihre wohlverdienten Ferien und suchen Erfrischung in den kühlen Fluten von Freibädern und Seen ihrer Heimatländer.

Was ist das, was diese Mädchen und Jungen veranlaßt, ihre Freizeit der Beschäftigung mit einer Wissenschaft zu widmen und dabei ein solches Niveau zu erreichen, daß sie an einer internationalen Olympiade teilnehmen können ?

Ist es Wissensdurst, natürliche Begabung, Freude am Experimen-

An dieser Stelle sollte eigentlich ein Foto stehen - die Olympioniken bei der Arbeit, nachdenkend über die ihnen gestellten Aufgaben. Es war uns nicht möglich, wie allen anderen Korrespondenten auch, eine solche Aufnahme anzufertigen.

Hermetisch abgeriegelt und ungestört durch Blitzlichter und Auslösergeräusche konnten die Schülerinnen und Schüler ihrer schwierigen Arbeit nachgehen. So sieht es das internationale Reglement der IphO auch vor. Sicher zu recht, auch wenn manch einer der Fotoreporter von renommierten Tageszeitschriften unseres Landes seinem Ärger über diese Maßnahme deutlich Ausdruck gegeben hat, sind doch Aufnahmen von Menschen in Aktion die Krönung jeder Reportage.

tieren ?

Mahmoud Kazem, ein kleiner, achtzehnjähriger Kuweiti, den ich gleich nach der Klausur sprach, meint dazu:

"Bei dieser Olympiade vertrete ich mein Land. Ich tue es aus Pflichtgefühl gegenüber meiner Heimat, obwohl ich viele andere Pläne für den Sommer hatte."

"Macht dir Physik vielleicht deshalb Spaß, weil es dir leicht fällt, oder welche Gründe siehst du dafür ?"

"Ohne Zweifel gibt es immer Probleme. Wenn ich diese Probleme untersuchen und lösen kann, bin ich froh und fühle mich selbstbestätigt."

Der achtzehnjährige Amsterdamer Bas de Bakker meint anfangs scherzhaft: "Weil ich da eine freie Woche in Deutschland verbringen kann." Weiter berichtet er, daß ihm Physik in der Schule schon immer leicht gefallen ist und er später dieses Fach an der Universität in Amsterdam studieren will. 1990, so sagt er, werden die Niederlande Ausrichter der IPhO sein. Gastgeber ist dann die Stadt Groningen im Norden des Landes.

"Physik ist logisch und praktisch, man versteht, wie die Dinge vonstatten gehen.", erklärt Matthew Sorell aus Australien. Auf die Frage, ob ihm Physik leicht oder schwer fällt, erwidert er: "Nein, eigentlich nicht. Es ist nicht besonders schwer. Aber man muß gründlich nachdenken, um vieles zu verstehen. Ich finde das interessant."

Da die Olympiade sich aus einer Klausur und einer experimentellen Aufgabe zusammensetzt, frage ich den Siebzehnjährigen, was ihm besser liegt. "Ich glaube die Praxis. Physik ist praktisch. Theoretische Physik ist wie Mathe, alles theoretisch."

Gäste aus dem Ausland werden immer gern gefragt, welche Eindrücke sie in ihre Heimat mitnehmen. Besonders interessierten mich die Unterschiede zu den Herkunftsländern.

"Was mich natürlich beeindruckt hat, ist schon, daß es diese Unterschiede zwischen arm und reich, die ja in der Türkei sehr stark sind, daß es die hier nicht gibt. Das war es, was mich am meisten beeindruckt hat.", meint das türkische Mädchen Sennur Ulukus.

Die Italienerin Valentina Masotti sprach für viele, als sie mir erzählte: "Ich war erstens sehr beeindruckt von der Landschaft. Sie ist sehr abwechslungsreich und sehr, sehr schön. So grün und

so viele Wälder! Das andere, was mir aufgefallen ist, war die wundervolle Betreuung und die ausgezeichnete Organisation der Olympiade."

"Mir ist aufgefallen, daß sich die Städte von denen bei uns in der CSSR unterscheiden. In unserem Land gibt es kaum Unterschiede zwischen den Häusern in einer Stadt und hier finde ich viele verschiedene Baustile. Auch sind die alten Städte anders angelegt als bei uns. Die Architektur ist reichhaltiger." Soweit die Meinung von Katarina Kis Petikova. Stellvertretend für eine ganze Reihe von Teilnehmern sprach Panu Lehtovuori, ein Junge aus Finnland, als er sagte: "Ich möchte sagen, daß mir die Ruhe aufgefallen ist. Die Städte hier sind viel ruhiger. Das finde ich schön."

Die sich in diesem Jahre der männlichen Konkurrenz stellenden sieben Mädchen stellen eine Spitzenleistung in der Geschichte der IPhO dar. Ein weiteres Novum bildet die erstmalige Teilnahme einer Mannschaft aus dem arabischen Raum. Zu dieser Premiere gab die kuweitische Delegation noch eine Zugabe. Von fünf möglichen Startern waren drei Mädchen; das brachte kein anderes Land fertig.

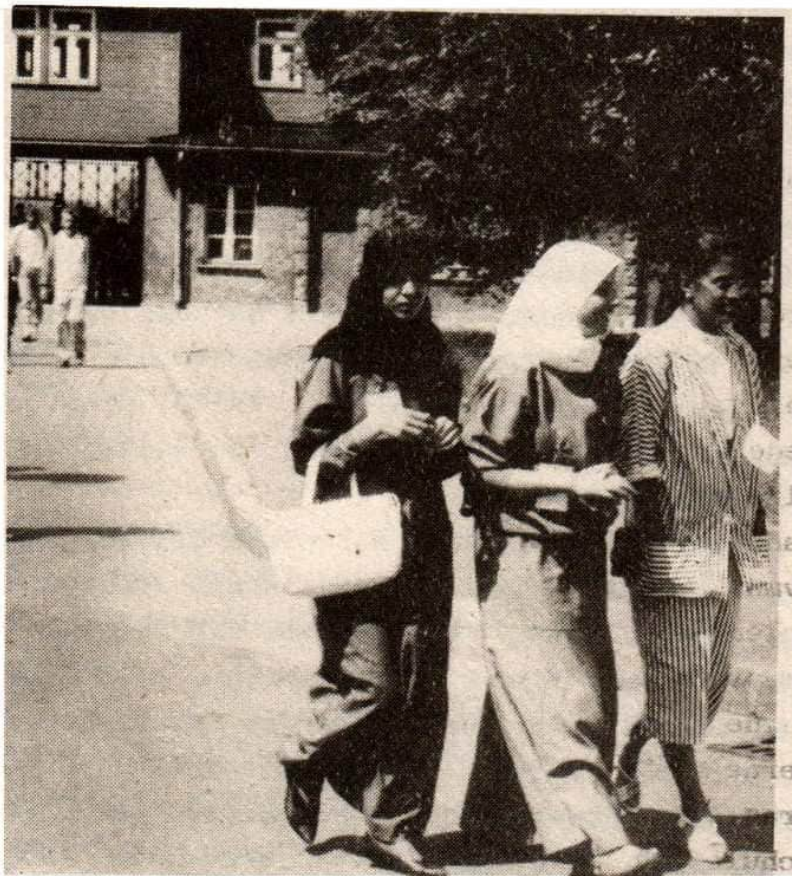


Abb.2: Mitglieder der kuweitischen Delegation nach einem Besuch der nationalen Mahn- und Gedenkstätte Buchenwald.

Durch die Fragen - Wie kamst du zur internationalen Physiko-olympiade? - und - Wie fördert man in eurem Land Talente? - erhoffte ich einiges über die Bildungssysteme der Heimatländer meiner Interviewpartner zu erfahren.



Bastiaan aus den Niederlanden erzählte, daß er über die landesweite Schulolympiade zur ersten Runde der zentralen Physikolympiade kam, an der die besten 400 Schülerinnen und Schüler teilnehmen. Die fünfzehn Besten dieser ersten Runde nehmen an einer weiteren Klausur teil, die über die Delegation zur internationalen Physikolympiade entscheidet, zu der jedes Land nur fünf Starter senden darf.

"Im Lehrplan der norwegischen Schule ist die Physik, wenn man es mit anderen Ländern vergleicht, nicht so stark enthalten. Eine

Abb.3: Bastiaan van de Bakker - Spezialisierung kommt erst später im

#### 1. Preisträger

Ausbildungsweg. Aber da mein Vater Ingenieur ist, kann ich ihn bei

Problemen auch fragen, wenn mir etwas nicht klar ist. Auf diese Weise habe ich vielleicht auch mehr mitbekommen, als die anderen in der Schule. Wie ich zur IPhO gekommen bin? Zuerst wird in jedem einzelnen Gymnasium ein Wettbewerb durchgeführt, zu dem alle kommen können, die teilnehmen wollen. Die 42 Besten aus dem ganzen Land kommen zum Finale. Insgesamt gibt es ungefähr 20000 Gymnasiasten und rund 500 haben teilgenommen." Das erzählte mir Erlend Rønnekleiv an einem Abend im Studentenklub "Rosenkeller". "Australien ist ein Bundesland. Die Handhabung ist in den einzelnen Ländern unterschiedlich. Ich komme aus Süd-Australien und lerne am St.Peters College.", leitet Matthew seinen kleinen Vortrag über Talentförderung in seiner Heimat ein. In der Oberschule (8.-12. Klasse) gibt es in verschiedenen Ausbildungsabschnitten Prüfungen, in deren Auswertung leistungsorientiert neue Klassen zusammengestellt werden. Außerdem gibt es ab der 10. Klasse eine Fachdifferenzierung.

Man kann sich über die Vor- und Nachteile von ausländischen Methoden der Talentförderung streiten. Die Erfolge von DDR-Teilnehmern bei internationalen Olympiaden in Physik, Mathematik, Russisch und Chemie sprechen eine deutliche Sprache für den in

unserem Volkssystem eingeschlagenen Weg.

Die XVIII. Physikolympiade wird allen Teilnehmern, Gästen und Organisatoren, auch mir, angenehm in Erinnerung bleiben.

Der Hauptnutzen einer solchen internationalen Veranstaltung liegt zweifellos in der Festigung internationaler Beziehungen und freundschaftlicher Kontakte zwischen den Ländern. Das zeigte sich auch in diesem Jahr ganz deutlich. Darüber hinaus bietet sie natürlich die Möglichkeit eines Vergleichs der Potenzen des eigenen Bildungssystem mit Konzepten aus dem Ausland, dient der Talentförderung und der Leistungsmotivation.

Dies alles aber kann den Hauptaspekt der Völkerverständigung nicht überdecken. Stellvertretend für viele, die diesen Standpunkt äußerten, sei hier Dr. Al Jassar, Betreuer der kuweitischen Mannschaft, genannt, der anlässlich eines Interviews mit "impuls 68" äußerte: "Ich möchte mich recht herzlich bedanken. Nicht nur für dieses Interview, sondern für alles, was ich hier erleben konnte.

Ich bin der Meinung, daß die gesamte Olympiade sehr gut organisiert war. Ihr Land hat sich große Mühe gegeben, alle Teilnehmer zufriedenzustellen und wir sind auch zufrieden.

Was die kuweitische Delegation betrifft, bin ich und auch die anderen Mitglieder unserer Delegation der Meinung, daß wir aufgrund der ausgezeichneten Beziehungen unseres Landes zu ihrem hervorragend betreut wurden. Ich kann ihnen versichern, daß auch die kuweitische Bevölkerung an der Vertiefung der Freundschaft zwischen unseren beiden Ländern interessiert ist. Vielen Dank und viele Grüße an die Leser ihrer Zeitschrift."



Abb. 4: Frank Klemm aus Gera war mit einem 2. Preis erfolgreichster Teilnehmer unserer Mannschaft, die noch drei 3. Preise erkämpfte.



## 1. Einleitung

Newton hat die Physik geprägt. Mit dem Erfolg deduktiv-theoretischer Denkweise hat die nach Newton benannte klassische Mechanik nicht nur die Grundlage der Berechenbarkeit und Konstruktion technischer Abläufe gegeben, sondern auch die Perspektive und das Ziel berechenbarer und konstruierbarer Zusammenhänge aus einheitlichen Ursachen für die verschiedenen Erscheinungen gesetzt. Der Aspekt des Notwendigen trat in den Naturwissenschaften in den Vordergrund. Mit dem deduktiven Aufbau der "Principia" hat Newton das Beispiel geschaffen, in dem wenige Gesetze (Axiome nennen wir sie heute) zur Zusammenfassung eines weiten Bereichs von Phänomenen genügen. Wir wollen im folgenden einige geometrische Aspekte dieses Aufbaus erläutern.

Axiome der Physik haben eine etwas andere Funktion als mathematische Axiome. Grob gesagt, genügt es bei den letzteren zunächst, die Widerspruchsfreiheit zu sichern (was nicht unbedingt ein einfaches Verlangen ist), während die Physik vor allem Anwendbarkeit, d.h. Zutreffen verlangt: Wir wollen die Axiome an der Natur überprüfen. Dies weist der Frage der Widerspruchsfreiheit den zweiten Platz zu: Was in der Natur realisiert ist, muß widerspruchsfrei sein. Daran ändert auch die Tatsache nichts, daß wir heute wissen, daß der Begriff des Widerspruchs mehr enthält, als die klassische Logik beschreiben kann.

Zwischen der formalen Gestalt der Axiome und ihrer Prüfung liegt immer der Vorgang der Interpretation, der Deutung in der nicht-formalisierten Natur. Es ist daher nicht verwunderlich, daß jeder Satz selbst viele Probleme enthält, deren wir uns erst bewußt werden, wenn wir auch die Interpretation analysieren.

Beginnen wir mit der Lex prima, dem ersten Axiom: "Ein Körper beharrt im gegebenen Zustand der gleichförmigen Bewegung, wenn

nicht äußere Kräfte diesen Zustand ändern [Corpus omne perseverare in Statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus illud a viribus impressis cogitur statum suum mutare]. Aber wie definieren wir den Zustand der Bewegung? Wie stellen wir das Fehlen von Kräften fest?

"Die Bewegungsgröße (wir schreiben heute "Impuls") ändert sich nach Maßgabe der Kraft, in der gleichen Richtung und Größe [Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressae, et fieri secundum lineam rectam qua vis ille imprimitur]", stellt das zweite Axiom fest. Definiert es nicht nur die Kraft?

"Jede Wirkung, die ein Körper auf einen anderen ausübt, ist entgegengesetzt gleich der Gegenwirkung, die von jenem auf ihn selbst ausgeübt wird [Actioni contrariam semper et aequalem esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse aequales et in partes contrarias dirigi]", sagt das dritte Axiom. Wir werden weiter unten sehen, daß dies der Schlüssel für die Interpretation und die Nachprüfung der ersten beiden ist.

## 2. Die Newtonschen Axiome

Das erste Axiom fixiert den entscheidenden Unterschied zur Physik des Aristoteles: Die Änderung der Geschwindigkeit und nicht die des Ortes (irdische Körper) oder die der Winkelgeschwindigkeit (Himmelskörper) bedarf eines hinreichenden Grundes. Worauf bezieht sich aber die Gleichförmigkeit der Bewegung? Diesem Bezugsobjekt einen Namen zu geben (Inertialsystem) löst das Problem nicht. Vielmehr definiert das erste Axiom dieses Inertialsystem selbst, weil es für alle kräftefreien Körper gilt. Wir können also mit drei Körpern verschiedener Geschwindigkeiten drei Koordinatenachsen für den Raumbezug und mit einer mechanischen Uhr (die wie die Lichtuhr der Relativitätstheorie mit Bewegungen kräftefreier Körper gedanklich konstruiert werden kann) die Zeit definieren. Für alle übrigen kräftefreien Körper wird das erste Axiom eine Bedingung, eine Bewegungsgleichung. Sie erzwingt geradlinig gleichförmige Bewegung in dem eben konstruierten Inertialsystem. Wir wollen hier auf weitere Feinheiten nicht eingehen, nur anmerken, daß das Inertialsystem bis jetzt noch keine metrische Struktur hat. Diese wird erst später durch die Definition der Masse gegeben.

Das zweite Axiom definiert zunächst die Kraft als Änderung einer

der Geschwindigkeit proportionalen Bewegungsgröße.

$$\Delta ( m v ) = F \Delta t \quad (1)$$

Wir messen sie durch die Beobachtung der Beschleunigung von Testkörpern, jedoch unter Reduktion der Beobachtungen mit dem Faktor Masse, wenn wir verschiedene Testkörper benutzen. Bei gleicher Kraft ist die Masse über die Beschleunigung zu messen, sie ist ihr umgekehrt proportional. Für einen Körper fester Konstitution ist die Masse zunächst ein unveränderlicher Parameter, der sich additiv aus der Masse der Bestandteile zusammensetzt. Für die Bewegung aller weiteren Körper wird das zweite Axiom wiederum zu einer Bedingung, einer Bewegungsgleichung - vorausgesetzt, die Kräfte haben die nötige Universalität. Diese Universalität ermöglicht gerade - das sei hier angemerkt - die Formulierung eines allgemeinen Gesetzes der Gravitation, des Standardbeispiels einer Kraft in der Mechanik zur Zeit Newtons. Merkwürdigerweise tritt gerade beim Schwerfeld der Fall ein, daß die träge Masse wegen der Proportionalität zur schweren Masse (d.h. zur Gravitationsladung) aus der Gleichung herausfällt und im Gravitationsfeld keine direkte Messung möglich wird.

Was geschieht nun aber mit Körpern, die nicht punktförmig sind, die sich bereits allein nicht geradlinig gleichförmig bewegen können, weil sie rotieren oder vibrieren? Wo bleibt die Wirkung der Kräfte, die diese Körper zusammenhalten? Auch dafür müssen die Axiome eine Grundaussage enthalten, gerade weil sie zunächst auf die Himmelskörper angewendet werden. Diese Aussage ist das dritte Axiom. Es läßt sich so umformen, daß der Begriff und die Kenntnis der inneren Kräfte nicht benötigt wird. Dann stellt es fest, daß die von äußeren Kräften freie Bewegung des Schwerpunkts eines Körpers oder Systems von Körpern geradlinig gleichförmig ist. Jedes System von Körpern ist ein Massenpunkt im Sinne des ersten Axioms, wenn nur die Bewegung des Schwerpunkts betrachtet wird und von der durch die inneren Kräfte beeinflussten inneren Bewegung abgesehen werden kann.

Das dritte Newtonsche Axiom spricht zwar über die Summe der inneren Kräfte, wird aber mit dem zweiten Axiom zur Gleichung

$$\Sigma \Delta ( m_a v_a ) = 0 \quad (2)$$

Das ist eine Bilanzgleichung für die Geschwindigkeiten  $v$ , die allerdings mit den trägen Massen  $m$  gewichtet werden müssen. Bei veränderlichen Massen kann Gleichung (1) also nicht in der Form

$$m \Delta v = F \Delta t$$

(2)

geschrieben werden. Das Produkt aus Masse und Geschwindigkeit nennen wir heute Impuls, und es ist die Grundgröße aller Mechanik.

Die Reduktion des 3. Newtonschen Axioms auf die Bilanzgleichung des Impulses ermöglicht die exakte Erfassung der Ergebnisse beliebig komplizierter Wechselwirkungen, sobald diese auf Grund der räumlichen Annäherung und Entfernung der Partner zeitlich begrenzt sind. Stellen wir uns zwei Körper vor, die zunächst weit voneinander entfernt sind und deren Impuls daher einzeln konstant bleibt. Bewegen sie sich aufeinander zu, werden die von ihnen erzeugten Kraftfelder (Schwerefeld, elektromagnetisches Feld) zu Kräften aufeinander führen, die die Bewegung oder auch die Konstitution der Körper verändern (sie können zerfallen oder auch verkleben, innere Energie freisetzen oder auch gewinnen). Danach bewegt sich alles wieder auseinander und alle Teile sind am Ende wieder kräftefrei. Ihre Impulse bleiben einzeln konstant, sie können vermessen und in die Bilanz aufgenommen werden. Bleibt die Konstitution der Körper fest, genügt außer dem Impuls auch die kinetische Energie einer Bilanzgleichung (elastischer Stoß). Bleibt die Konstitution nicht fest, werden kinetische Energie und innere Energie miteinander umgesetzt. Die Bilanz der kinetischen Energie hat also eine Lücke, die erst geschlossen werden kann, wenn die innere Energie einbezogen wird (unelastischer Stoß). Beim ideal unelastischen Stoß bildet sich ein gebundenes System, dessen Gesamtimpuls die Summe der Einzelimpuls ist und dessen innere Energie die kinetische Energie der Stoßpartner aufnimmt.

Das dritte Newtonsche Axiom besagt, daß die Geschwindigkeiten allein keine Bilanz ermöglichen. Eine Bilanz ergibt sich erst, wenn die Geschwindigkeiten mit einem Faktor gewichtet werden, den wir Masse nennen, genauer träge Masse. Ähnliche Gewichtungsfaktoren kennen wir aus Bilanzen in völlig anderen Bereichen, etwa als spezifische Wärmen, die aus der Mischungsregel für die Temperatur eine Bilanzgleichung für die Wärmemengen machen.

Zur Illustration wollen wir folgende Diagramme verwenden, die den zeitlichen Ablauf von Bewegungen in einer Dimension darstellen. Die Diagramme würden entstehen, wenn wir die Experimente an

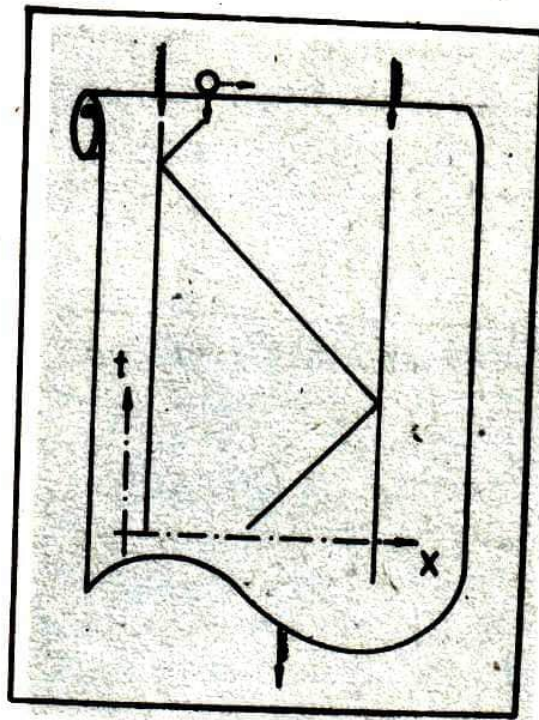


Abb.1

Abb.1: Das Ort-Zeit-Diagramm als Registrierung von Bewegungen

der Bewegung in einer horizontalen Rinne durchföhren, wobei die Bewegung auf einen Papierstreifen geschrieben wird, der nach unten gleichförmig weggezogen wird. Die Gleichförmigkeit wird u.a. daran geprüft, daß die kräftefreie Bewegung in der Horizontalen auf den Streifen gerade Linien zeichnet. In Abb.1 sind zunächst zwei Wände in Ruhe dargestellt, zwischen denen ein Körper hin und her pendelt und - bei kräftefreier Bewegung zwischen den Reflexionen - eine elementare mechanische Uhr darstellt.

Abb.2 zeigt den Stoß zweier Körper. Das dritte Axiom verlangt

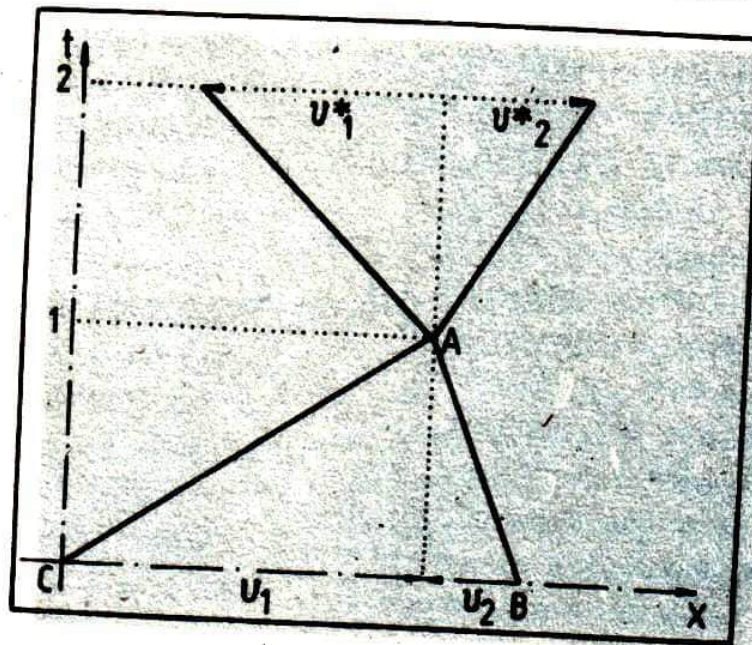


Abb.2

Abb.2: Ein Stoßdiagramm. Als Zeiteinheit ist die Zeitspanne zwischen Versuchsstart und Stoßereignis gewählt.

eine Bilanz des Impulses,

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1^* v_1^* + m_2^* v_2^* \quad (4)$$

Ändern sich die Massen nicht ( $m_1=m_1^*$ ,  $m_2=m_2^*$ ), so finden wir das Massenverhältnis

$$m_2 = - m_1 (v_1 - v_1^*) / (v_2 - v_2^*) \quad (5)$$

für die beiden Körper, das wir damit auch graphisch ermitteln können (Abb.3).

Dazu stellen wir die Strecken aus Abb.2 so um, daß die Summe der Geschwindigkeiten vor dem Stoß mit der Summe nach dem Stoß verglichen wird. Gleichheit ergibt sich, wenn an den Geschwindigkeiten des

Abb.3

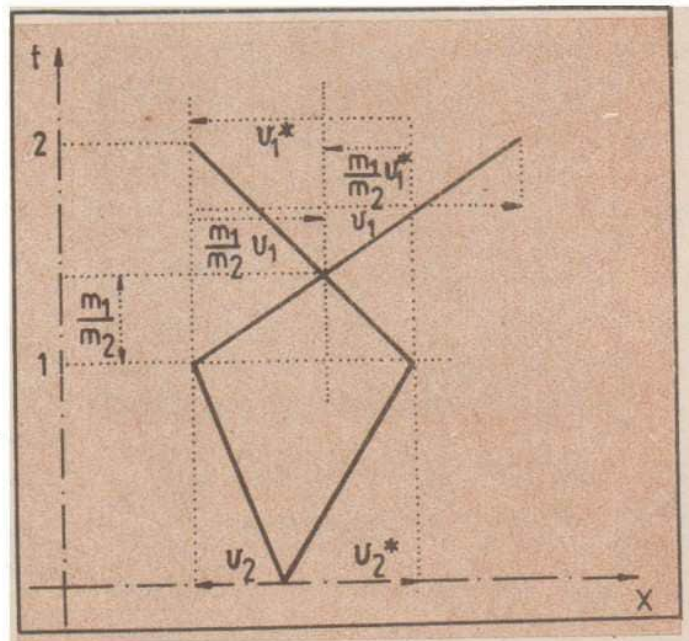


Abb.3: Der Impulssatz. Die Geschwindigkeiten vor und nach dem Stoß ergeben eine Bilanz, wenn die Geschwindigkeiten des ersten Körpers ein Gewicht  $m_1/m_2$  erhalten.

ersten Körpers das Gewicht  $m_1/m_2$  angebracht wird. Stoßen zwei gleiche Körper miteinander ideal unelastisch, bleibt der sich nach dem Stoß bildende Körper genau dann in Ruhe, wenn die Geschwindigkeiten vor dem Stoß entgegengesetzt gleich sind (Abb.4). Dies gibt uns Gelegenheit, die Lage der Ortsachse, d.h. der gleichzeitigen Ereignisse, aus den Axiomen abzuleiten (s. Abb.4). Die Gerade  $g$  ist dadurch definiert, daß das Diagramm des ideal unelastischen Stoßes zweier gleicher Körper zwei gleiche Strecken ( $CD=DB$ ) aus ihr herauschneidet. Wie sieht das aus, wenn das Diagramm nicht mehr symmetrisch ist, d.h. wenn wir von der Bedingung, daß das Stoßprodukt in Ruhe ist, absehen? Dann definiert das sich bewegende Stoßprodukt dieselbe Relation der Gleichzei-

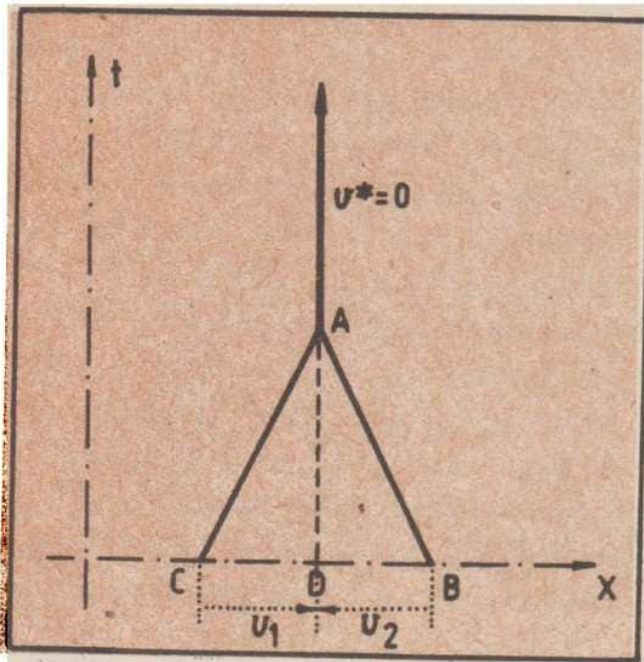


Abb.4

tigkeit nur in dem Falle, wenn die Masse der Objekte, deren Stoß im Diagramm aufgezeichnet ist, nicht von der Geschwindigkeit abhängt (Abb.5). Genau dann lassen sich die Strecken wie in Abb.5

Abb.4: Definition der Gleichzeitigkeit durch den ideal unelastischen Stoß gleicher Partner

bei Berücksichtigung der Masse des Stoßprodukts  $M = m_1 + m_2 = 2m$  so zusammensetzen, daß kein Schließfehler bleibt. Dies zeigt den entscheidenden Zusammenhang zwischen

der Geschwindigkeitsunabhängigkeit der Masse und der absoluten Gleichzeitigkeit, die in der Newtonschen Mechanik unterstellt ist. Letztere erfordert geschwindigkeitsunabhängige Massen, wenn der gesamte Aufbau unabhängig vom Bewegungszustand der Meßmaschinen (hier das

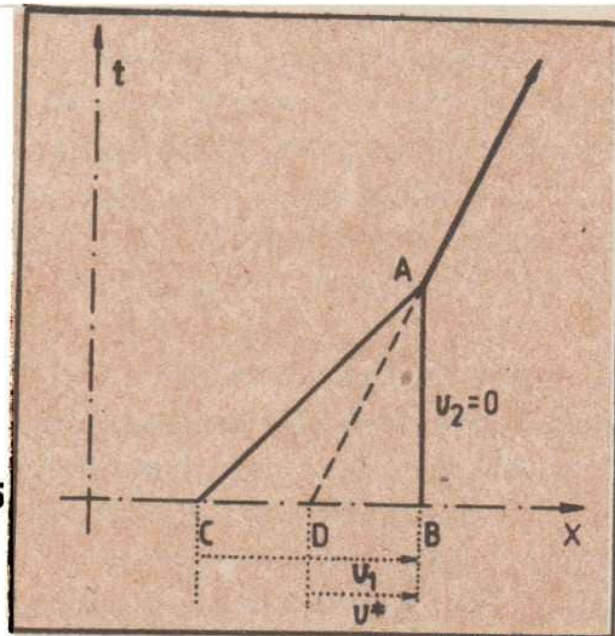


Abb.5

Abb.5: Absolute Gleichzeitigkeit bei geschwindigkeitsunabhängiger Masse

Stoßexperiment) oder des Bezugssystems (hier das Schreibgerät) sein soll. Diese Forderung nennen wir Relativitätsprinzip. Es sichert die Wahlfreiheit aller Konstruktionen (sprich Bezugssysteme), die mit der eigentlichen Bewegung, die beschrieben werden soll, nichts zu tun haben, und die nur die Beschreibung ermöglichen sollen. Deshalb ist es auch ein Prinzip, weil es diese Frage vor aller konkreten Mechanik klarstellt. Sein Zutreffen muß durch Experimente und Beobachtung geprüft und abgesteckt werden.

Im gleichen Atemzug folgt notwendig die additive Zusammensetzung der Geschwindigkeiten. Wir finden etwa den Übergang von Abb.4 in Abb.5, wenn wir zu allen Geschwindigkeiten unabhängig von ihrem Wert die Geschwindigkeit des finalen Objekts addieren. Die Relativität, d.h. die Unabhängigkeit der Form der Gesetze vom benutzten Inertialsystem, führt also auf die Äquivalenz von

- absolut definierbarer Geschwindigkeit
- additiver Zusammensetzung der Geschwindigkeiten
- Geschwindigkeitsunabhängigkeit der Massen.

Dieses Bild wird durch das Licht sowohl gestört als auch gerettet. Zunächst muß man erwarten, daß die Ausbreitung des Lichts doch ein Inertialsystem aus den anderen hervorhebt: Es ist dies das System der richtungsunabhängigen Ausbreitung. Jede Addition einer noch so kleinen Geschwindigkeit zerstört diese Richtungsabhängigkeit (Abb.6: bezogen auf das bewegte Objekt OA hat das eine Lichtsignal OC die Geschwindigkeit  $c_1$ , das in Gegenrichtung die Geschwindigkeit (OB)  $c_2$ ). Die Forderung  $c_1 + c_2 = 0$  ist nur in einem Bezugssystem erfüllt. Von einem bewegten Objekt aus gesehen müßte im allgemeinen

$$c_1 + c_2 = -2v \neq 0 \quad (6)$$

sein. Die Lichttheorie dürfte also dem Relativitätsprinzip zunächst nicht genügen, weil wir dieses eine Inertialsystem an Hand der Lichtausbreitung bestimmen können. Die Versuche der experimentellen Realisierung dieses Inertialsystems sind aber alle fehlgeschlagen. Sie lehren alle, der Michelson-Versuch an der Spitze, daß das Relativitätsprinzip nicht verletzt ist und die Richtungsunabhängigkeit in jedem Inertialsystem festgestellt wird.

Wegen der oben beschriebenen Äquivalenz schließen wir nun aus



Abb.6

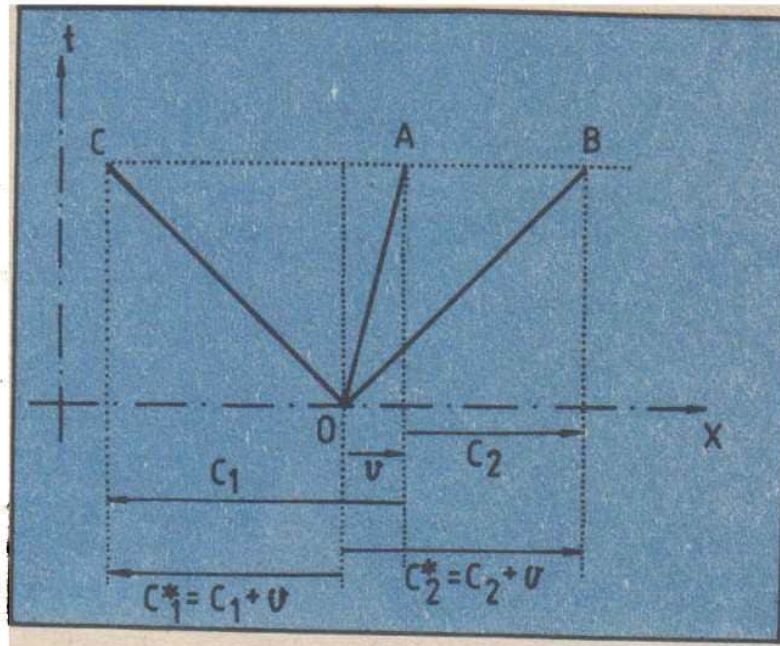


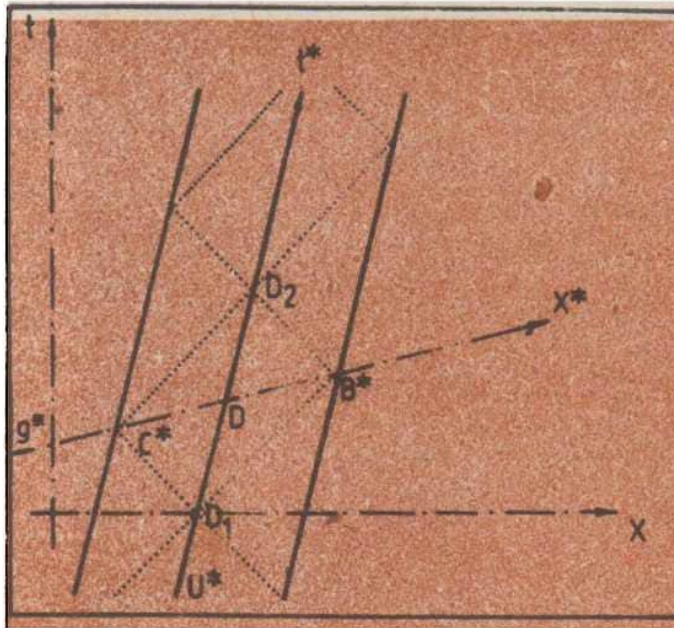
Abb.6: Absolute Gleichzeitigkeit heißt additive Zusammensetzung der Geschwindigkeiten. Ist  $c^*_1 + c^*_2 \neq 0$ , kann  $c_1 + c_2$  nicht gleich Null sein.

der notwendigen Konsistenz mit der Mechanik der Massenpunkte, daß das Relativitätsprinzip bei isotroper Lichtausbreitung in jedem Inertialsystem eine universelle Geschwindigkeitsabhängigkeit der Massen einschließt und eine absolute Gleichzeitigkeitsrelation ausschließt.

#### 4. Relativitätsmechanik

Mit der absolut isotropen Lichtausbreitung, können wir Uhren unabhängig von der Konstruktion des in Abb.4 skizzierten speziellen Stoßes vornehmen. Dazu lassen wir wie in Abb.1 Licht pendeln. Eine sich bewegende Uhr definiert dann eine andere Gleichzeitigkeit (Abb.7). Für eine im Bezugssystem der Registrierung ruhende Uhr sind die x-Achse und alle parallelen Geraden geometrischeörter gleichzeitiger Ereignisse, für die mit den drei ausgezogenen Registrierkurven und den pendelnden Lichtsignalen dargestellte Uhr dagegen g und die dazu parallelen Geraden. Wir können die Achsen  $t^*$  und  $x^*$  zur Konstruktion eines affinen Koordinatensystems nutzen, das als bewegtes Koordinatensystem anzusehen ist.

Abb.7

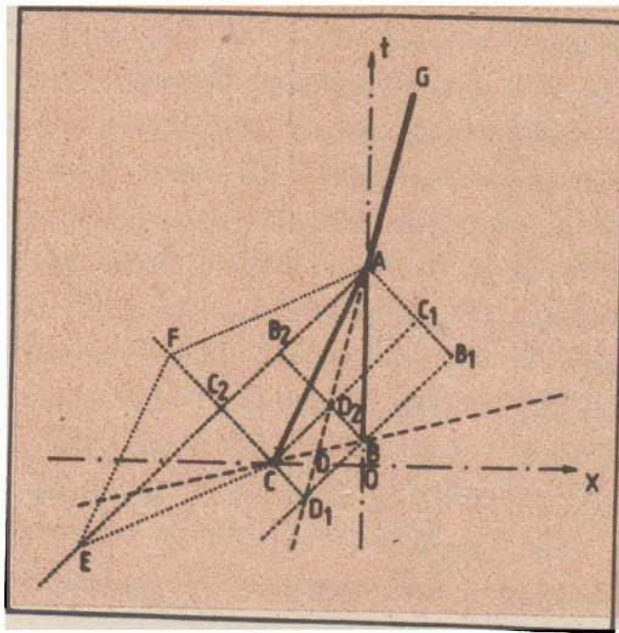


Das Relativitätsprinzip schließt ein, daß die Gleichzeitigkeitsdefinition mit der Lichtuhr identisch mit der durch den Stoß (Abb.2 und 3) definierten ist. Diese Bedingung liefert uns die universelle Geschwindigkeitsabhängigkeit der Masse. Dazu konstruieren wir den ideal unelastischen Stoß zweier Körper, wobei

Abb.7: Die bewegte Lichtuhr. Die an  $C^*$  und  $B^*$  gespiegelten, von  $D_1$  ausgehenden Lichtsignale treffen in  $D_2$  gleichzeitig ein. Daraus folgt für das Bezugssystem der Uhr, daß die Spiegelungsereignisse  $C^*$  und  $B^*$  gleichweit von  $D$  entfernt und gleichzeitig mit  $D$  sind.

der eine Partner vor dem Stoß ruhen soll (Abb.8). Die mit der Lichtuhr definierte Gleichzeitigkeit und die Halbierungsbedingung der durch den Stoß verlangten Gleichzeitigkeit verlangt, daß der bewegte Stoßpartner mit einer größeren Masse eingeht, obwohl er (bei gleicher Bewegung) völlig gleich dem anderen Partner ist (an Abb.2 ändert sich nichts). Zur Bestimmung der Geschwindigkeitsabhängigkeit der Masse wählen wir zunächst die Geschwindigkeit des Stoßprodukts, die von der Registriergerade  $AB$  gegeben wird.  $A$  ist das Stoßereignis,  $B$  das Starterereignis für den ruhenden Stoßpartner. Wir konstruieren die Registrierung der Lichtsignale, die bei  $B$  starten bzw. ankommen und finden  $D_1$  und  $D_2$ . Das Spiegelbild von  $B$  an  $AB$  erhalten wir durch die Registrierungen der anderen Lichtsignale durch  $D_1$  und  $D_2$ , die sich in  $C$  schneiden. Der Punkt  $C$  hat zwei Eigenschaften. Er stellt ein zu  $B$  im System des Stoßprodukts gleichzeitiges Ereignis dar, und die Registriergerade der Bewegung des Stoßprodukts halbiert die Verbindungs-

Abb.8



strecke BC. Damit muß CA die mit der bewegten Masse gewichtete Geschwindigkeit des zweiten Stoßpartners sein. Das Massenverhältnis kann nun elementargeometrisch berechnet werden und

Abb.8: Der ideal unelastische Stoß gleicher Partner ohne absolute Gleichzeitigkeit. Wie in Abb.7 konstruieren wir das Startereignis C für den zweiten Stoßpartner als gleichzeitig (im Bezugssystem AB) zu B und gleichweit von der geraden AB entfernt wie Ereignis B. Mit den Hilfslinien  $B_2A$  und  $C_1A$  erkennt man die Gleichheit  $CC_1 \cdot CC_2 = BB_1 \cdot BB_2$ . B und C liegen auf einer gleichseitigen Hyperbel mit dem Mittelpunkt in A und den Lichtsignalen  $C_1A$  und  $B_2A$  durch A als Asymptoten.

es ergibt sich

$$m(v)^2/m(0)^2 = 1/(1 - v^2), \quad (7)$$

wobei wir beachten, daß  $v$  die auf die Lichtgeschwindigkeit  $c$  als Einheit der Geschwindigkeit bezogen ist. Unter Berücksichtigung dieser universellen Geschwindigkeitsabhängigkeit der Masse behalten die Newtonschen Axiome unverändert ihre Bedeutung bis in die Relativitätstheorie hinein.

## 5. Mechanik und Geometrie

Die Linien auf unserem Registrierpapier sind Gebilde, deren metrische Beziehungen durch die registrierten mechanischen Zusammenhänge definiert werden. Wir haben bereits das Wort "Spiegelung" bei der Herleitung der Geschwindigkeitsabhängigkeit der Masse benutzt. Dies kann man ganz ernst nehmen und die Konstruk-

tion des Punktes C in den Abb.7 und 8 als Definition der Spiegelung der Ort-Zeit-Ebene an der Geraden durch D<sub>1</sub> und D<sub>2</sub> ansehen. Dann hat man die Bewegungen als Kombinationen solcher Spiegelungen zu konstruieren. Die Verbindungslinie zwischen Punkt und Spiegelbild müssen wir dann als "lotrecht" auf der spiegelnden Gerade ansehen und "rechte" Winkel entsprechend definieren. Man erhält also die pseudoeuklidische Geometrie der Raum-Zeit-Ebene mit all ihren merkwürdigen Analoga und Unterschieden zur euklidischen Geometrie. Ein Beispiel: In der pseudoeuklidischen Geometrie gibt es wieder einen Satz über die "Quadrate" auf den Seiten eines "rechtwinkligen" Dreiecks, nur ist jetzt die Differenz der "Quadrate" über den Katheten gleich dem "Quadrat" über der Hypotenuse (s. Alpha 4/79). Das "Quadrat" über AC in Abb.8 ist die Fläche ACEF. Ihr Inhalt definiert das Quadrat der pseudoeuklidischen "Länge" |CA|<sup>2</sup>:

$$\begin{aligned} |CA|^2 &= F(ACEF) = 2F(ACE) = 2 CC_2 CC_1 = (OA)^2 - (OC)^2 \\ &= CA_e^2 - CA_k^2 \end{aligned} \quad (8)$$

Diese Länge ist gleich der von BA, wenn diese Strecke nach der gleichen Formel ausgewertet wird (CA ist Spiegelbild von BA). Wir erkennen wieder die Gleichung (7) in der Form

$$m(0)^2 = m(v)^2 - (m(v) v)^2 \quad (9)$$

Die sogenannte Ruhmasse  $m(0)$  ist also die pseudoeuklidische Länge der mit der Masse gewichteten Registrierstrecke der Geschwindigkeit, d.h. der Betrag des Impulses, wenn wir jenem die Zeitkomponente  $m(v)$  zuschreiben. Dies könnten wir schon in der vorrelativistischen Mechanik tun, da auch für diese Impulskomponente ein Erhaltungssatz gilt (die Bilanz der Masse).

Wir wollen dies hier nicht weiter vertiefen, sondern nur den Satz vorbereiten, den Newton selbst im Vorwort des zweiten Bandes der Principia geschrieben hat, wenn er ihn auch zunächst nur für die Geometrie des Raumes gedacht hat und wir ihn hier für die Geometrie des Raumes und der Zeit demonstriert haben:

"Geometrie selbst hat ihre Begründung in mechanischer Praxis und ist in der Tat nichts anderes als derjenige Teil der gesamten Mechanik, welcher die Kunst des Messens genau feststellt und begründet [Fundatur igitur Geometria in praxi mechanica, et nihil est quam Mechanicae pars illa, quae artem mensurandi accurate proponit ac demonstrat]."

Dr. D. Hoffmann  
Institut für Theorie,  
Geschichte und  
Organisation der  
Wissenschaft der AdW  
der DDR  
Berlin

**GUSTAV HERTZ 1887-1975**  
**Zum 100. Geburtstag**  
**des deutschen Physikers**

Geschichte der  
Naturwissenschaft

Gustav Hertz nimmt in der Geschichte der modernen Physik einen zentralen Platz ein, der nicht nur durch die berühmten Elektronenstoß-Experimente (Franck-Hertz-Versuch) bestimmt wird; zugleich hat er mit einer Fülle weiterer Forschungen wichtige Beiträge zur Entwicklung der Experimentalphysik in unserem Jahrhundert geleistet. Diese reichen von der Gasentladungs- und Plasmaphysik, zu deren maßgeblichsten Pionieren er gehört, bis hin zur Kernphysik und -technik. Durch seine Schüler beeinflusste er zudem viele andere physikalische Forschungsgebiete -beispielsweise entstanden in seinem Siemens-Labor die Arbeiten von E.W. Müller zum Feldelektronenmikroskop.

Gustav Ludwig Hertz wurde am 22. Juli 1887 in Hamburg geboren. Das Vorbild seines Onkels, des Entdeckers der elektromagnetischen Wellen Heinrich Hertz, vor allem jedoch ein den Naturwissenschaften aufgeschlossenes Elternhaus entfachten bereits im Heranwachsenden ein großes Interesse für Mathematik und Physik: "mein Vater interessierte sich sehr für die Arbeiten seines Bruders und er hatte die Bedeutung der Naturwissenschaften erkannt. Das veranlaßte ihn, mich auf ein Realgymnasium zu schicken, in einer Zeit, in der allgemein noch der Besuch eines humanistischen Gymnasiums als der gegebene Weg zum Hochschulstudium galt. Ich besuchte das Realgymnasium des Johanneums in Hamburg, eine ausgezeichnete Schule, an der eine Reihe hervorragender Lehrer wirkten. Dort begeisterte ich mich für Mathematik und Physik, und schon lange vor dem Abitur war ich entschlossen, diese Fächer zum Gegenstand meines späteren Studiums zu machen."

Ostern 1906 legte er sein Abitur ab und begann in Göttingen (u.a. bei C. Caratheodory, D. Hilbert, O. Runge) Mathematik zu studieren. Nach zwei Semestern ging er nach München, wo ihn Arnold Sommerfeld und dessen Assistent Peter Debye endgültig für die Physik begeisterten. Vom Herbst 1908 bis zum Sommer 1911 studierte Gustav Hertz dann an der Berliner Universität Physik. Berlin war zur damaligen Zeit eines der Weltzentren physikalischer Forschung. so gab es an der Universität neben den berühmten und durch Hermann von Helmholtz begründeten physikalischen Institut noch das von Max Planck geleitete Institut für Theoretische Physik sowie das Institut für Physikalische Chemie unter Walter Nernst; hinzu kamen eine ganze Reihe von weiteren Forschungseinrichtungen, an denen ebenfalls Physiker in der einen oder anderen Form tätig waren und von denen die physikalische Reichsanstalt (Direktor: Emil Warburg) wohl die bedeutsamste war.

Wie Gustav Hertz wurden auch viele andere talentierte Physikstudenten von dieser fruchtbaren Atmosphäre angezogen, so daß zu seinen Berliner Kollegen Otto von Baeyer, James Franck, Otto Hahn, Lise Meitner, Walter Meißner, Robert Pohl, Peter Pringsheim, Erich Regener, Walter Schottky, Wilhelm Westphal und zahlreiche weitere später berühmt gewordene Naturwissenschaftler gehörten.

Am physikalischen Institut beschäftigte sich Gustav Hertz unter der Leitung des damaligen Direktors Heinrich Rubens mit Strahlungsmessungen des ultravioletten Absorptionsspektrums von Kohlendioxid bzw. Kohlensäure, worüber er auch im Frühjahr 1911 promovierte. Nachdem er die nötigen Prüfungen in experimenteller und theoretischer Physik sowie in Mathematik und Philosophie erfolgreich absolviert hatte, wurde er am 5. Juli 1911 mit dem Prädikat *magne cum laude* zum Doktor philosophiae (Dr. phil.) promoviert.

Auch nach der Promotion blieb G. Hertz in Berlin- zunächst als Hilfsassistent und ab 1914 auch als regulärer Assistent wirkte er bis 1920 am Physikalischen Universitätsinstitut.

In diese Zeit fallen auch seine wohl bekanntesten Untersuchungen, die als Franck-Hertz-Versuch in die physikalische Weltliteratur eingegangenen Elektronenstoßexperimente. Über ihr Zustandekommen berichtete Gustav Hertz, daß er bald nach seiner Promotion im Frühjahr 1912, mit dem um fünf Jahre Älteren James Franck, der sich gerade habilitiert hatte, in nähere Berührung kam und dieser ihm vorschlug, die von ihm seit längerer Zeit betriebene "Untersuchung der Wechselwirkung zwischen Elektronen und Gasmolekülen gemeinsam weiter zu führen ... Er war davon überzeugt, daß die Townsendschen Annahmen nicht richtig sein könnten, und daß es möglich sein müßte, die Gesetze der Zusammenstöße zwischen Elektronen und Molekülen unmittelbar zu untersuchen. Damit gab er unserer Arbeit die Richtung, welche in kurzer Zeit zum Erfolge führte."

Mit Atom- oder gar Quantenphysik hatten die Franck-Hertz'schen Untersuchungen zunächst also nichts zu tun, vielmehr ging es um die Aufstellung einer allgemeinen kinetischen Theorie der Elektronen in Gasen. Hierzu versuchte man in einer mit Edelgas gefüllten Gasentladungsröhre, die mittlere freie Weglänge der Elektronen und die Energieverluste beim Zusammenstoß von Elektronen und Gasatomen zu bestimmen. In diesem Zusammenhang wurden dann im Jahre 1913 auch jene Experimente konzipiert, die als Franck-Hertz'scher-Elektronenstoßversuch jedem Schüler bekannt sind: In einer triodenartigen Kathodenstrahlröhre werden die Elektronen durch ein veränderliches Feld beschleunigt. Treten bei kleineren Energien nur elastische Zusammenstöße auf, bei denen von den Elektronen praktisch keine Energie an ihre Stoßpartner abgegeben wird, so kommt es bei 4,9 Volt (und Vielfachen davon) zu unelastischen Stößen und die Elektronen verlieren fast ihre gesamte Bewegungsenergie, was sich in einem plötzlichen Stromabfall zeigt. Bei der theoretischen Deutung des überraschenden Effektes glaubten beide zunächst, daß es sich bei

den kritischen Spannungswerten lediglich um die Ionisierungsspannung des Quecksilbers handle und die gleichzeitig beobachtete Emission von Licht darauf hinweise, daß ein Teil der absorbierten Energie auch zur Lichtanregung diene - eine ähnliche Beobachtung hatten kurz zuvor und ebenfalls in Berlin (allerdings in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt) E. Gehrcke und R. Seeliger gemacht. Wegen der Quantennatur solcher Vorgänge erkannten J. Franck und G. Hertz zwar den unmittelbaren Zusammenhang zur Planckschen Quantenhypothese, doch daß ihr Versuch zugleich eine glänzende experimentelle Bestätigung der Grundannahmen des eben erst postulierten Bohrschen Atommodells war, begriffen sie und auch ihre Fachkollegen erst Jahre später. Die charakteristischen Spannungswerte lassen sich ohne weiteres als die Energien der Frequenzbedingungen des Bohrschen Atoms deuten.

Niels Bohr (1915) sowie J. Franck und G. Hertz (1919) haben diesen Zusammenhang dann näher ausgeführt, wobei Gustav Hertz einen beträchtlichen Teil seiner weiteren Forschungsarbeit auf die Verfeinerung und den Ausbau der Stoßanregungsexperimente widmete. Die fundamentale Bedeutung des Franck-Hertzes-Versuches wurde im Jahre 1926 mit der Verleihung des Physiknobelpreises an beide Forscher gewürdigt.

Der erste Weltkrieg hatte indes diese Forschungen zunächst unterbrochen und wohl auch dazu geführt, daß ihre Beziehungen zum Bohrschen Atommodell anfangs nicht bemerkt wurden. Gustav Hertz wurde eingezogen, wobei er zeitweilig Angehöriger der Giftgas-Einheit von Fritz Haber war. Im Jahre 1915 wurde er so schwer verwundet, daß er nach seiner Genesung nicht mehr an die Front zurückkehren brauchte, in einer funktechnischen Spezialeinheit seinen Dienst versah und sich zudem 1917 an der Berliner Universität mit einer Arbeit "über den Energieaustausch bei Zusammenstoß zwischen langsamen Elektronen und Gasmolekülen" habilitieren konnte. Diese Arbeit bildete zusammen mit den sich



aneschließenden Forschungen einen wesentlichen Ausgangspunkt für die moderne Entwicklung von Gasentladungs- und Plasmaphysik.

Die schlechte wirtschaftliche Lage nach dem ersten Weltkrieg in Deutschland und mangelnde Aussichten auf eine akademische Karriere ließen Gustav Hertz im Jahre 1920 ein vorteilhaftes Angebot der niederländischen Philips-Glühlampenfabriken annehmen. Im neugegründeten Forschungslaboratorium der Firma in Eindhoven führte G. Hertz seine Elektronenstoßversuche weiter, wobei die großzügigen Forschungsmöglichkeiten sowie der Einsatz von leistungsfähigen Methoden der industriellen Hochvakuumtechnik eine konsequente Verfeinerung der Versuchsbedingungen gestattete und zu qualitativ sowie quantitativ sehr viel mehr gesicherten Meßergebnissen führte - u. a. gelang ihm damals mit Hilfe der Elektronenstoßmethode die noch unbekanntenen Grundterme der Edelgase zu bestimmen.

Darüber hinaus begann er sich in Eindhoven auch mit Fragen der Reindarstellung von Edelgasen und der Trennung von Gasgemischen mittels Diffusionsverfahren zu beschäftigen. Wurden diese Untersuchungen zunächst nur unter dem Gesichtspunkt durchgeführt, industriell wirtschaftlichere Verfahren der Gewinnung von Argon, das man für die Glühlampen- und Leuchtstoffröhrenproduktion in großen Mengen benötigte, zu gewinnen, so führten diese Forschungen in den dreißiger und vierziger Jahren zur Entwicklung kerntechnischer Verfahren der Isotopentrennung.

Trotz der guten Arbeitsmöglichkeiten eines Industrielabors kehrte Gustav Hertz im Jahre 1926 ins akademische Leben zurück - das hohe gesellschaftliche Ansehen eines deutschen Universitätsprofessors und die relativ große Freizügigkeit bei der Wahl der Forschungsthemen ließen ihn einen Ruf als Physikordinarius der Universität Halle annehmen. Halle war indes nur Durchgangsstation, denn 1927 kehrte er in sein geliebtes Berlin zurück und übernahm das Direktorat des Physikinstituts der Technischen Hochschule Berlin-Charlottenburg. Im folgenden Jahrzehnt entfaltete er hier eine außerordentlich fruchtbare

Lehr- und Forschungstätigkeit, wobei er die Technische Hochschule durch die Zusammenarbeit mit solchen Kollegen wie dem Theoretiker R. Becker oder dem Physikochemiker M. Volmer zu einer erstklassigen Stätte physikalischer Forschung profilierte, die selbst dem traditionsreichen Physikinstitut der Universität den Rang ablief. Den äußeren Rahmen dafür bildete der 1931 eingeweihte Institutsneubau, der nahezu ideale Arbeitsbedingungen bot und das Hertzsche Institut zum modernsten und besteingerichteten Physikinstitut Deutschlands machte.

In einer Forschungsarbeit beschäftigte sich G. Hertz in dieser Schaffensperiode mit den Fragen der Gastrennung durch Diffusion in Diaphragmen sowie inströmendem Dampf. Hierbei entwickelte er die sogenannte Trennkaskade, die er zur Trennung von Neon- und Wasserstoffisotopen erfolgreich anwandte. Kaum ein Jahr später wurde dieses Verfahren dann in den USA zur großtechnischen Trennung der Uranisotope eingesetzt, und noch heute spielt es in der Kerntechnik eine wichtige Rolle.

Im Jahre 1935 mußte Gustav Hertz aus rassistischen und politischen Gründen seine Lehrtätigkeit aufgeben. Ein Angebot des Siemens-Konzerns annehmend, übernahm er Aufbau und Leitung eines speziell für ihn eingerichteten Forschungslabors. Mit einem Stab von etwa zwanzig Mitarbeitern, darunter gut die Hälfte Wissenschaftler, betrieb G. Hertz hier eine Forschungsarbeit, die sich mit grundlegenden und nicht unmittelbar anwendungsorientierten physikalisch-technischen Problemen beschäftigte. Das Spektrum der behandelten Fragen war ungemein breit gefächert und reicht von der Feldelektronenemission über Halbleiter- und Gasentladungsphänomene bis hin zum Ultraschall und Fotoeffekt.

Im Gegensatz zur Konzernführung und vielen seiner Berliner Wissenschaftlerkollegen hatte sich Gustav Hertz in den letzten Kriegstagen nicht in westliche Gebiete Deutschlands "abgesetzt", sondern war zusammen mit den meisten seiner Mitarbeitern im zerstörten und hart umkämpften Berlin geblieben. Unmittelbar

nach der Befreiung Berlins durch die Truppen der Roten Armee wurde Gustav Hertz durch Generaloberst A. P. Saweniagin die Einladung der sowjetischen Regierung überreicht, in die UdSSR überzusiedeln und dort seine Forschungsarbeiten fortzusetzen. Mit G. Hertz akzeptierten auch die meisten seiner Mitarbeiter die Einladung der Sowjetregierung und flogen am 13. Juni 1945 zusammen mit ihren Familienangehörigen von Berlin-Johanniethal nach Moskau. Über den Empfang in Moskau berichtet Gustav Richter, einer der damaligen Mitarbeiter von G. Hertz: " Hertz und seine Frau wurden mit einem großen, wunderschönen Blumenstrauß begrüßt und mit einem Regierungswagen abgeholt. Dieser unerwartet freundliche Empfang unmittelbar nach einem solch schrecklichen Kriegsgeschehen und die ausgezeichnete sanatoriumsartige Betreuung während der folgenden Wochen und Monate ist uns allen in unauslöschlicher Erinnerung geblieben - aber auch die etwas beunruhigende Frage, was dies alles wohl zu bedeuten habe-. An welchen Arbeiten wir in der Sowjetunion teilnehmen sollten, war uns ja noch immer unbekannt. Vage Andeutungen aus den Berliner Tagen besagten etwa zur einen Hälfte Kernphysik und zur anderen Hälfte die Physik, die wir bisher bearbeitet hatten.

Erst als wir am 9. August aus der "Prawda" von den Ereignissen in Hiroshima erfuhren, erinnerten wir uns schlagartig an längst vergessene Gespräche aus den Jahren 39/40 über die Uranspaltung, vor allem aber an die Hertzsche Diffusionskaskade zur Isotopentrennung, und wir ahnten, was unsere Aufgabe sein würde."

Die deutschen Gastwissenschaftler wurden so zu Partnern ihrer sowjetischen Kollegen bei der Brechung des amerikanischen Atombombenmonopols, so daß sich Gustav Hertz in den fast zehn Jahren seines Wirkens in der Sowjetunion vornehmlich mit Fragen der Weiterentwicklung seiner Isotopentrennmethode für kerntechnische Zwecke befaßte. Dazu hatte man in einem ehemaligen Sanatoriumskomplex des Kaukasus-Kurortes Agudseri ein leistungsfähiges Forschungsinstitut eingerichtet, das G. Hertz

und seine Mitarbeiter zusammen mit sowjetischen Kollegen im August 1945 bezogen.

Für seine wissenschaftlichen Arbeiten wurde Gustav Hertz im Jahre 1952 der Leninpreis zweiter Klasse verliehen, und im Jahre 1957 erhielt er von der Akademie der Wissenschaften der UdSSR, deren auswärtiges Mitglied er zudem 1958 wurde, die Euler-Plakette.

Zu diesem Zeitpunkt weilte G. Hertz aber schon nicht mehr in der Sowjetunion. Im Jahre 1954 kehrte er nach Deutschland, in die DDR, zurück und übernahm in Leipzig die Leitung des Physikalischen Instituts der Karl-Marx-Universität. Bis zu seiner Emeritierung im Jahre 1961 erwarb er sich große Verdienste um den Neuaufbau der physikalischen Forschung und Lehre in Leipzig und darüber hinaus im ganzen Land, wobei er zum Nestor der kernphysikalischen Forschung in der DDR wurde. Daneben arbeitete er in den verschiedensten wissenschaftlichen Gremien aktiv mit -so in der AdW der DDR als deren langjähriger Sekretär der Klasse für Mathematik, Physik und Technik. Als humanistisch gesinnter Wissenschaftler ist Hertz immer entschieden für die friedliche Anwendung der Kernenergie eingetreten. So trägt die bekannte Mainauer Erklärung der Nobelpreisträger aus dem Jahre 1955 seine Unterschrift, und als Vorsitzender des Wissenschaftlichen Rates für die friedliche Anwendung der Atomenergie beim Ministerrat der DDR hat er häufig die Gelegenheit genutzt, für den ausschließlichen Einsatz der Kernenergie zum Wohle der Menschheit einzutreten. In dieser Funktion war Hertz auch einer der Gründungsmitglieder des Vereinigten Instituts für Kernforschung in Dubna.

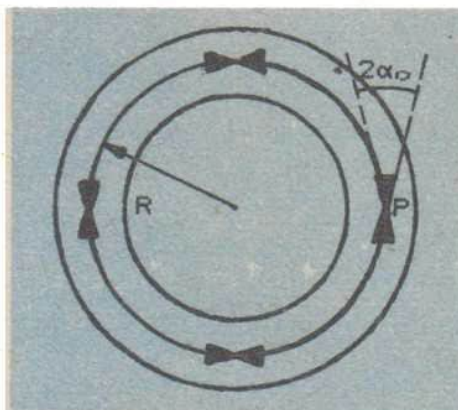
Als Gustav Hertz am 30. Oktober 1976 im Alter von 88 Jahren in Berlin verstarb, da vollendete sich das Leben eines Gelehrten, der maßgeblichen Einfluß auf die Entwicklung der modernen Atom- und Quantenphysik genommen hat und darüber hinaus Stil und Kultur der Physik unseres Jahrhunderts -nicht zuletzt durch den humanistischen Grundethos seiner Persönlichkeit- nachhaltig prägte.

# UNSERE PHYSIKAUFGABE



Im Zusammenhang mit unserem Bericht über die Internationale Physikolympiade stellen wir die übrigen Aufgaben der theoretischen Klausur vor (Aufgabe 1 wurde in Heft 5/87 veröffentlicht).

Von einer punktförmigen Quelle  $P$  aus tritt ein Elektronenbündel in das Magnetfeld  $B$  einer Ringspule (Toroid) in Richtung der Feldlinien ein. Der Öffnungswinkel des Elektronenbündels  $2\alpha_0$  sei klein ( $\alpha_0 \ll 1$ ). Die Injektion der Elektronen erfolgt auf dem mittleren Radius  $R$  des Toroids mit der Beschleunigungsspannung  $U_0$ . Es wird vorausgesetzt, daß der Betrag von  $B$  konstant ist. Die elektrostatische Wechselwirkung der Elektronen im Strahl ist zu vernachlässigen.



## 2. Aufgabe

- Um das Elektronenbündel im Toroidfeld zu führen, ist ein homogenes magnetisches Ablenkkfeld  $B_z$  erforderlich. Berechnen Sie  $B_z$  für ein Elektron, das sich auf einer Kreisbahn mit dem Radius  $R$  in der Ringspule bewegt.
- Im Toroidfeld sollen 4 Fokussierungspunkte durchlaufen werden, die jeweils um  $\pi/2$  versetzt sind. Berechnen Sie  $B$ !  
*Hinweis:* Bei der Betrachtung der Elektronenbahnen darf von der Krümmung des Magnetfeldes abgesehen werden.
- Ohne Ablenkkfeld  $B_z$  verbleibt das Elektronenbündel nicht im Toroid, sondern verläßt dieses mit einer systematischen Bewegung (Drift) senkrecht zur Toroidenebene.

- a) Zeigen Sie, daß die radiale Abweichung der Elektronen vom Injektionsradius  $R$  endlich ist!
- b) Geben Sie die Richtung der Driftgeschwindigkeit an!
- Hinweis:* Der Öffnungswinkel des Elektronenbündels ist zu vernachlässigen. Nutzen Sie die Erhaltungssätze für Energie und Drehimpuls!

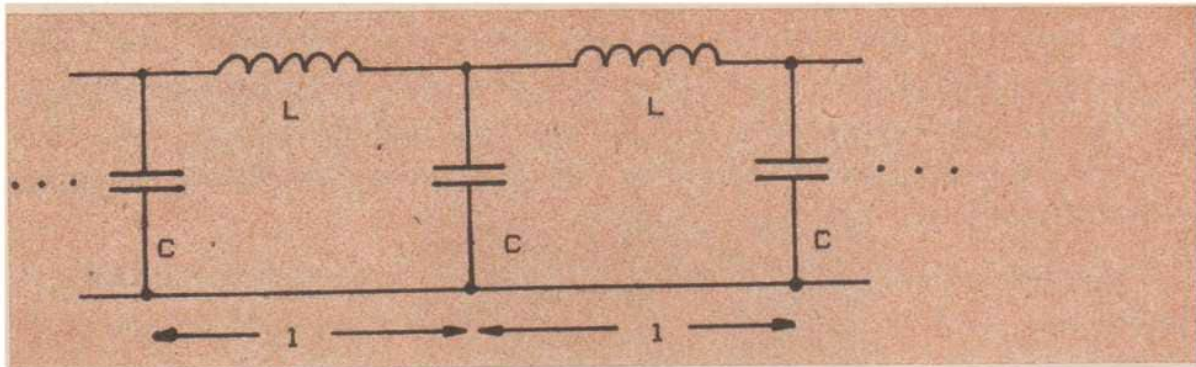
Daten:  $e/m = 1,76 \cdot 10^{11}$  C/kg

$U_0 = 3$  kV

$R = 50$  mm

### 3. Aufgabe

Bei der Ausbreitung sinusförmiger Wellen im unendlichen LC-Gitter (siehe Skizze) unterscheidet sich die Phase der Wechselspannung zweier aufeinanderfolgender Kondensatoren um  $\psi$ .



- a) Bestimmen Sie, wie  $\psi$  von  $\omega$ ,  $L$  und  $C$  abhängt! ( $\omega$  - Kreisfrequenz der Wechselspannung)
- b) Bestimmen Sie die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen, wenn die Zellenlänge  $l$  beträgt!
- c) Unter welcher Bedingung hängt die Ausbreitungsgeschwindigkeit nur schwach von  $\omega$  ab, und wie groß ist dann die Geschwindigkeit?
- d) Schlagen Sie ein einfaches mechanisches Modell vor, das zu dem obengenannten LC-Gitter analog ist und leiten Sie die Beziehungen her, die die Gültigkeit des Modells bestätigen.

Formeln und Daten:

$$\cos \alpha - \cos \beta = -2 \cdot \sin[(\alpha + \beta)/2] \cdot \sin[(\alpha - \beta)/2]$$

$$\sin \alpha - \sin \beta = 2 \cdot \cos[(\alpha + \beta)/2] \cdot \sin[(\alpha - \beta)/2]$$

# Wissenswertes:

## SENSATIONELLE SUPRALEITUNG (URANIA 7/87)

Seit im Jahre 1911 der Effekt der Supraleitung, d.h. der abrupten Verringerung des elektrischen Widerstands bei sehr tiefen Temperaturen, durch Kamerlingh Onnes (Nobelpreis 1913) am mit flüssigem Helium (4,2 K) gekühlten Quecksilber entdeckt wurde, ist man auf der Suche nach neuen Materialien, bei denen die Supraleitung schon bei höheren Temperaturen einsetzt. Dafür sind der relativ hohe Preis flüssigen Heliums (zehnmal teurer als flüssiger Stickstoff,  $T=77$  K) und der technische Aufwand zur Realisierung super-tiefer Temperaturen maßgebend. Die Nutzungsmöglichkeiten der Supraleitung sind vielsprechend und reichen vom Bau starker Magnete, der Schaffung hochempfindlicher Detektoren über die verlustlose Energieübertragung bis zur Rechentechnik. Die breite Anwendung wurde bislang durch die hohen Anforderungen an die Kryotechnik verhindert.

Bis 1973 gelang es, die kritische Temperatur, bei der die Supraleitung einsetzt, alle drei Jahre nur um 1 K zu erhöhen, so daß bis dahin der Rekord bei 23 K stand. Seitdem gab es bis 1986 keinen wesentlichen Fortschritt, als Georg Bednorz und Alex Müller vom IBM Laboratorium in Zürich über Supraleitung bei 30 K berichteten. Noch waren die Skeptiker nicht überzeugt, hatten sich doch vorherige Meldungen anderer Gruppen als falsch erwiesen. Wissenschaftlern aus Tokio gelang es jedoch, die Struktur der supraleitenden Verbindung (vom Typ eines geschichteten Perovskits) aufzuklären und die Messungen nachzuvollziehen. Seitdem wandten sich viele Forschergruppen dieser Materialgruppe zu. Ein Team der Bell Laboratories (Holmdel, USA) stellte Supraleitung bei 40 K fest und im Februar dieses Jahres gelang es zwei Forschergruppen, bereits bei 90 K Supraleitung zu beobachten. Mit der Überschreitung der Siedetemperatur flüssigen Stickstoffs wurde eine Schallmauer der Supraleitung durchbrochen. Erste supraleitende Proben der neuen Materialien wurden in DDR-Instituten ebenfalls hergestellt.



**Klaus Friedrich/Günter Meyer:**

**„Astronomie und Raumfahrt“**

**Volk und Wissen Verlag Berlin, 1. Aufl. 1986, 168 S., 161 Abb.,**

**Bestell-Nr. 7092088, Preis: 4,90 M**

Kurz bevor unser Kollege Klaus Friedrich, der mehrjährige Mitarbeiter der Archenhold-Sternwarte Berlin, aus dem Leben schied, stellte er zusammen mit Dr. Klaus Lindner und dem Diplompädagogen Günther Meyer ein wertvolles Buch fertig: "Astronomie und Raumfahrt", ein vom Ministerium für Volksbildung bestätigtes Lehrbuch für den fakultativen Kurs nach Rahmenplan. Nicht nur diejenigen Lehrer und Schüler werden gern zu dieser Schrift greifen, die sich außerunterrichtlich mit der Astronomie beschäftigen, sondern auch Oberschüler und Studenten, deren Interesse für die Himmelskunde bzw. die Raketentechnik nach der 10. Klasse noch nicht erloschen ist.

Eingearbeitet ist die früher im fakultativen Kurs gebräuchliche Schrift "Astronautik" (gleicher Verlag). Darüberhinaus haben sich die Autoren erfolgreich bemüht, das ABC der Fernrohrbeobachtungen mit kleinen Instrumenten sowie der Himmelsfotografie anschaulich und leicht faßlich darzubieten. Als besonders wertvoll darf die methodische Aufbereitung schwerpunktmäßig ausgewählter Lehrstoffe aus dem Unterrichtsprogramm betrachtet werden, kommt sie doch dem künftigen Rahmenprogramm entgegen, welches mit Beginn des Schuljahres 1988/89 für die 9. und 10. Klassen verbindlich eingeführt wird.

Die einzelnen Kapitel sind so abgefaßt, daß Leser, die die 10. Klasse absolviert haben, ohne besondere Führung dem Buch folgen können. Inhaltlich gliedert es sich in folgende Kapitel: 1. Grundlagen, 2. Beobachtungstechnik, 3. Visuelle Beobachtungen, 4. Fotografische Himmelsbeobachtung, 5. Grundlagen der Raumfahrt.

Jedem dieser Abschnitte ist ein Komplex von "Fragen und Aufträgen" angefügt, die dem Benutzer des Buches helfen werden zu erkennen, wie tief er in die Materie eingedrungen ist. Die enge Praxisbezogenheit ist besonders positiv hervorzuheben.

Wolfgang König

Schul- und Volkssternwarte Suhl