

Informationsblätter zur Fortbildung  
von Lehrern an Höheren Schulen

Herausgeber:  
Arbeitsgemeinschaft der Physiklehrer an  
den Höheren Schulen Wiens

# Wissenschaftliche Nachrichten

Gewidmet vom  
**HAUPTVERBAND DER ÖSTERREICHISCHEN SPARKASSEN  
VON DER ERSTEN ÖSTERREICHISCHEN SPAR-CASSE  
UND DER ZENTRALSPARKASSE DER GEMEINDE WIEN**

**Nr. 9 - September 1965**

## Inhalt:

### MATHEMATIK

*Trägerische Anschauung*

### PHYSIK, ASTRONOMIE

*Versuch einer Synthese organischer Hochtemperatursupraleiter  
Thermolumineszenz — ein neues Hilfsmittel der Geologie  
Molekularsiebe  
Extreme Magnetfelder  
Wasser und Schwefel unter extremem Druck  
Gaslinsen  
Doch keine fünfte Naturkraft?  
Ergebnisse der Neutrinoexperimente bei CERN  
Massenbestimmung von Galaxien  
Beobachtung von irregulären rasch veränderlichen Sternen  
Radarecho von Mars und Jupiter  
Holländisches Radioteleskop als ausgedehntes Antennensystem  
Sterndatierung mittels Lithium?  
Untersuchung der primären Höhenstrahlung vom Satelliten  
IMP-1 aus  
Neue Testmöglichkeit zur Überprüfung der allgemeinen Relativitätstheorie  
Der fernste Quasar  
Erste Ansätze zur Neutrinoastronomie  
Aus der Mondforschung  
Genaueres über das Radioteleskop in Arecibo  
Simulation von Nebel- und Sternspektren*

*Die Eigendrehdauer von Pluto  
Kompakte Galaxien  
10-Jahres-Plan der US-Astronomie*

### CHEMIE

*Protonenzustände in der Chemie  
Die Massenspektrometrie organischer Verbindungen  
Elastomere Fasern  
Synthetische Quarzkristalle  
Chemische Synthese und Biosynthese von codierenden Nucleinsäuren*

### WIRTSCHAFTS- UND SOZIALGEOGRAPHIE WIRTSCHAFTSINFORMATIONEN

*Eine alpine Bergbaulandschaft (Erzberg/Steiermark)  
Die österreichische Buntmetallwirtschaft  
Die Eisenerz- und Koksversorgung in den Ländern der Montanunion  
Eine neue Karte des Metallbergbaues  
Sparen und Konsumieren*

### Vorschau auf den Inhalt der nächsten Folge:

*Neuartige cyclische Verbindungen  
Methoden der Polymerchemie  
Synthese von Cholesterin und Fettsäuren im Organismus  
Mögliche Geometrien  
Die Bausteine der Materie  
Nachweis von Wasserdampf und Eiskristallwolken in der Venusatmosphäre*

## MATHEMATIK

Dr. Walter Kranzer

### Trägerische Anschauung

Für die Mathematik war seit jeher die Klarheit und Unentrinnbarkeit der Beweisführung charakteristisch. Kein Wunder, daß immer wieder große Männer ihre philosophischen Systeme „more geometrico“ aufzubauen versuchten. Die „Ethik“ des Spinoza ist ein Beispiel für dieses Bestreben. Dennoch ergab sich selbst in der Mathematik immer wieder die Notwendigkeit, aus den Beweisen Elemente der Anschauung zu eliminieren. Manchmal steckten sie an verborgener Stelle, manchmal lagen sie zwar klar zu Tage, waren aber als scheinbare Selbstverständlichkeiten so tief in unsere Denkgewohnheiten ein-

gedrungen, daß sie nicht erkannt wurden. Die Entlarvung ihrer Wertlosigkeit für den Beweisgang war oftmals das Ergebnis eines jahrhundertlangen Ringens, das schließlich zu beachtlichen Fortschritten führte. Die Nichteuklidische Geometrie belegt diese Behauptung in grandioser Weise. Durch zwei Jahrtausende — von Euklid, der um 300 v. Chr. lebte, bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts — wurde die Auffassung, durch einen Punkt gäbe es zu einer Geraden stets und nur eine Parallele, für eine aus den übrigen geometrischen Grundaussagen ableitbare Folgerung gehalten. Das, obwohl sie allen Beweisversuchen der bedeutendsten Mathematiker widerstanden hatte.

Erst vor ungefähr 140 Jahren entwickelten Bolay, Lobatschewskij und Gauß unabhängig voneinander

eine Nichteuklidische Geometrie. Etwa 50 Jahre später gelang es Cayley, F. Klein und Poincaré, geometrische Modelle zu finden, für die der vorstehende Satz nicht gilt. Er konnte daher unmöglich eine Konsequenz der anderen Axiome sein. Die Wirkungen dieses ersten ganz großen Unmöglichkeitbeweises der Mathematik waren gewaltig. Vor allem schärfte er das kritische Auge des Forschers, er machte aber auch den Ruf nach völliger Exaktheit der Beweismethode unüberhörbar, von seiner geistesgeschichtlichen Bedeutung ganz zu schweigen. Cauchy, Bolzano, Dedekind, Weierstraß, Peano, Zermelo sind die Namen der Männer, welche im vorigen Jahrhundert die Mathematik auf eine exakte Grundlage stellten. Das war auch dringend nötig, denn die Einführung der Differentialrechnung am Ende des 17. Jahrhunderts hatte eine stürmische Entwicklung herbeigeführt, bei der sich naturgemäß manches einschlich, was logisch nicht in Ordnung war. Die kritische Sichtung wurde auch durch die heftigen Angriffe von — sachlich oft höchst mangelhaft legitimerter — philosophischer Seite beschleunigt.

Der logische Reinigungsprozeß erzwang die Einführung zahlreicher neuer Begriffe, ohne die eine einwandfreie Beweisführung undurchführbar ist. Dem Hochschüler der ersten Semester versetzen diese Begriffe in argen Schrecken, er erblickt in ihnen überflüssige Spitzfindigkeiten. Das ist verständlich, weil dem jungen Hörer gleich die Endergebnisse einer langen Entwicklung — überdies in elegantester Darstellung — zusammengedrängt auf den kurzen Zeitraum einer Vorlesung, vorgesetzt werden. Einer Entwicklung, die oft genug auch von den schärfsten Denkern nur mit Mühe bewältigt wurde.

Aus diesen Gründen sollen nun einige Tatsachen aufgezählt werden, die geeignet sind, den Glauben an die Verlässlichkeit der Anschauung gründlich zu erschüttern.

**1. Nicht zerstückende Rückkehrsnitte.** Ein Rückkehrschnitt entsteht durch Aufschneiden einer Fläche längs einer geschlossenen Kurve. Er kehrt zu dem Punkt zurück, von dem er seinen Ausgang nahm. Jede Ebene wird durch einen Rückkehrschnitt in zwei Teile zerlegt, zwischen denen keinerlei stetige Verbindungslinie besteht, die den Rückkehrschnitt nicht trifft. Die Ebene wird zerstückt. (Der Beweis dieses Satzes ist gar nicht so einfach!) So oft wir ein Loch aus einem Stück Papier oder Stoff schneiden, haben wir einen zerstückenden Rückkehrschnitt angebracht.

Wie harmlos und überzeugend würden sich daher in einem Beweisversuch die folgenden Worte ausnehmen: „Wir zeichnen auf der Fläche eine geschlossene Kurve. Sie zerlegt die Fläche in zwei getrennte Gebiete. Von einem derselben kann man — ohne die Fläche zu verlassen — nur nach Überschreiten der erwähnten Kurve in das andere gelangen...“ Damit wird stillschweigend vorausgesetzt, daß auf Flächen nur zerstückende Rückkehrsnitte existieren. Das ist aber nicht richtig, und alle Folgerungen aus der falschen Behauptung sind unzulässig. Wie gleich gezeigt werden soll, gibt es nämlich Flächen mit nicht zerstückenden Rückkehrsnitten.

Es ist nicht schwierig ein geeignetes Beispiel zu finden, wir haben es in jedem Autoreifen vor uns, der nichts anderes ist als ein vergrößerter Kreistorus. Schneidet man ihn entlang der Felge auf, so zerfällt er keineswegs in zwei getrennte Teile, obwohl der Schnitt längs einer geschlossenen Kurve geführt wurde. Ebenso gut könnten wir ihn quer zur Achse aufschneiden, so wie ein Wurstkranz halbiert wird. Der Effekt bliebe derselbe, es entstehen keine zwei Teile. In beiden Fällen handelt es sich um nicht zerstückende Rückkehrsnitte. Allerdings, ist einmal ein solcher auf dem Torus angebracht, kann kein weiterer hinzugefügt werden. Auf dem Torus ist die Maximalzahl gleichzeitig möglicher nicht zerstückender Rückkehrsnitte 1. Diese Maximalzahl heißt das Geschlecht der Fläche. Der Torus hat somit das Geschlecht 1. Ebene, Kugel, Zylinder haben hingegen das Geschlecht 0, jede geschlossene Kurve zerlegt sie in zwei getrennte Gebiete.

Der eingangs erwähnte Fehlschluß erwächst aus der gedankenlosen Übertragung der Verhältnisse in der Ebene auf andere, unserer Anschauung weniger geläufiger Flächentypen.

Es ist sogar leicht möglich, zu jeder natürlichen Zahl  $n$  eine Fläche vom Geschlecht  $n$  zu konstruieren. Für diesen Zweck genügt die Anfügung von  $n$  (natürlich hohlen) Henkeln an eine Kugelfläche, wie dies Abb. 1 für den Fall

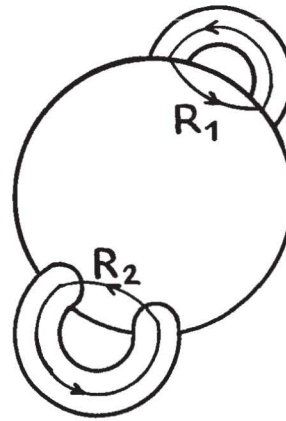


Abb.1

$n=2$  darstellt. Die mit Pfeilen versehenen geschlossenen Kurven  $R_1, R_2$  sind die zwei simultan existierenden nicht zerstückenden Rückkehrsnitte. Jeder von ihnen verläuft teilweise entlang einer Henkelröhre, teilweise auf der Kugelfläche.

**2. Einseitige Flächen.** Jedes Ding hat nach dem Sprichwort zwei Seiten, also wohl auch Flächen. Das Zeitungsbild ist auf beiden Seiten bedruckt, und nach längerem Gebrauch ist das Tischtuch auf einer Seite nicht mehr rein. Will man von einer Seite auf die andere gelangen, ohne die Fläche zu verlassen oder zu durchstoßen, so ist das nur nach Überschreiten des Randes möglich. Bei einer Kugelfläche geht das überhaupt nicht, weil sie keinen Rand besitzt. Aus diesem Grunde ist es berechtigt, von einem zweiseitigen Flächenstück zu sprechen, obwohl dieses Attribut jeder Fläche zuzukommen scheint. Doch wieder sieht die Wirklichkeit anders aus.

Man nehme einen rechteckigen Papierstreifen, halte ein Ende fest, verdrille das zweite um  $180^\circ$  (oder  $3.180^\circ, 5.180^\circ, \dots$ ) und klebe nun die beiden Enden zusammen. Es hat ganz im Gegensatz zu einem unverdrillt zusammen geklebten Rechteck — nur eine Seite und einen Rand. Das heißt 2 Punkte des Randes können stets längs des Randes, 2 innere Punkte stets durch eine den Rand überall meidende stetige Kurve verbunden werden. Beginnt jemand das Band zu bemalen, so findet er sich bei seiner Tätigkeit alsbald (nach einer Umrundung) auf der scheinbar anderen Seite des Punktes, in dem die Arbeit begonnen wurde. Noch eine Umrundung bringt ihn zum Ausgangspunkt zurück. Die dergestalt erzeugte einseitige und einrändrige Fläche ist das Möbiussche Band.

Das Geschlecht des Möbiusschen Bandes ist 1. Wird es nämlich längs der Mittellinie aufgeschnitten, so zerfällt es nicht in zwei getrennte Streifen, sondern verwandelt sich in ein Band doppelter Länge, das aber um zweimal  $180^\circ$  verdrillt ist. Die Mittellinie ist somit ein nicht zerstückender Rückkehrschnitt. Das neue Band besitzt jedoch 2 Seiten und 2 Ränder und das Geschlecht 0. Ein nochmaliges Aufschneiden entlang seiner Mittellinie erzeugt zwei selbständige Bänder, die unlösbar miteinander verknotet sind.

Während bei zweiseitigen Flächen wie der Ebene oder der Kugel von der äußeren und inneren Normalen gesprochen werden kann, verliert diese Unterscheidung bei einseitigen Flächen ihren Sinn. Durch bloßes Verschieben der Flächennormale kann sie in eine Normale mit entgegengesetzter Orientierung übergeführt werden!

Denken wir uns das Möbiussche Band mit 2-dimensionalen Lebewesen bevölkert, die auf ihm herumwandern. Sie würden nach der Rückkehr von einer Weltreise, die sie einmal um das Band herumgeführt hat, an sich seltsame Veränderungen wahrnehmen.

Die Zeiger ihrer 2-dimensionalen Uhren würden nicht mehr in der gewohnten, sondern in der entgegengesetzten Richtung über das Ziffernblatt streichen. Die Änderung des Uhrzeigersinnes geht auf eine Vertauschung von links nach rechts zurück. Sie macht gleichzeitig aus dem Rechts- einen Linkshänder, dessen Herz nicht mehr links schlägt,

sondern — endlich! — auf dem rechten Fleck sitzt. Natürlich liegen sämtliche Organe seitenverkehrt. Kein Flächenarzt könnte die seltsamen anatomischen Veränderungen rückgängig machen. Erst der Mathematiker würde durch Empfehlung einer nochmaligen Weltreise den alten Zustand wieder herstellen.

**3. Nicht erreichbare Randpunkte.** In der Ebene versteht man unter der  $\epsilon$ -Umgebung eines Punktes P das Innere eines Kreises mit dem Mittelpunkt P und dem Radius  $\epsilon$ . Eine geschlossene Kurve C, die sich nirgends überschneidet, teilt die Ebene in zwei Gebiete: das Innere und das Äußere von C. Die Kurve selbst ist der Rand der zwei Gebiete. Das Innere werde mit G bezeichnet.

Der Umgebungsbegriff gestattet eine einfache Charakterisierung der inneren, äußeren und Randpunkte von G. P ist innerer Punkt, wenn eine genügend kleine Umgebung von P lauter Punkte von G enthält. Q ist äußerer Punkt von G, wenn eine genügend kleine Umgebung von Q keine Punkte von G enthält. R ist schließlich Randpunkt von G, wenn in jeder Umgebung von R sowohl Punkte von G als auch Punkte, die nicht G angehören, liegen.

Will man vom inneren Punkt P aus den Randpunkt R erreichen, so muß man die zwei Punkte durch einen Kurvenbogen verbinden, der mit Ausnahme von R nur innere Punkte von G enthält. Ist das möglich, so heißt P ein erreichbarer Randpunkt.

Welcher mathematische Laie würde es für möglich halten, daß ebene beschränkte, das heißt ganz im Endlichen liegende Gebiete nicht erreichbare Randpunkte besitzen können? Zu diesem Zwecke betrachten wir das rechteckige Gebiet G der Abb. 2.

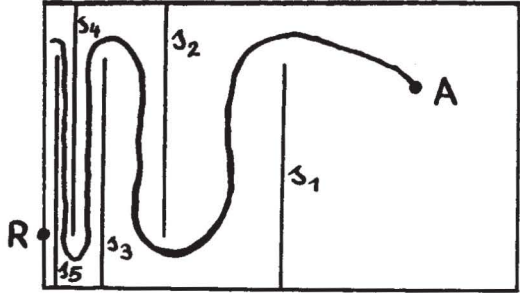


Abb. 2

In der Mitte von G machen wir von unten her den Einschnitt  $s_1$ , in der Mitte der linken Hälfte den Einschnitt  $s_2$  von oben, in der Mitte des Teiles links von  $s_2$  wieder den Einschnitt  $s_3$  von unten usw. ohne Ende. Beide Ufer der Schnittlinien gehören natürlich der Berandung von G an und liegen gegen die linke Breitseite des ursprünglichen Rechtecks immer dichter. Wollte man nun den Randpunkt R von A aus erreichen, so müßte der verbindende Kurvenbogen um jeden Einschnitt herumgeführt werden — er darf ja weder äußere noch Randpunkte enthalten. Dieses Herumführen kommt niemals zum Abschluß, weil unendlich viele Einschnitte  $s_k$  vorhanden sind. Damit ist gezeigt, daß kein Randpunkt der linken Rechteckbegrenzung erreichbar ist.

Es muß neuerlich betont werden, daß es sich bei den besprochenen Beispielen keineswegs um ausgefallene Spitzfindigkeiten handelt, sondern um Gedankengänge, mit denen eine lückenlose Beweisführung steht und fällt. Wer auf sie verzichtet, ist genötigt, immer mehr Wasser in den Wein des logischen Schließens zu gießen. Die Folge ist unausweichlich eine zunehmende Korruption des Denkens, das schließlich mit der liederlichen Redeweise „Es wird schon stimmen“ seine Seele aushaucht.

**4. Drei Länder mit einer einzigen Grenze.** Bei Zerlegung eines ebenen Gebietes G in drei Teilgebiete A, B, C haben gewöhnlich nur je zwei von ihnen einen gemeinsamen Rand. Lediglich eine Dreiländerecke, also ein einziger Punkt, grenzt gleichzeitig an jedes Territorium.

Dennoch hat Brouwer drei Gebiete konstruiert, die nur eine gemeinsame Berandung besitzen. Die Konstruktion wurde von dem japanischen Mathematiker Yoneyama 1917 in folgender Weise beschrieben:

Im Meer liege eine Insel mit zwei Süßwasserseen, der eine warm, der andere kalt. Die Regierung der Insel ordnet eines Tages an, am nächsten Tag vom Meer und von beiden Seen aus je einen Kanal zu graben. Die Wasseradern müssen natürlich dauernd getrennt bleiben, jedoch so lange und breit werden, daß am Ende dieses Tages jeder Punkt des verbleibenden Inselfestlandes vom Salzwasser, vom kalten und vom warmen Süßwasser höchstens 1 Kilometer entfernt ist.

In den darauffolgenden 12 Stunden müssen die Kanäle weiter vergrößert werden, bis die Entfernung jedes Punktes des Inselrestes von jeder Wassersorte höchstens einen halben Kilometer beträgt.

Nach weiteren 6 Stunden darf diese Maximalentfernung nur mehr ein Viertelkilometer sein usw. Am Ende des zweiten Tages ist die Arbeit abgeschlossen. Vom ursprünglichen Inselboden ist eine Punktmenge M übriggeblieben, deren Punkte von jeder Wassersorte den Abstand Null haben. In jeder beliebig kleinen Umgebung jedes Punktes von M befindet sich Salzwater, kaltes und warmes Süßwater. Nach der früher gegebenen Definition des Randes einer Menge ist daher jeder der genannten Punkte gleichzeitig Randpunkt aller drei Wasseradern, die voneinander getrennte, einfach zusammenhängende Gebiete sind. Damit ist das gesteckte Ziel erreicht.

Der gleiche Gedanke ist auf eine beliebige, sogar unendliche Anzahl von Gebieten anwendbar, die dann alle denselben Rand gemeinsam haben. Zum Glück hat sich diese Art der Grenzziehung noch nicht bis zu den Staatsmännern herumgesprochen, sonst gäbe es wohl noch mehr Komplikationen auf der Welt!

**5. Stetige Kurven, die man nicht zeichnen kann.** Obzwar Kurven in der Geometrie eine denkbar große Rolle spielen, ist es gar nicht einfach zu sagen, was eine Kurve eigentlich ist. Die Bemühungen in dieser Richtung sind erst in unserem Jahrhundert erfolgreich abgeschlossen worden. In diesem Zusammenhang möge die Feststellung genügen, daß jeder einfache Kurvenbogen das eindeutige stetige Bild einer Strecke sein muß.

Lange Zeit wurde am Jordanschen Kurvenbegriff festgehalten, bis Peano 1890 eine Jordansche „Kurve“ fand, die ein Quadrat dicht erfüllt.

Unter einer Jordankurve wird eine Punktmenge verstanden, deren Koordinaten als stetige Funktionen eines Parameters  $t$  gegeben sind, wobei  $t$  alle Werte zwischen 2 Zahlen  $a$  und  $b$  durchläuft. Diese Parameterdarstellung kam aus der Mechanik. Dort bedeutet  $t$  die Zeit, und die beiden Gleichungen  $x=f(t)$ ,  $y=g(t)$  liefern für jeden Wert der Zeit  $t$  die jeweiligen Ortskoordinaten eines bewegten Massenpunktes. Alle auf diese Weise erhaltenen Punkte machen die Bahn des Massenpunktes aus. Man verifiziert zum Beispiel leicht, daß

$$x = \frac{2t}{1+t^2}, \quad y = \frac{1-t^2}{1+t^2}$$

eine rationale Parameterdarstellung des Einheitskreises ist. Man erhält sämtliche Kreispunkte, wenn  $t$  von  $-\infty$  bis  $+\infty$  läuft.

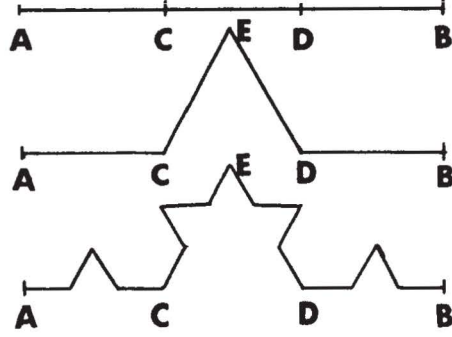


Abb. 3

Jordankurven besitzen wegen ihrer Stetigkeit nirgends Unterbrechungen. Umgekehrt ist eine Kurve, die in einem Zuge ohne abzusetzen durchlaufen werden kann, sicher stetig. Um einem weit verbreiteten Irrtum entgegenzutreten, sei ausdrücklich betont, daß stetige Kurven durchaus Ecken aufweisen dürfen. Ein Polygon ist daher eine stetige Kurve.

Um so überraschender ist die Feststellung, daß stetige Kurven existieren, die man nicht zeichnen kann. Ein Beispiel dafür ist die von Kochsche Kurve (Abb. 3).

Man geht von einer Strecke AB aus und ersetzt ihr mittleres Drittel CD durch die Schenkel eines gleichseitigen Dreiecks CE, DE. Nun wird wieder das mittlere Drittel der 4 Strecken AC, CE, ED, DB gefilgt und durch die beiden Schenkel eines gleichseitigen Dreiecks ersetzt. Wiederholt man diesen Vorgang immer von neuem, so wird bei keinem Schritt die Stetigkeit verletzt. Aber die Grenzkurve, der die Streckenzüge zustreben, kann nicht gezeichnet werden. Die Grenzkurve heißt von Kochsche Kurve.

einen Streckenzug verbunden, der die Quadrate III in der durch Abb. 4b vorgeschriebenen Weise durchquert. Der geschilderte Prozeß wird unbegrenzt fortgesetzt.

Sobald dies geschehen ist, geht man daran, jedem der obigen Quadrate eine bestimmte Teilstrecke einer vorgegebenen Einheitsstrecke AB zuzuordnen.

Dem ursprünglichen Quadrat I entspreche die ganze Strecke AB der Abb. 5, die wir daher gleichfalls mit I bezeichnen. Zu den 4 Quadraten II mögen die 4 gleichlangen Strecken II der Abb. 5, in die I unterteilt ist, gehören, und zwar in der durch die gestrichelte Linie von Abb. 4a gegebenen Reihenfolge. Die 16 Quadrate III sollen mit den 16 gleichlangen Strecken III — wieder in der von Abb. 4b vorgeschriebenen Reihenfolge — korrespondieren usw.

Nun muß geklärt werden, welcher Punkt des Quadrates einem beliebigen Punkt P der Strecke AB entspricht. P habe vom Anfangspunkt A der Strecke AB den Abstand t. Wenn t von 0 bis 1 läuft, wandert P von A bis zum End-

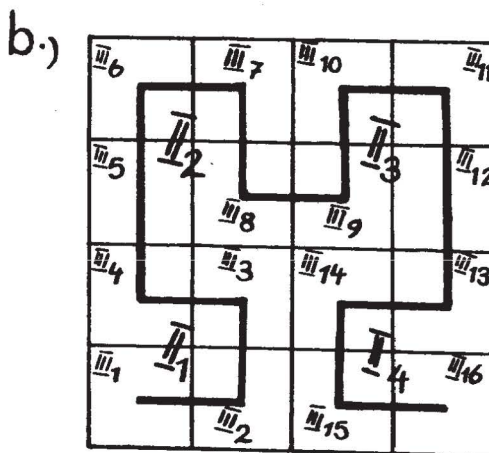
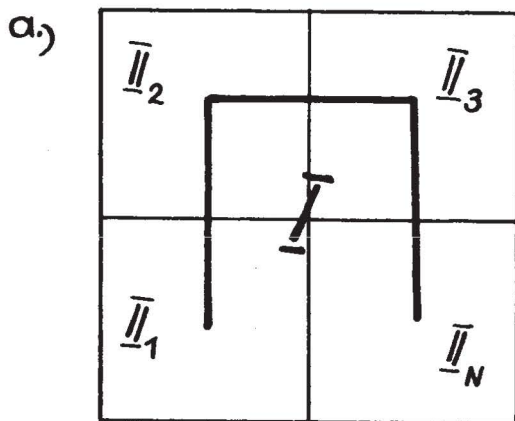


Abb. 4

**6. Die Peanosche Kurve.** Viel merkwürdiger als die eben besprochene verhält sich die von Peano angegebene Kurve, welche ein Quadrat lückenlos ausfüllt und trotzdem eine stetige Parameterdarstellung besitzt, also eine Jordankurve ist. Damit wird nachgewiesen, daß der Jordansche Kurvenbegriff auch „pathologische“ Gebilde zuläßt, die den dimensionsmäßigen Anforderungen nicht genügen. Man mußte nach einer besseren Kurvendefinition suchen.

Die Peanosche Konstruktion erfolgt so<sup>1</sup>:

Das Quadrat I der Abb. 4 wird zunächst durch die beiden Mittellinien in 4 kongruente Teilquadrate II<sub>1</sub> bis II<sub>4</sub> geteilt, deren Mittelpunkte die gestrichelte Linie von Abb. 4a

punkt B. (AB soll ja die Länge 1 haben!) Möge P innerhalb des Teilstückes II<sub>2</sub> der Abb. 5 liegen. Ihm muß demnach ein Punkt des Quadrates II<sub>2</sub> von Abb. 4a entsprechen. Ferner liege P im Teilstück III<sub>7</sub>, zu dem das gleichbezeichnete Quadrat der Abb. 4b gehört. P ist natürlich auch in irgendwelchen Teilstücken IV, V... enthalten, wodurch die Teilquadrate des Bildpunktes von P in Abb. 4 eindeutig bestimmt sind. Jedes der Quadrate liegt laut Konstruktionsvorschrift in sämtlichen vorangegangenen:

II<sub>2</sub> in I; III<sub>7</sub> in I und II<sub>2</sub>; IV<sub>x</sub> in I und II<sub>2</sub> und III<sub>7</sub>; usw. Das ist eine Folge von ineinander geschachtelten Quadraten mit gegen 0 abnehmender Größe. Eine derartige Intervallschachtelung besitzt genau einen innersten Punkt Q.



Abb. 5

verbindet. Der nächste Schritt besteht in einer neuerlichen Unterteilung, diesmal der Quadrate II durch ihre Mittellinien. Das Ergebnis sind die Quadrate III<sub>1</sub> bis III<sub>16</sub>. Die gestrichelte Verbindungslinie dieser Quadrate ist in Abb. 4b eingetragen. Sie ist so zu legen, daß sie die Quadrate II genau in der Reihenfolge durchläuft, die durch den Streckenzug in Abb. 4a festgelegt ist. Danach wird wieder jedes Quadrat III durch seine Mittellinien unterteilt und die Mittelpunkte der neuen Quadrate IV durch

Er ist nach dem Gesagten der gesuchte Bildpunkt von P im Quadrat I.

Das Unglaubliche ist wirklich zustande gebracht! Zu jedem Wert  $0 \leq t \leq 1$  gehört ein und nur ein Punkt Q des Quadrates. Die Koordinaten x, y von Q sind eindeutige Funktionen des Parameters t. Eine geringfügige Änderung von t ändert auch x, y nur geringfügig, wie unschwer einzusehen ist. Es existieren somit zwei stetige Funktionen

$$x = \varphi(t), \quad y = \psi(t),$$

welche die Parameterdarstellung der Peanoschen Kurve repräsentieren. t variiert zwischen 0 und 1. Die Peano-Kurve ist eine Jordankurve, welche ein Quadrat lücken-

<sup>1</sup> Für die exakte Herleitung siehe A. S. Parchomenko, Was ist eine Kurve?

los überdeckt. Der Jordansche Kurvenbegriff enthält offenbar nicht alle für Kurven typischen Eigenschaften.

Die angegebene Parameterdarstellung ist jedoch nicht eindeutig. Zu manchem Punkt des Quadrates gehören mehrere Punkte der Strecke AB, obwohl in umgekehrter Richtung Eindeutigkeit herrscht. Der tiefere Grund für diesen Sachverhalt liegt in einem Satz der Mengenlehre beschlossen, nach dem es unmöglich ist, die Punkte von Gebilden verschiedener Dimension eindeutig und stetig aufeinander zu beziehen.

In Analogie zum ebenen Fall ist

$$x = f(t), y = g(t), z = h(t)$$

die Parameterdarstellung einer Raumkurve. Nimmt man für  $f(t)$ ,  $g(t)$  die Parameterfunktionen der Peanoschen Kurve, so ist

$$x = \varphi(t), y = \psi(t), z = t$$

eine Raumkurve, welche ein Quadrat lückenlos überdeckt, wenn  $t$  von 0 bis 1 läuft. Ihr Grundriß ist die Peanosche Kurve. Das „Dach“ entsteht durch geeignetes Legen eines einzigen Fadens vom Querschnitt Null im Einheitswürfel über dem Basisquadrat.

**7. Der Satz von Banach-Hausdorff.** Wurden bis jetzt ziemlich einfache Beispiele für die Unzuverlässigkeit der Anschauung besprochen, so möge zum Abschluß noch einer der seltsamsten Sätze der Mathematik Erwähnung finden. Leider muß auf jedwede bloße Andeutung des Beweisganges verzichtet werden. Das Theorem besagt nicht mehr und nicht weniger, als daß eine beliebig große Kugel — etwa der Mond — in einer beliebig kleinen —

etwa einem Tennisball — unterzubringen ist. Man muß nur die große in der richtigen Weise zerschneiden und dann die Teile wieder zweckmäßig umgeordnet zusammenfügen. Der Satz, der so merkwürdige Folgerungen nach sich zieht, lautet:

Es existiert eine Zerlegung der Kugelfläche in drei paarweise kongruente, paarweise fremde Teilmengen A, B, C derart, daß auch die Vereinigungsmenge von A und B kongruent ist mit der dritten Menge C.

Der Hausdorffsche Satz und einige schon länger bekannte einfachere Sätze sind daran schuld, daß die allgemeine Maß- und Inhaltsbestimmung von beliebigen Punktmengen im strengen Sinne undurchführbar ist. Eine solche muß nämlich additiv sein, das heißt, der Inhalt der Vereinigung paarweise disjunkter Mengen muß gleich der Summe der Inhalte dieser Mengen sein.

Der hier übergangene Beweis des Satzes ist ein reiner Existenzsatz, eine Konstruktionsvorschrift für die Mengen A, B, C enthält er nicht.

Die Zahl von Beispielen, die der naiven Anschauung einen Streich spielen, ließe sich leicht weiter vermehren. Die angeführten Beispiele dürften genügen: Der Anschauung muß mißtraut werden!

Dennoch: Ist auch die Anschauung für Beweise unbrauchbar, so ist sie andererseits doch eine unerschöpfliche Quelle von entscheidenden Anregungen, aus der Forscher und Schüler unausgesetzt schöpfen. Sie darf daher niemals aus deren Werkstatt verbannt werden. Ein völlig anschauungsfreies Denken ist unmöglich. Hat sich aber dieses, inspiriert von der Anschauung, zu begründeten Vermutungen über die Art der gesuchten Zusammenhänge verdichtet, muß deren Stichhaltigkeit durch anschauungsfreies Schließen erwiesen werden.

# PHYSIK, ASTRONOMIE

Dr. Walter Kranzer

## Versuch einer Synthese organischer Hochtemperatur-Supraleiter

Die brennende Notwendigkeit, stärkste Magnetfelder zur Verfügung zu haben, trug und trägt wesentlich dazu bei, daß der supraleitende Zustand der Materie in Forschung und Anwendung einen hervorragenden Platz einnimmt. Die auftretenden Probleme erwiesen sich als ungemessen schwierig, und man kam nur schrittweise weiter.

Auf Grund der Pionierleistungen von London, Landau, Bardeen, Cooper, Schrieffer beginnt man jedoch die Zusammenhänge bereits deutlich zu erkennen. Die Theorie der Supraleitung, welche von den drei letztgenannten Physikern entwickelt wurde und die — nach deren Anfangsbuchstaben — als BCS-Theorie bekannt ist, veranlaßte amerikanische Gelehrte, in erster Linie W. A. Little, darüber nachzudenken, ob nicht die Voraussetzungen für das Eintreten des supraleitenden Zustandes in gewissen Stoffen auch bei Zimmertemperaturen und darüber gegeben seien.

Tatsächlich hofft man mit einiger Berechtigung, organische Verbindungen zu „konstruieren“, die bis zu etwa 1900° K, das ist bis weit über Zimmertemperatur keinerlei elektrischen Widerstand besitzen.

Das Gelingen dieses Unternehmens hätte die weitreichendsten technischen Folgen, weil dann die enormen Schwierigkeiten, die mit der Erzeugung und Erhaltung tiefster Temperaturen verbunden sind, wegfielen. Man darf nämlich nicht vergessen, daß derzeit die höchste Übergangstemperatur, bei welcher ein Stoff seine Supraleitfähigkeit verliert, bei 18,2° K liegt, also nur unter sehr kostspieligem Aufwand an Kältetechnik unterschritten werden kann.

Um sich ein Bild von den leitenden Gedanken zu machen, die Little mit seinem Team verfolgt, muß zuerst in groben Zügen die BCS-Theorie skizziert werden. Sie beantwortet die Frage: Welcher Mechanismus beseitigt beziehungsweise verursacht den elektrischen Widerstand?

In zahlreichen Stoffen, vorwiegend in Metallen, gibt es sogenannte freie Elektronen, das sind Elektronen, welche innerhalb des Kristallgitters ganz leicht verschiebbar sind. Sie sind in regelloser Bewegung begriffen, ihre mittlere Geschwindigkeit, bezogen auf den Leiter, verschwindet. Beim Anlegen einer Potentialdifferenz ändert sich das, binnen kürzester Frist überwiegt die Geschwindigkeitskomponente in der Feldrichtung, die mittlere Elektronengeschwindigkeit ist nicht mehr Null, es fließt ein elektrischer Strom. Stoffe, die sich in der eben geschilderten Weise verhalten, sind uns als Elektrizitätsleiter bekannt.

Bei der quantenmechanischen Untersuchung des Verhaltens von Elektronen in periodischen elektrischen Feldern (jedes Kristallgitter erzeugt infolge der regelmäßigen Anordnung der Gitterionen ein periodisches Feld) stellte sich heraus, daß die Elektronenenergie gequantelt ist, daß also diese gewisse Werte annehmen kann, während andere nicht realisierbar sind. Die erlaubten Energien sind innerhalb bestimmter Energiebänder kontinuierlich veränderlich. Das ganze System steht in quantenmechanischer Wechselwirkung und ist dem Pauliprinzip unterworfen. Ein Zustand, der durch einen Satz von Quantenzahlen bestimmt ist, kann mit höchstens einem Elektron besetzt werden.

Übergänge zwischen verschiedenen Quantenzuständen gehen zum Beispiel vor sich, wenn Elektronen an den Fehlstellen des Gitters (genauer an den durch Unregelmäßigkeiten der Konfiguration erzeugten Potential-„Wällen“) zurückgeworfen werden. Dieses Zurückwerfen ist aber nur möglich, wenn der Quantenzustand, zu dem die nach der Reflexion geminderte Energie gehört, unbesetzt ist. Die Energieminderung ist gleichzeitig eine Geschwindig-

keitsminderung, und das bedeutet eine Verkleinerung der elektrischen Stromstärke. Die Energiedifferenz wird über die Fehlstellen dem Gitter zugeführt, Joulesche Wärme wird frei.

Bei der Bewegung eines Elektrons im Kristallgitter kommt es ununterbrochen an Gitterionen vorbei, auf die es ganz kurz dynamisch einwirkt, etwa in der Form eines scharfen Stoßes, dessen Richtung durch das Ladungsvorzeichen des jeweiligen Ions festgelegt ist. Infolge ihrer bedeutend größeren Masse kommen die von solchen Vorgängen betroffenen Ionen im Vergleich zu den raschen, leichten Elektronen nur langsam in Schwung, ihre Auslenkung erreicht zu einem Zeitpunkt den Maximalwert, da das auslösende Elektron schon ein beträchtliches Stück weitergeflogen ist. Diese dem Elektron nacheilende elektrische Polarisation des Gitters veranlaßt nun ihrerseits eines der vielen in der Nähe befindlichen freien Elektronen, den positiven Ladungskonzentrationen längs der Bahn des ursprünglichen Elektrons zuzustreben und damit hinter dem letzteren herzulaufer, als ob zwischen beiden Elektronen eine Anziehungskraft bestünde. Der Tendenz zur Bildung von solchen Elektronenpaaren wirkt die Wärmebewegung entgegen. Erst unterhalb eines kritischen Wertes — der Übergangstemperatur —, der bei allen Metallen in unmittelbarer Nähe des absoluten Nullpunkts liegt, wird die Anordnung der freien Elektronen in Paaren möglich. Überdies kommt es zur Angleichung der Impulse der Paarschwerpunkte, bis diese fast ausnahmslos übereinstimmen.

Damit sind die Voraussetzungen für das Verschwinden des elektrischen Widerstandes geschaffen. Denn wollte eines der zwei Elektronen eines Paares an einer Fehlstelle zurückprallen, so hätte das Paar danach einen „falschen“ Impuls, der, wie sich zeigt, mit dem Pauliprinzip nicht in Einklang zu bringen ist. Die Reflexionen werden damit unmöglich, der elektrische Widerstand hört vollständig auf. Die Substanz ist supraleitend geworden.

Auf Grund des eben gegebenen — ungemein groben — Modells der Supraleitfähigkeit werden die Gedanken plausibel, mit denen Little die Synthese organischer Supraleiter zustande bringen will.

Die erste Notwendigkeit für die Verwirklichung dieser Absicht ist die Schaffung von Bewegungsmöglichkeiten für freie Elektronen. Dazu dürften sich besonders Verbindungen mit langen Kohlenstoffketten eignen, in denen alternierend einfache und Doppelbindungen zwischen den C-Atomen aufeinander folgen. Die Kette bildet gewissermaßen als Rückgrat des Moleküls die „Schiene“ für den Lauf der freien Elektronen.

Damit diese die für die Bildung von Elektronenpaaren erforderliche Polarisation der Substanz herbeiführen können, muß zweitens das C-Rückgrat Seitenketten tragen, die sich abwechselnd nach rechts und links von der C-Kette erstrecken. Wenn die Seitenketten so beschaffen sind, daß zwischen ihren Enden ein Elektron leicht verschiebbar ist, dann reagiert dieses Elektron sofort, wenn ein im Rückgrat laufendes Elektron die Seitenkette passiert. Die Polarisation der Seitenketten erfolgt wegen der Kleinheit der Elektronenmasse erheblich rascher als die Polarisation der Gitterionen in Metallen, so daß das durch die Polarisation nachgezogene zweite Elektron (das also mit dem ersten ein Paar bildet) viel fester am ersten „haftet“. Daher darf die Wärmebewegung wesentlich stärker sein als bei Metallen, ehe die Supraleitfähigkeit aufgehoben wird.

Die Abhängigkeit der Übergangstemperatur von der Masse der polarisierenden Teilchen ist als Isotopeneffekt bei Metallen schon länger bekannt. Danach ist die Übergangstemperatur verkehrt proportional der Quadratwurzel aus der Masse des Teilchens. Setzt man die Metallionenmasse mit 100.000 Elektronenmassen an, dann muß die Übergangstemperatur bei organischen Supraleitern um den Faktor  $\sqrt{100\,000} = 316$  höher sein als bei Metallen, für die sie im Mittel bei  $6^\circ\text{K}$  liegt. Das liefert den überraschend hohen Wert von  $1900^\circ\text{K}$ .

Nach Little wäre Diäthylcyaninjodid eine gute Seitenkette. Leider dürfte sich eine derartige Verbindung sehr leicht chemisch zersetzen, besonders unter dem Einfluß des Luftsauerstoffs.

Die Zukunft wird wohl bald entscheiden, ob die theoretischen Leitgedanken tragfähig sind und ob — falls dies zutrifft — die praktische Durchführung der Synthese nicht noch auf andere Schwierigkeiten stößt. Die experi-

mentellen Arbeiten sind jedenfalls bereits an der berühmten Stanford-Universität angelaufen.

Sollten sie mit einem Erfolg enden, dann wäre dies der entscheidende Schritt, der eine technische Umwälzung größten Ausmaßes einleitet. Bekanntlich schwebt ein Stabmagnet über supraleitenden Stoffen. Gäbe es Supraleiter bei Zimmertemperatur, so könnte man reibungsfreie Maschinenlager bauen. Über eine Straße, die mit supraleitenden Folien belegt ist, könnten Fahrzeuge ohne Energieaufwand schwebend erhalten werden und die ganze Motorenkraft könnte zur Überwindung des Luftwiderstandes und von Steigungen eingesetzt werden.

Noch bedeutungsvoller wären die Folgerungen für die Biologie, falls die außerordentliche Stabilität des genetischen Informationsgehaltes wirklich in engem Zusammenhang mit dem supraleitenden Zustand stände.

#### Literatur:

1. Phys. Rev., 15. VI. 64, S. 1416.
2. Scientific American, Febr. 65, S. 21, W. A. Little: Superconductivity at Roomtemperature.
3. Umschau i. W. u. T., 1. 4. 65, S. 197, W. A. Little: Supraleitung in organischen Molekülen bei Raumtemperatur.

## Thermolumineszenz — ein neues Hilfsmittel der Geologie

Kristallgitter sind ebenso wie Atome und Moleküle den Quantenvorschriften unterworfen. Die Bewegungen der Gitterionen sowie der an sie gebundenen Elektronen erfolgen nur in Einklang mit dem dem jeweiligen System eingepprägten Quantenbedingungen. Die energetisch niedrigsten Zustände werden bevorzugt, weil jede Struktur die Konfiguration minimaler potentieller Energie anstrebt. Wird eine Partikel durch Aufnahme der kinetischen Energie von Wärmestößen oder durch Absorption von Photonen auf ein höheres Niveau gehoben, so fällt sie nach einer gewissen Verweilzeit auf ein tieferes Niveau zurück, wobei die freigesetzte Energiedifferenz entweder in Wärmebewegung umgesetzt oder als Photon ausgestrahlt wird.

Den Rückkehrtendenzen wirken zwei Umstände entgegen: das Pauliverbot und die geltenden Auswahlregeln. Das erstere verhindert die mehrfache Besetzung ein- und desselben Quantenzustandes. Die Auswahlregeln gestatten nur solche Übergänge, bei denen diese oder jene Quantenzahl um Werte aus einer sehr eingeschränkten Teilmenge der möglichen Wertänderungen variiert (zum Beispiel nur um 0 oder  $\pm 1$ ). Die Wahrscheinlichkeit für andere Übergänge ist dann — zumindestens unter normalen Bedingungen — Null. Erst in starken magnetischen oder elektrischen Feldern, bei sehr geringem Gasdruck usw. können auch die anderen, sogenannten verbotenen Übergänge stattfinden. Daraus erklärt sich die Existenz metastabiler Zustände. Das sind energetisch höhere (=angeregte) Zustände, in denen ein Teilchen verweilen muß, obwohl unbesetzte tiefere Niveaus existieren, weil der Übergang in diese gegen die Auswahlregeln verstoßen würde. Trotzdem ist die Entleerung der metastabilen Niveaus unter anderem in der Weise möglich, daß die Partikel durch Energiezufuhr von außen zunächst noch höher gehoben wird und danach direkt in den tiefsten unbesetzten Zustand zurückkehrt.

Jedes Kristallgitter besitzt Fehlstellen wie Fremdatome, Gitterfehler und so fort. Gelegentlich sind solche Fehlstellen richtige Fallen für Elektronen. Wird nämlich ein Elektron durch Energiezufuhr auf ein höheres Niveau gehoben, das zufällig metastabil ist, dann kann es nicht mehr zurück und bleibt so lange Gefangener der Fehlstelle, bis nochmalige Energieaufnahme für weiteres „Emporklimmen“ in einen nicht metastabilen Zustand sorgt, welcher der Rückkehr in die Ausgangsposition keine Schwierigkeit in den Weg legt. Die einfachste Form der Energiezufuhr ist Bestrahlung oder Erwärmung.

Besitzt ein Mineral Fehlstellen mit metastabilen Niveaus, dann werden im Laufe der geologischen Zeiträume, in denen es der aus dem Weltraum einfallenden Höhenstrahlung oder der in geringem Maße fast immer vorhandenen  $\gamma$ -Zerfallsstrahlung der radioaktiven Spurenbeimengungen in den umgebenden Gesteinen ausgesetzt ist, die metastabilen Niveaus allmählich mit Elektronen besetzt.

Wird ein solches Mineral im Dunkeln langsam erwärmt, so besorgen Wärmestöße die Entleerung der metastabilen Zustände nach „oben“ und ermöglichen den aus der Falle befreiten Elektronen die Rückkehr in den Grundzustand, den sie vielleicht vor Millionen Jahren verlassen haben. Die Rückkehr ist von der Emission einer typischen Wellenlänge begleitet.

Nach einiger Zeit beginnt die Emissionsintensität abzuklingen: Alle gespeicherten Elektronen nehmen wieder ihre ursprünglichen Plätze ein. Weiteres Erhitzen ist nutzlos.

Wird jedoch der Kristall starker UV- oder Röntgenbestrahlung unterworfen, so füllt diese die metastabilen Plätze von neuem, und wir erleben bei anschließender Erwärmung dasselbe Schauspiel. Das ist die Thermolumineszenz.

Selbstredend gibt es auch Fehlstellen mit mehreren metastabilen Niveaus. Die Leuchtkurve, die beim Erhitzen einer solchen Probe photometrisch registriert wird, zeigt mehrere Maxima.

Thermolumineszenz wurde schon vor 300 Jahren bei Diamanten beobachtet. Sie tritt auch bei Kalkstein auf oder bei NaCl, in dem Spuren von Thallium enthalten sind.

Die Leuchtkurve ist eine ungemein wertvolle Informationsquelle, denn Lage und Intensität der Maxima gestattet Rückschlüsse auf die beteiligten Energieniveaus sowie auf die Anzahl der Fehlstellen.

Wird derselbe Kristall nach Aufzeichnung seiner natürlichen Leuchtkurve künstlich durch  $\gamma$ -Einstrahlung neuerdings aktiviert, dann liefert der Vergleich der zugehörigen Leuchtkurve mit der natürlichen eine Aussage über die Gesamtdosis, die er nach seinem Erstarren oder Sedimentieren empfangen hat, eventuell sogar Anhaltspunkte zur Beurteilung der Art der natürlichen Strahleneinwirkung.

Die genetische Verschiedenheit oder Zusammengehörigkeit von geologischen Schichten vermag auf diese Weise geklärt zu werden, nicht nur lokal, sondern auch über ansehnliche Distanzen.

In tieferliegenden Gesteinen befördert in erster Linie die im allgemeinen winzige Radioaktivität der Umgebung Elektronen in die metastabilen Fallenniveaus. Der Besetzungsgrad, zusammen mit der Messung der an der Fundstelle vorhandenen natürlichen Radioaktivität ermöglicht einwandfreie Datierungen über lange geologische Zeiträume.

Eine wichtige Rolle spielt naturgemäß die Temperatur von Gestein und Umgebung während der Zeit seiner Lagerung in der Erdkruste. Größere Abweichungen von den theoretischen Erwartungswerten, die sich aus den geologischen Bedingungen ergeben, können Hinweise auf Erzlager sein, falls das Erz bei höheren Temperaturen in das Muttergestein eingedrungen ist.

Da die Thermolumineszenzeffekte auch druckabhängig sind, dürfte sich ihre Erforschung zu einem wertvollen Hilfsmittel des Geologen entwickeln. Dazu ist aber intensive Vorarbeit nötig, da noch ziemlich störende Fehlerquellen auszuschalten sind, welche vorläufig der richtigen Deutung der Meßergebnisse im Wege stehen.

Literatur: Umschau i. W. u. T., 15. I. 65., S. 54. W. L. Medlin: Thermolumineszenz in Gesteinen.

## Molekularsiebe

Einer der Hauptgründe, weshalb die Kernphysik so großem Interesse begegnet, ist der Umstand, daß sie immer wieder mit neuen Ideen an die Öffentlichkeit treten kann, welche der Forschung und Anwendung fördernde Impulse erteilen. Darin liegt ihr Zauber und allgemein der Zauber aller Naturwissenschaft: Ihr Vorrat an Aspekten, unter denen die Dinge, ja dieselben Dinge betrachtet zu werden vermögen, scheint schier unerschöpflich zu sein.

Vor ungefähr zwei Jahren beschossen R. L. Fleischer, P. B. Price und R. M. Walker Glimmer-, Glas- und andere Silikatfolien mit Spaltprodukten von  $U^{235}$ . Die Bruchstücke dringen 7 bis 12  $\mu\text{m}$  tief in die Folie ein. Wird sie nach kurzem Beschuß einige Sekunden lang mit 20%iger Salzsäure geätzt, so erweitern sich die Bremsspuren zu winzigen Kanälen von etwa 25  $\text{\AA}$  Durchmesser. Bei genügend geringer Dicke der Folie stellen die Kanäle kreisrunde Löcher dar. Man muß darauf achten, nicht allzu viele Löcher zu erzeugen, weil sonst das Silikat brüchig und unter Umständen sogar radioaktiv wird. 100 Kanäle pro  $\text{cm}^2$  sind die obere Grenze.

Falls die Folie aus Glimmer bestehen soll, muß synthetisches Material Verwendung finden, da das natürliche stets geringe Mengen Uran enthält, welche den Prozeß störend beeinflussen.

Die Geschößpartikeln stammen von einem luftleer eingekapselten dünnen Film aus  $U^{235}$ . Das Isotop  $U^{235}$ , welches immer dem  $U^{238}$  beigemischt ist, wird durch thermische Neutronen gespalten und emittiert die erforderlichen Bruchstücke mit der gewünschten Energie. Natürlich ist die Dicke des Uranfilms geringer als die Reichweite der Bruchstücke im Uran, nämlich 5  $\mu\text{m}$ .

Die große Bedeutung eines Molekularsiebes liegt in der Fähigkeit, kleinere Moleküle von größeren zu trennen, was sich besonders in der Krebsforschung als nützlich erweist.

Besonders interessant ist ein Molekularfilter aus Silikonkautschuk, welches W. L. Robb (General Electric Company) entwickelt hat. Dieses ist nicht das Ergebnis einer künstlichen Perforation, vielmehr müssen in die übergroßen Moleküle der Substanz an geeigneten Stellen Si- und O-Atome eingebaut sein. Dann tritt, solange auf beiden Seiten der 25  $\mu\text{m}$  dicken Folie verschiedene Drücke aufrecht erhalten werden, doppelt soviel Sauerstoff als Stickstoff durch das Filter, was zur Anreicherung der Luft mit O auf der Seite niedrigeren Druckes führt.

Im Wasser vermag die Membran Sauerstoff auszufiltern. Mit ihm treten auch kleine Mengen Wasser durch die Membran. Handelt es sich um Meerwasser, so sperrt der Silikonkautschuk den NaCl-Molekülen den Zutritt auf die andere Seite. An dieser sammelt sich also entsalztes Wasser.

Die Versorgung von U-Booten mit Sauerstoff unter Wasser via Molekularfilter ist somit im Prinzip möglich.

### Literatur:

1. Phys. Blätter, Jänner 1964, S. 30. Molekularsiebe.
2. Bild der Wissenschaft, März 1965, S. 248. Ein Sauerstofffilter, das Meerwasser entsalzt.

## Extreme Magnetfelder

Die Bemühungen zur Herstellung überstarker Magnetfelder verzeichnen wieder einen beachtlichen Erfolg. Zwar zählt die Zeitdauer, während der das Feld aufrecht erhalten wird, nur nach Mikrosekunden. Aber der fortgeschrittenen Meßtechnik unserer Tage wird es gewiß bald gelingen, selbst diesen kurzen Augenblick zu nützen und ihm die Daten abzufordern, die über das Verhalten der Materie und ihrer Bausteine in solchen Feldern Aufschluß geben.

Bis vor kurzem betrug die höchste magnetische Feldstärke, die dauernd aufrecht erhalten werden konnte, 152 000 Oersted. Sie wurde am Naval Research Lab. in Washington erreicht. Dem National Magnet Lab. des MIT (Massachusetts Inst. of Techn.) gelang es, diese Leistung zu übertreffen, indem man mit einer Spule von 3 Windungen, welche ein Strom von 40 000 A bei 250 V (das sind 10 MW!) durchfloß, 205 000 Oersted erzielte. Durch Einbringung eines Eisenkernes stieg die Feldstärke sogar auf 255 000 Oersted. Nach einer Minute mußte allerdings der Betrieb unterbrochen werden. Durch geeignete Abänderungen und Verbesserungen hofft man, mit dieser Methode auf 300 000 bis 400 000 Oersted zu kommen, letzteres jedoch nur für wenige Millisekunden. Die Auftretenden magnetischen Kräfte wirken mit Drucken von über 3000 at!

C. M. Fowler beschritt am Los Alamos Scientific Lab. einen völlig verschiedenen Weg. Er erzeugte in einer Spule zunächst 100 000 Oersted, brachte sie aber im Inneren eines zylindrischen Metallrohres unter, welches mit Sprengstoff umkleidet war. Der Sprengstoffmantel wurde gezündet und drückte das Metallrohr gegen seine Achse

zusammen. Die ungewöhnliche technische Leistung bestand darin, die Implosion exakt zylindersymmetrisch ablaufen zu lassen. Während des Zusammensturzes des Metallrohres stieg die magnetische Feldstärke auf 15 Millionen Oersted an, freilich nur für die Dauer von Mikrosekunden. Dieses Zeitintervall genügt vorläufig noch nicht, um Messungen vorzunehmen. Deswegen macht man alle erdenklichen Anstrengungen, um dieses Kunststück zuwege zu bringen.

**Literatur:** Scientific American, Jänner 1965, S. 50. Superstrong Magnets.

## Wasser und Schwefel unter extremem Druck

Die Suche nach immer neuen Anwendungsmöglichkeiten der Naturgesetze hat auch nicht vor hohen Drucken halt gemacht. So fand die Metallverformung durch Stoßwellen von Explosionen, welche Bleche in darunter befindliche Formen pressen, schon seit einiger Zeit Eingang in die Technik. Über den Aufbau noch nie dagewesener magnetischer Feldstärken durch Ausnützung implosiver Vorgänge berichtet der vorangehende Artikel. Schließlich sei noch an die weltweiten Versuche zur Kernfusion erinnert, bei denen man die benötigten hohen Plasmatemperaturen u. a. durch Druckstöße von Implosionen herbeizuführen trachtet.

Was Wunder, wenn sich die Physiker und Chemiker auch für die Veränderungen zu interessieren beginnen, denen verschiedene Stoffe bei Anwendung extremer Druckkräfte unterliegen.

In der Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation's Division of Chem. in Melbourne beschäftigten sich S. D. Hartmann und andere Forscher mit dem Verhalten von Wasser und Schwefel bei 300.000 at. Der riesige Druck entstand durch die Explosion eines stabförmigen Stückes von RDX/TNT. 0,001 sek. nach der Zündung trifft die Druckwelle — ähnlich wie bei Metallverformungen — eine Al-Platte, mit welcher das von Wasser gefüllte Volumen nach einer Seite hin abgeschlossen ist. Die Platte dient der Stoßübertragung auf die Flüssigkeit. Der Stoß schreitet im Wasser mit einer Geschwindigkeit von 6 km/sek. fort. Die Beobachtung der Stoßwelle erfolgt mit Kerr-Hill-Kameras, welche für die Explosion  $10^{-7}$  sek. = 100 nsek. geöffnet sind. Die Wassertemperatur steigt bei 200.000 at kurzfristig auf 1300°C, während sich gleichzeitig die Dichte auf  $2\text{g/cm}^3$  erhöht.

160.000 at verleihen dem Wasser dieselbe elektrische Leitfähigkeit wie 5n-Salzsäure.

Auch Schwefel leitet bei extremem Druck die Elektrizität gut. Es ist anzunehmen, daß Schwefel ein metallisches Allotrop besitzt, das nur während der höchsten Druckbeanspruchung existenzfähig ist.

**Literatur:** Phys. Blätter, Juni 1964, S. 102. Wirkung sehr hoher Drucke auf Wasser.

## Gaslinsen

Die immer mehr an Bedeutung gewinnende Lasertechnik verlangt für viele Zwecke eine gute Fokussierung des Strahlenbündels und ganz allgemein die wunschgemäße Beeinflussung des geometrischen Strahlenganges. Für diese Aufgabe sind Linsen oder Prismen aus festen und flüssigen Körpern wertlos, weil sie der hohe Energiegehalt des Laserlichtes zerstören würde.

Im New-Yorker Laboratorium einer Forschungsgruppe gehen derzeit Versuche von statten, deren Ziel darin besteht, in einem Hohlraum ein Gas mit inhomogenem Dichtefeld stationär einzuschließen. An Gase gibt der Laserstrahl kaum Energie ab.

Als Hohlraum dient das Innere eines Metallzylinders, in dem ein schraublinienförmiges stromdurchfließendes Drahtstück die erforderliche Temperatur erzeugt. Den Zylindermantel hält eine außen montierte Kühlschlange auf konstanter Temperatur. Die Manteltemperatur ist natürlich kleiner als die Temperatur in der Achsenpartie der Heizspule. Das stationäre Temperaturgefälle in radialer Richtung verursacht die zylindersymmetrische inhomogene

Verteilung des Berechnungsindex  $n=n(r)$ . Das Gas verhält sich wie eine Sammellinse, man denke etwa an die atmosphärische Refraktion des Sternenlichts. Die Absorptionsverluste im Gas sind minimal.

Eine abgeänderte Ausführung des Geräts läßt zwei Gase in entgegengesetzter Richtung aneinander vorbeiströmen. Auch so werden die Wirkungen von Sammellinsen erzielt.

**Literatur:** Bild der Wissenschaft, Jänner 1956, S. 79. Licht durch Gas gebrochen und gebündelt.

## Doch keine fünfte Naturkraft?

Der Bericht über den „ordnungswidrigen“ Zerfall des Kaons  $K_s^0$  in zwei Pionen in Nr. 8 der „Wissenschaftlichen Nachrichten“ enthielt im letzten Teil den kurzen Hinweis, daß im Herbst 1964 der Beschluß gefaßt wurde, bei CERN in einem Experiment die Energieabhängigkeit der Zerfallsrate des Prozesses  $K_s^0 \rightarrow \pi\pi$  zu überprüfen. Falls eine weitere (fünfte) Naturkraft in der angenommenen Weise als Ursache dieses Zerfallsmodus anzusehen wäre, müßte nämlich der Anteil der  $2\pi$ -Ereignisse an sämtlichen Zerfallsarten mit dem Quadrat der Energie steigen.

Das Experiment wurde inzwischen durchgeführt, fiel aber anders aus, als die Hypothese einer fünften Kraft verlangt hätte.

Die Entdecker des  $2\pi$ -Zerfalls von  $K_s^0$  (Christensen et al.) arbeiten mit 1,1-GeV-Kaonen und beobachteten eine  $2\pi$ -Zerfallsrate von  $(2,0 \pm 0,4) \cdot 10^{-3}$  relativ zur Gesamtheit der geladenen Zerfallsvorgänge. Das CERN-Experiment verfügte über 10,7-GeV-Kaonen. Der rund zehnfachen Energie hätte eine 100mal höhere Wahrscheinlichkeit für das Entstehen zweier Pionen entsprechen müssen. An Stelle des (bei Annahme eines fünften Kraftfeldes) theoretisch zu erwartenden Wertes von  $(1,1 \pm 0,3) \cdot 10^{-2}$  war die Zerfallsrate  $(3,5 \pm 1,4) \cdot 10^{-3}$ , also nicht 100mal, sondern nur doppelt so groß wie bei Christensen,

Damit scheidet die Annahme eines sehr schwachen, weitreichenden Kraftfeldes (dessen Quanten weiche, d. h. energiearme „Hyperphotonen“ wären) zur Erklärung der Verletzung der CP-Invarianz (Näheres siehe Nr. 8 der „Wissenschaftlichen Nachrichten“) beim  $2\pi$ -Zerfall von  $K_s^0$  aus.

Das Experiment lieferte noch einige Nebenergebnisse. Zunächst wurde zweifelsfrei die Pionennatur der Zerfallsprodukte erhärtet. Ferner zeigte sich, daß der Massenunterschied zwischen  $K^0$  und  $\bar{K}^0$  den Wert  $2 \cdot 10^{-18} \cdot m_K$  ( $m_K$  = Kaonenmasse) nicht überschreitet. Das heißt  $K^0$  und  $\bar{K}^0$  haben dieselbe schwere Masse.

Schließlich fand man keinen Zerfall von  $K_s^0$  in Myonen in einem Ausmaß, das von der Versuchsanlage noch erfaßt hätte werden können. Konkret heißt das, die diesbezügliche eventuelle Zerfallsrate liegt unter  $2 \cdot 10^{-4}$ .

Als Kaonenquelle fungierte ein Target, auf das der innere Strahl des Synchrotrons traf. Die Kaonennachweisgeräte (Detektoren) befanden sich in 50 m Entfernung vom inneren Target. Die letzten 30 m durchlief der Kaonenstrahl im Vakuum. Beim ersten Experiment in den USA bewegte er sich vollständig in flüssigem Helium.

**Literatur:** Physics Letters, 1. III. 1965, S. 58. X. de Bouard et al.: Two Pion Decay of  $K_s^0$  at 10 GeV/c.

## Ergebnisse der Neutrinoexperimente bei CERN

Wie nicht anders zu erwarten, beschäftigen sich die großen Hochenergielaboratorien der Welt ungemein eingehend mit dem neuen Gebiet der Neutrinoophysik, obwohl noch keine Dekade seit dem ersten in vollem Umfang gelungenen Nachweis dieser subatomaren Partikeln vergangen ist.

Die Hauptschwierigkeit für die Erforschung der Neutrinos erwächst aus ihrer Eigenart, nur auf schwache Wechselwirkungen anzusprechen. Im Gegensatz dazu sind Mesonen und Baryonen den Kräften des Kernfeldes unter-



worfen, welche zwar erst in Abständen von einigen Fermi merklich werden, dann aber mit extremer Intensität einsetzen und zwar unabhängig davon, ob die Partikel elektrisch geladen oder neutral ist. Deswegen machte sich das ungeladene Neutron schon zu einer Zeit bemerkbar, als man noch nichts vom Reichtum an Teilchenarten wußte, der uns heute im Bann hält.

Das Neutrino ist nicht der einzige Baustein, der gegen starke Wechselwirkungen unempfindlich ist. Elektronen und Myonen zeigen dieselbe Eigenschaft. Aber sie reagieren mit dem Coulombfeld, das verhältnismäßig stark und weitreichend ist. Da das Coulombpotential nicht exponentiell wie das Kernpotential, sondern wie  $\frac{1}{r}$  abnimmt,

spielen auf größere Entfernungen nur mehr die elektrostatischen und die magnetischen Kräfte eine Rolle. Elektronen und Protonen wurden demgemäß lange Zeit vor den übrigen Partikeln identifiziert.

Das kontinuierliche Energiespektrum der beim  $\beta$ -Zerfall emittierten Elektronen, das im Gegensatz zum sonstigen quantenhaften Verhalten der atomaren Vorgänge stand, weckte schon um 1930 den Verdacht, daß der  $\beta$ -Zerfall mit der Bildung eines weiteren, noch unbekanntem Teilchens verbunden sein könnte. 1956 wurde es nach vielen mißglückten und etlichen unzulänglichen Versuchen endlich von Reines und Cowan einwandfrei ausgemacht. (Siehe Nr. 2 vom Mai 1963 der „Wissenschaftlichen Nachrichten“: Der experimentelle Nachweis der Neutrinos.)

Obwohl Reines der enorme Antineutrinofluß eines der stärksten Reaktoren der USA zur Verfügung stand, war die Zeitdichte der interessierenden Ereignisse ziemlich gering, nämlich 2,8 Ereignisse pro Stunde. Für Neutrinos (nicht Antineutrinos!) stand keine auch nur annähernd einem Reaktor vergleichbare Quelle zur Verfügung. Die vorhandenen Quellen ließen höchstens ein paar Ereignisse pro Jahr erwarten. Diesem Übelstand kann vorläufig auf zwei Arten gesteuert werden: Vergrößerung des Wirkungsquerschnittes der Neutrinos und räumliche Konzentration des Neutrinostromes in einem eng gebündelten Strahl.

Wie aus der von Fermi und Pauli behandelten und später zusätzlich ausgebauten Theorie des  $\beta$ -Zerfalls hervorgeht, steigt der Wirkungsquerschnitt eines Neutrinos mit seinem Energieinhalt rasch an. Die langsamen Antineutrinos, die aus einem Reaktor kommen, haben Wirkungsquerschnitte von etwa  $10^{-43}$ — $10^{-42}$  cm<sup>2</sup>. Beschießt man aber ein Kupfertarget mit energiereichen Protonen, so fliegen sehr rasche Kaonen und Pionen weg, die nach einem gewissen Wegstück im Fluge zu Myonen und Neutrinos desintegrieren. Diese Produktionsweise macht die Neutrinoenergie groß genug, um den Wirkungsquerschnitt auf  $10^{-33}$  cm<sup>2</sup>, also um den Faktor  $10^9$  zu erhöhen.

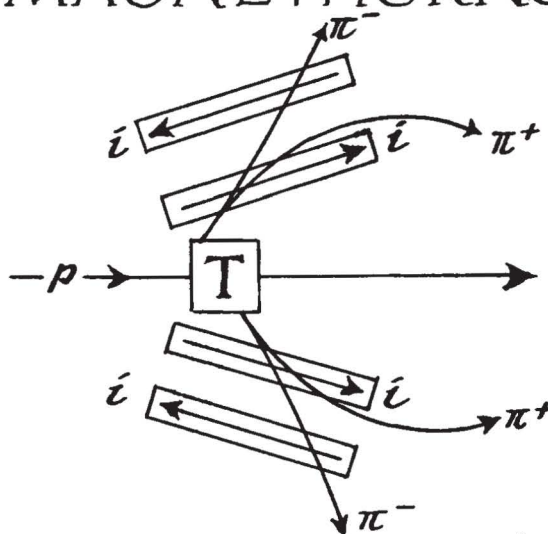
Neben diesen Verbesserungen benützte man bei den jüngsten CERN-Versuchsreihen ein sogenanntes Magnethorn, welches die Aufgabe hat, den Querschnitt des Neutrinostromes möglichst klein zu halten. Die Lösung dieses wichtigen Problems geschieht indirekt durch magnetische Beeinflussung der geladenen Pionen durch ein Magnetfeld, welches das Target kreisförmig umgibt, vor dem Zerfall. Zu diesem Zwecke wird das Target von zwei koaxialen kegelförmigen Leitern umschlossen, in denen kurze Stromstöße bis maximal 300.000 Ampere erzeugt werden. Die Stromrichtung ist in den beiden konischen Leitern entgegengesetzt. Das Magnetfeld der Ströme verkleinert die Divergenz der positiv geladenen Kaonen und Pionen und eliminiert die negativen Partikeln durch starke Ablenkung aus dem Strahl nach beiden Seiten hin (Abb. 10).

Die auf diese Weise scharf gebündelten Teilchen zerfallen im Zerfallstunnel hinter dem Target und emittieren einen Neutrinostrahl von demselben kleinen Querschnitt.

Die zwei beschriebenen Verbesserungen — Verwendung hoher Energien und eines Magnethorns — haben CERN in die Lage versetzt, mit Neutrinoströmen zu operieren, deren Dichte um etwa zwei Größenordnungen höher lag als die Dichte bei den vorausgegangenen gleichartigen Versuchen in den USA.

Abb. 11 zeigt die Versuchsanordnung bei CERN. Von links traf ein gepulster Protonenstrahl von 24,8 GeV/Proton auf das Cu-Target. Die einzelnen Impulse dauerten 2  $\mu$ sek, enthielten  $7 \cdot 10^{11}$  Protonen und wiederholten sich

## WIRKUNG DES MAGNETHORNS



*i = Stromrichtung in den konischen Leitern, welche T umschließen*

*T = Cu-Target*

*p = einfallender Protonenstrahl*

Abb.10

alle 3 sek. Die Kollision mit den Kupferatomen führt unter anderem zur reichlichen Bildung von schnellen Pionen und Kaonen, deren Zerfallswahrscheinlichkeit (für den im Laboratoriumssystem ruhenden Beobachter) mit wachsender Energie wegen der Zeitdilatation sinkt. Daraus resultiert die Notwendigkeit, die Zerfallsstrecke entsprechend zu verlängern. Die übrigen Sekundärteilchen — vorwiegend Myonen — verlassen durch Seitenstreuung den Strahl.

Nach dem Zerfallstunnel von der Länge  $l$  durchläuft der Strahl eine Abschirmschicht der Dicke  $d$ , welche sämtliche Partikeln mit Ausnahme der Neutrinos absorbiert. Der Neutrinofluß hinter der Abschirmung ist proportional

zu  $\frac{l}{(l+d)^2}$ . Der letzte Ausdruck besitzt den größten Wert,

wenn die Strecken  $l$  und  $d$  übereinstimmen, wovon man sich durch eine simple Differentiation überzeugt. Dem kann jedoch selten voll Rechnung getragen werden, weil gewöhnlich die Zerfallstrecke zu lang ist. Für 2 GeV Pionen mißt sie beispielsweise 110 m.

Der Neutrinostrom stammt für  $E_\nu < 2$  GeV vorwiegend aus dem Pionenzerfall ( $E_\nu$  bezeichnet die Neutrinoenergie), für  $E_\nu > 2$  GeV aus dem Kaonenzerfall. Die Flußdichte der Neutrinos bei den CERN-Experimenten war in der Strahlachse  $10^8$  Neutrinos pro Puls und pro m<sup>2</sup>. Die Divergenz des Neutrinostrahls konnte auf  $\pm 2^\circ$  reduziert werden.

Betrachtet man einen einzigen Puls genauer, so stellt sich heraus, daß er keineswegs im Zeitablauf homogen ist. Vielmehr läßt er sich mit einem Feuerstoß aus automatischen Waffen vergleichen, bei dem 20 getrennte Protonen-„Wolken“ — jede Wolke vergleichbar einem Einzelgeschos — von je 10 nsek Dauer in Abständen von

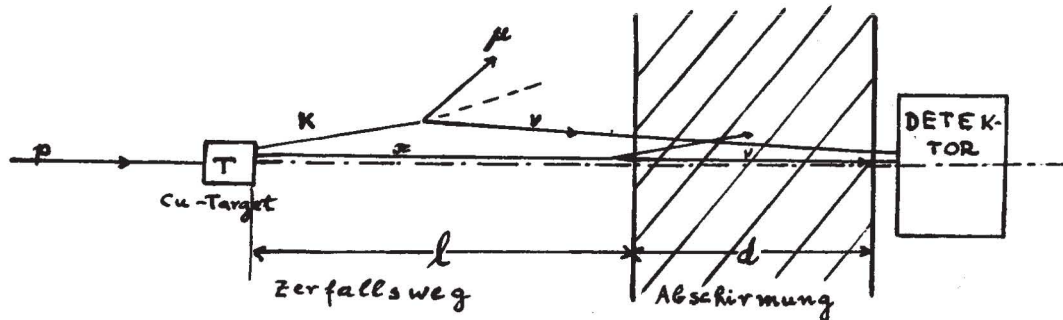


Abb. 11

105 nsek auf das Target zufliegen. Das ist ein sehr glücklicher Umstand, der es ermöglicht, alle Finessen der hochentwickelten Flugzeitmessungstechnik anzuwenden und den störenden Hintergrund von langsamen neutralen Teilchen, die kosmischen oder anderen Ursprungs sind, aus den beobachteten Effekten zu beseitigen.

Als Detektoren dienen Funkenkammern mit Aluminium- oder Messingplatten, welche von Szintillationszählern gesteuert wurden. Die Plattenmasse betrug 20 Tonnen. Als weiteres Registriergerät stand noch eine Blaskammer, gefüllt mit 1 Tonne Flüssigkeit, in Verwendung.

Der Fortschritt gegenüber dem Brookhavenexperiment von 1962, bei dem Danby die Verschiedenheit von Elektronen- und Myonenneutrinos  $\nu_e, \nu_\mu$  entdeckt hatte, wird aus dem Vergleich der Ereignisse deutlich. Während in Brookhaven 34 Ereignisse registriert wurden, an denen ausschließlich Teilchen mit schwacher Wechselwirkung und mit Impulsen über 300 MeV/c beteiligt waren, verzeichnete man in Meyrin (CERN) 140 derartige Reaktionen in der Blaskammer allein und weitere 4000 in der Funkenkammer.

Die Ergebnisse des Versuches lassen sich in fünf Punkten zusammenfassen.

### 1. Elektronen- und Myonenneutrinos

Seit den Feststellungen Danbys von 1962 in Brookhaven über das verschiedenartige Verhalten von Neutrinos, die einmal aus Prozessen mit Elektronen, einmal aus solchen mit Myonen stammten (zum Beispiel Zerfall eines Pions in Myon und Neutrino), unterscheidet man zwei Sorten von Neutrinos, die in der Bezeichnung durch Anhängen der Indizes e beziehungsweise  $\mu$  kenntlich gemacht werden. (Siehe Nr. 3 der „Wissenschaftlichen Nachrichten“ vom September 63, S. 5: Eine zweite Art Neutrinos.) Zusammen mit den Antiteilchen hat man also die Partikeln  $\nu_e, \bar{\nu}_e, \nu_\mu, \bar{\nu}_\mu$ . Das Resultat des CERN-Versuches war eindeutig: 98% der Pionzerfallsereignisse standen mit der 2-Neutrino-Hypothese in Einklang, 2% sprachen für  $\nu_e$ -Prozesse, die aber eine Deutung als Hintergrundereignisse ohne weiteres zulassen.

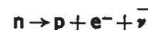
### 2. Das W-Boson

Wie schon bei anderen Gelegenheiten an dieser Stelle berichtet wurde, sucht man seit längerer Zeit nach den Quanten des Feldes der schwachen Wechselwirkungen, die analog zu den Quanten des elektromagnetischen und des Kernfeldes — Photonen und Pionen — bei Übergängen zwischen verschiedenen Energiezuständen entstehen müßten. Ebenso wie die Coulombkräfte durch virtuellen Photonenaustausch zwischen geladenen Partikeln erklärt werden, ist man bestrebt, die analogen schwachen Reaktionen — etwa den Ladungsaustausch zwischen Elektron und Neutrino — durch ein virtuelles (=intermediäres) Teilchen, eben das W-Boson, zu erklären. (Sein Spin muß ganzzahlig sein. Bosonen sind Teilchen mit ganzzahligem, Fermionen solche mit halbzahligem Spin wie Elektron, Proton usw.)

Zum Unbehagen der Theoretiker konnte aber noch kein W-Boson gefunden werden. Deswegen bildet die Suche nach ihm einen wichtigen Programmpunkt in sämtlichen Hochenergieversuchsplanungen und war auch

für das große Neutrinoexperiment von CERN vorgesehen. Bei den in Betracht kommenden Umwandlungen ändert sich die Ladung der Reaktionspartner um eine Ladungseinheit, welche vom W-Boson während seines kurzen Daseins weitertransportiert werden müßte. Daraus schloß man auf einen geladenen Zustand des W-Bosons, und das war angenehm, weil sich damit die Möglichkeit elektromagnetischer Beeinflussung anbot.

Der Spin des W-Teilchens kann nicht verschwinden, da es bei der Reaktion den Spin eines Primärteilchens aufnimmt und an ein sekundäres weitergibt, wie dies zum Beispiel bei der Umwandlung



der Fall ist. Das Neutron besitzt ja trotz fehlender Ladung einen Eigendrehimpuls.

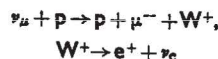
Um das W-Boson nachzuweisen, müssen die Folgerungen aus seiner Existenz mit der Wirklichkeit verglichen werden. Eine solche Konsequenz wäre die Verkleinerung der elastischen Streuung, sie ist aber noch nicht überprüfbar, weil sie erst bei höheren Neutrinoenergien merklich wird als denen, die heute verfügbar sind.

Daher erwog man, das unbekannte Teilchen direkt zu erzeugen. Man hoffte, durch Einwirkung starker Coulombfelder das Ziel erreichen zu können, etwa durch sehr jähes Abbremsen von Neutrinos (analog zur elektrischen Bremsstrahlung, welche aus Photonen, den Quanten des elektrischen Feldes, besteht). Wie die Theorie zeigt, hängt die Stärke eines solchen Effekts davon ab, den Term

$$\frac{M_W^2}{2 \cdot E_\nu}$$

möglichst klein zu machen. In ihm bedeutet  $M_W$  die Masse des W-Bosons und  $E_\nu$  wieder die Neutrinoenergie. Man erkennt auf den ersten Blick, daß für eine Realisierung der Forderung um so höhere  $E_\nu$ -Werte notwendig sind, je größer die W-Masse ist. Somit ist auch die direkte W-Produktion auf extreme Energien angewiesen. Allerdings, ist es einmal gelungen, den Durchbruch durch Überschreiten der Energieschwelle zu erzielen, dann wächst der Wirkungsquerschnitt sehr rasch mit weitersteigender Energie.

Die Versuchsreihe brachte nur ein einziges Ereignis, welches als die Reaktion



deutbar gewesen wäre. Auf Grund der vorhin gemachten Bemerkung über  $\frac{M_W^2}{2 \cdot E_\nu}$  kann nunmehr gesagt werden,

daß ein W-Boson mit einer kleineren Masse als 1,36 GeV/c<sup>2</sup> nicht existiert. Inzwischen hat sich durch andere Experimente diese untere Grenze auf 1,8 GeV/c<sup>2</sup> erhöht. Wir haben es hier mit einer Frage zu tun, deren Beantwortung mit dem Bau stärkerer Beschleuniger steht und fällt.

### 3. Erzeugung von Hyperonen bei Neutrinoreaktionen

Wie bei allen Kollisionen hoher Energie werden auch bei den hier behandelten mitunter Hyperonen erzeugt. Es hat ganz den Anschein, als ob die Bildung derselben

paarweise vor sich ginge. Die niedrige Anzahl der einschlägigen Ereignisse reicht jedoch nicht aus, die Ausschließlichkeit dieses Prozesses als gesichert zu betrachten. Auch die Regel

$$\Delta Q = \Delta S$$

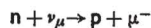
scheint sich zu bestätigen. Sie hat die Änderung der elektrischen Ladung  $Q$  und der Strangeness  $S$  zum Gegenstand. Im Falle ihrer Gültigkeit müssen sich Ladung und Strangeness stets um denselben Wert ändern.  $S$  erhält man als Differenz von Hyperladung  $Y$  und Baryonenzahl  $A$

$$S = Y - A.$$

Die Baryonenzahl der schweren Teilchen ist  $+1$ , die ihrer Antiteilchen  $-1$ . Mesonen und Leptonen haben die Baryonenzahl  $A=0$ . Bei Atomkernen ist die Baryonenzahl gleich der Anzahl der im Kern gebundenen Nukleonen. Antideuteronen  $\bar{d}=(\bar{p}, \bar{n})$  haben  $A=-2$ , weil sie aus einem Antiproton und einem Antineutron zusammengesetzt sind.

#### 4. Elastische und unelastische Reaktionen

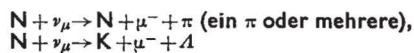
Die Reaktion



(Keine Erzeugung zusätzlicher Teilchen!)

ist ein elastischer Prozeß, mit dem auch ein Ladungsaustausch verbunden ist. Aus den beobachteten Energien können Rückschlüsse auf die Formfaktoren des Neutrinos gezogen werden. (Über den Formfaktor der Nukleonen wurde in dem Aufsatz „Die Streuung von Elektronen an Nukleonen“ in Nr. 3 vom Sept. 1963 der „Wiss. Nachr.“ auf S. 7—9 berichtet.) Genauso, wie das Nukleon zwei Formfaktoren besitzt — einen elektrischen und einen magnetischen —, muß auch beim Neutrino zwischen zwei Formfaktoren unterschieden werden. Soweit man Bescheid weiß, sind sie mit denen des Nukleons identisch. In dieser Richtung ist aber wohl noch so gut wie alle experimentelle Arbeit zu leisten.

Unelastische Streuung liegt vor, wenn sich ein Teil der Stoßenergie materialisiert wie etwa bei den Prozessen



usw.  $N$  ist das Symbol für ein Nukleon, das heißt für  $n$  oder  $p$ .

Der unelastische Wirkungsquerschnitt übertrifft erheblich den elastischen. Letzterer nähert sich bei wachsender Energie dem Wert  $\sigma = 4 \cdot 10^{-39} \text{ cm}^2$  asymptotisch.

#### 5. Neutrale und geladene „Ströme“

Das intermediäre Teilchen, das den Übergang zwischen Anfangs- und Endzustand interagierender Partikeln vermittelt, kann elektrisch geladen oder neutral sein. Man spricht dann von geladenen beziehungsweise neutralen Strömen (charged currents und neutral currents). Was das  $W$ -Boson betrifft, weisen 97% aller Fälle auf geladene Ströme hin, welche, wie oben bemerkt, zu Ladungsaustausch führen.

Es wurde festgestellt, daß der Übergang von Kaonen in Myonen und  $\mu$ -Neutrinos nicht gleichzeitig auch Elektronenneutrinos produzieren kann.

Zusammenfassend darf gesagt werden, daß das umfangreiche und mit größtem Scharfsinn durchgeführte Neutrinoexperiment des europäischen Kernforschungsinstitutes bei Genf zwar eine Fülle von bisher unbekanntem Fakten und Beziehungen zutage förderte, aber nur eine Tatsache wirklich zweifelsfrei erwiesen hat: die Verschiedenheit des Myonenneutrinos vom Elektronenneutrino.

Um die anderen Probleme ebenfalls einer Klärung zuzuführen, wäre eine Vermehrung der beobachtbaren Ereignisse mindestens um den Faktor 10 nötig. Das kann mit zwei Methoden angestrebt werden. Entweder man baut größere Beschleunigungsanlagen als die zur Zeit in Betrieb stehenden oder man vergrößert die Abmessungen der Blasenkamern ausreichend.

Die Fertigstellung eines Riesensynchrotrons beansprucht eine erkleckliche Reihe von Jahren. Trotz der allseits ge-

leisteten Planungsarbeiten werden wir noch ziemlich lange auf die Verwirklichung dieses Wunschtraumes warten müssen. Lediglich in der UdSSR geht ein 70-GeV-Synchrotron der nahen Vollendung entgegen, dessen Leistung aber nicht allzu hoch über den bereits verfügbaren Werten liegt.

Daher denkt man daran, Blasenkamern zu konstruieren, deren Fassungsvermögen 10 t schwerer Flüssigkeit beträgt. In ihnen werden bedeutend mehr Reaktionen wahrnehmbar sein als in den kleineren, die wir jetzt besitzen. Man darf aber nicht glauben, daß ein solches Ungetüm auf eins, zwei fertiggestellt wäre. Auch dabei handelt es sich um viele Monate wenn nicht Jahre.

Der letzte Ausweg heißt Höhenstrahlung. Ihre Untersuchung, die am Anfang der Hochenergiephysik stand, wird damit wieder aktuell. In tiefen Bergwerkschächten Indiens und Südafrikas entstehen große Neutrinodetektoren, die uns hoffentlich ein wenig weiterhelfen werden. Daß bei ihnen der Zufall den Ton angibt, ist allerdings ein schwer zu verwindender Nachteil. Die Kraft des menschlichen Geistes wird aber auch diese Schwierigkeiten meistern.

#### Literatur:

1. CERN Courier, März 1965, S. 38. G. Plass: On experimental neutrino physics.
2. Proc. Roy. Soc., 20. April 1965, Nr. 1401, Bd. 285, S. 191. D. H. Perkins: High energy neutrino experiments.

## Massenbestimmung von Galaxien

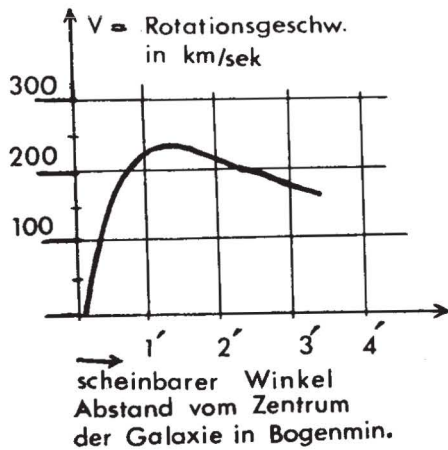
Im Zusammenhang mit der aufsehenerregenden Entdeckung der Quasars wurden wiederholt Angaben über die Masse von Galaxien gemacht, denen auch der abgebrühte Physiker nur mit einer gewissen Skepsis begegnet. Es dürfte daher von Interesse sein, zu erfahren, aus welchen Beobachtungen und Überlegungen die publizierten Werte resultieren.

Die wichtigste Voraussetzung ist selbstverständlich eine ausreichende Lichtstärke des Objekts, denn nur dann können detaillierte Vermessungen der Spektrogramme vorgenommen werden. Daher betreffen die Massenangaben ausschließlich solche Galaxien, deren Nähe eine große scheinbare Helligkeit gewährleistet.

Die naheliegende Methode der direkten Sternauszählung versagt, weil die Kerne der Galaxien nicht einmal vom stärksten Teleskop in Einzelsterne aufgelöst werden.

Mit Hilfe der Dopplerverschiebung ist es jedoch möglich, die Rotationsgeschwindigkeit der Sterne, die sich um die Achse der Galaxis drehen, festzustellen. Zu diesem Zwecke wird der Spalt des Spektrometers so in den Strahlengang des aus dem Fernrohr tretenden Lichts gebracht, daß das Zentrum der Galaxie in einem Endpunkt des Spalts — etwa dem unteren — erscheint. Verfolgt man den Spalt nach oben, so stammt das durchgehende Licht aus radial immer weiter vom Mittelpunkt der Galaxie entfernten Gebieten. Im Falle einer Rotation des Systems um das Zentrum nimmt also die Dopplerverschiebung zu, und die Spektrallinien stehen nicht mehr senkrecht auf der  $\nu$ -Achse des Spektrums, sondern verlaufen zu ihr geneigt. Geradlinige Form der geneigten Linien bedeutet Rotation mit konstanter Winkelgeschwindigkeit. Hängt jedoch die Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  von der Radialentfernung ab —  $\omega = \omega(r)$  —, dann sind die Linien gekrümmt und geben quantitative Informationen über die azimuthalen Sternbewegungen in der Galaxie.

Bekanntlich berechnet man die Sonnenmasse aus den Bahnraden und der Winkelgeschwindigkeit der Planeten mit Hilfe der Keplerschen Gesetze. Ganz analog liefert die Verteilung der Winkelgeschwindigkeiten entlang dem Radius einer Galaxie nicht nur die Gesamtmasse, sondern sogar — genügende Lichtstärke vorausgesetzt — die innere Massenverteilung. Selbstredend handelt es sich dabei um ziemlich rohe Werte, aber die Größenordnung liegt einigermaßen fest, und das ist bei derart entfernten Objekten ein schöner Erfolg.



**Abb. 9**

Abb. 9 zeigt ein  $r-v_{\text{rot}}$ -Diagramm des Systems NGC 5055. Abszisse ist der scheinbare Abstand  $r$  vom Mittelpunkt der Galaxie in Bogensekunden, Ordinate ist die gemessene Rotationsgeschwindigkeit  $v_{\text{rot}}$ . Die Galaxie NGC 5055 besitzt danach ungefähr  $10^{11}$  Sonnenmassen, das sind etwa  $10^{44}$  g.

Sinclair Smith entwickelte eine andere Methode, welche Galaxienhaufen, wie sie etwa in der nördlichen Krone auftreten, als dynamische Gesamtheit betrachtet, die von den gegenseitigen Schwerkraftwirkungen zusammengehalten wird. Ist dies der Fall, dann müssen die Relativgeschwindigkeiten je zweier Galaxien des Haufens unterhalb der Fluchtgeschwindigkeit des Systems bleiben. Mißt man also viele Geschwindigkeitsdifferenzen, so ist ihr Maximalwert sicher kleiner als die Fluchtgeschwindigkeit, die in berechenbarer Weise von der Gesamthaufenmasse abhängt. Durch Abzählen der Galaxien des Haufens — das geht — erhält man dann die mittlere Masse einer Galaxie. Das ist eine erheblich unzuverlässigere Methode. Tatsächlich fand Smith 10- bis 100mal größere Werte im Vergleich zur ersten Methode.

Dafür gibt es — abgesehen von der Möglichkeit grober Meßfehler — zwei Erklärungen. Entweder fliegt der Haufen auseinander — die Relativgeschwindigkeiten überträfen in diesem Falle teilweise die Fluchtgeschwindigkeit — oder die Raumkrümmung, wirkungsmäßig verstärkt durch ausgedehnte Dunkelmassen, die sich unserer Beobachtung entziehen, fälscht die Meßwerte.

Schließlich werden in ähnlicher Weise Galaxienpaare herangezogen. Sie liefern recht ordentliche Werte, ganz analog zu den Doppelsternen. Auf Grund der Auswertung der Bewegungen von 52 solchen Paaren ergab sich, daß elliptische Systeme rund 30mal mehr Masse enthalten als Spiralnebel.

**Literatur:** Sky and Telescope, Jänner 1965, S. 4. T. N. Page: The Evolution of Galaxies.

## Die Beobachtung von irregulären rasch veränderlichen Sternen

Die irregulären Veränderlichen sind ungemein interessante Himmelsobjekte, weil wir über den ihrer sprunghaften Lichtabstrahlung zugrunde liegenden Mechanismus so gut wie nichts wissen. Das Interesse wird noch weiter durch die Schwierigkeit gereizt, die Vorgänge spektroskopisch zu verfolgen. Zwischen den einzelnen Lichtausbrüchen liegen manchmal nur wenige Minuten, manchmal Stunden, so daß die Photographie des Spektrums im jeweilig richtigen Augenblick fast nie gelingt. In jüngster Zeit stieß man in Cambridge (England) gar auf einen Quasar, dessen Helligkeit buchstäblich von Sekunde zu Sekunde wechselt, ohne irgendwelche Regelmäßigkeiten erkennen zu lassen. Die Abmessungen eines Quasars sind

so groß, daß einheitliche Veränderungen der Gesamtlichtemission völlig rätselhaft erscheinen. Man denkt im letzten Falle sogar an die Möglichkeit von Szintillationen der interstellaren Materie, ganz analog dem Blinken der Fixsterne, das die Lufthülle der Erde verursacht. Wenn allerdings die Pausen zwischen den Ausbrüchen einmal die Größenordnung von Minuten, dann wieder von Stunden haben, wie das beispielsweise bei AE Aquarii zutrifft, dann kommt man mit dieser Erklärung nicht durch, welche im übrigen die Frage nach den Vorgängen in der interstellaren Materie, die zu solchen Szintillationen Anlaß geben könnten, offen läßt.

Auf AE Aquarii wurde 1954 A. H. Joy aufmerksam. Es ist dies ein variabler spektroskopischer Doppelstern mit dem Helligkeitsminimum bei  $12,5^m$ . Die Lichtkurve ist total irregulär. Trotz der Beobachtung mit dem 120-Zoll-Reflektor der Licksternwarte mißlang die Aufnahme von Spektrogrammen in den kritischen Phasen. Erst der Einsatz elektronischer Geräte, der 1960 begann, brachte brauchbare Ergebnisse.

Im Sommer 1964 ging man zu einer neuen Aufnahmetechnik über, die sich glänzend bewährte. Normalerweise wird das Spektrum des Sternes auf einen fixen Streifen der Photoplatte abgebildet und die Zeitpunkte des Photographierens sowie die Dauer der Belichtung auf gut Glück gewählt. Die Chance, bei solchem Vabanquespiel eine kritische Situation anzutreffen, ist natürlich äußerst gering. Daher entschloß man sich, das Bild des Sternes entlang der Längsausdehnung des Spektrometerspalts gleichförmig zu verschieben. Auf der Platte erscheint dann eine Art Film des Spektrums, der alle zeitlichen Veränderungen festhält. Das Zeitaufklärungsvermögen der Vorrichtung war 5 min. Wenn man zum Beispiel das Gerät 1 Stunde lang arbeiten läßt, zeigt die Platte ein Rechteck, dessen Höhe parallel zum Spalt liegt. Greift man aus diesem Rechteck einen waagrechten Streifen (also senkrecht zur Höhe) heraus, so erhält man das durchschnittliche Spektrum während des Zeitintervalles, in dem das Spektralbild des Sternes die Streifenhöhe durchfährt.

Was kann diesen „gefilmten“ Spektren entnommen werden?

Da ist einmal die Neigung der Spektrallinien sehr aufschlußreich. Sie ändert sich mit der Richtung und der Geschwindigkeit der Massentransporte in der Sternphotosphäre, weil unter diesen Umständen die Dopplerverschiebung zeitlich variabel ist. Während einem Riesenflare bricht Materie aus und bewegt sich auf uns zu, die Linien wandern gegen Violett. Beim Zusammensacken tritt der entgegengesetzte Effekt ein.

Außerdem gelangt bei den großen Ausbrüchen Materie aus dem Inneren an die Oberfläche des Sternes. Das Innere enthält oft andere chemische Elemente als die Photosphäre (oder zumindest abweichende Konzentrationen). Das äußert sich im zeitweiligen Erscheinen neuer Linien, während gleichzeitig einige bereits vorhandene Abschwächungen erleiden, vielleicht sogar ganz verschwinden. Die Geschwindigkeit der ausgeworfenen Massen kann überdies gemessen werden.

Neben den geschilderten Veränderungen zeigten sich auch feine waagrechte Linien, die nichts anderes darstellten als kurzfristig auftretende kontinuierliche Spektren. Im Verlaufe eines Riesenflares wird nämlich für einige Augenblicke Licht aus tieferen Schichten sichtbar, in welchen der Druck so hoch ist, daß nur mehr kontinuierliche Emission stattfindet.

Es ist wirklich erstaunlich, wie hoch die Informationskapazität des Lichtes ist, wenn der menschliche Geist alle sich bietenden Möglichkeiten nützt!

**Literatur:**

Sky and Telescope, Jänner 1965, S. 23. M. F. Walker: New Observation of AE Aquarii. Ferner S. 26. Twinkle, Twinkle, Little Quasar.

## Radarecho von Mars und Jupiter

In Nr. 8 der „Wiss. Nachr.“ konnte von einem ersten großen Erfolg des Radioteleskops in Arecibo berichtet werden. Es war die Bestimmung der Eigendrehdauer der Venus (247 Tage im gegenläufigen Sinn). Inzwischen ist dort noch ein schwieriges Experiment geglückt, das einen

eindrucksvollen Beweis für den hohen Standard der Radioastronomie repräsentiert.

Man hat am 19. November 1964 vom Planeten Mars, der sich damals in einer Entfernung von rund 250 Millionen Kilometer von der Erde befand, ein Radarecho empfangen. Das ist eine hervorragende Leistung, wenn man in Erwägung zieht, daß die Laufzeit des Lichtes hin und zurück 28 min beträgt und die Amplitude des auf der Erde eintreffenden reflektierten Signals mit der vierten Potenz der Entfernung abnimmt.

Die Echomessungen werden bis Juli 1965 — offenbar dem Zeitpunkt des Vorbeifluges des Marssonde — fortgesetzt werden.

Eine noch beachtlichere Leistung gelang in den Monaten September/Oktober 1963 den russischen Radioastronomen, welche ein Radarecho vom Jupiter empfingen, der zu diesem Zeitpunkt gar 600 Millionen Kilometer von der Erde entfernt war. Die Gesamtlaufzeit des Signals hin und zurück betrug 1 Stunde und 6 Minuten. Jupiter wurde mit 100 kW angestrahlt, die sichtbare Oberfläche des Planeten traf ein Energiestrom von 13 Watt, nur 10% wurden reflektiert!

Davon kamen  $3,4 \cdot 10^{-21}$  W zum Empfänger zurück. Die benützte Frequenz lag bei 700 MHz.

#### Literatur:

1. Sky and Telescope, Juli 1964, S. 24: Radio Observations of Jupiter. Jänner 1965, S. 26: Radar to Distant Mars.
2. Die Naturwissenschaften, Heft 3, März 1964, S. 113. Radarkontakt mit Jupiter.

## Holländisches Radioteleskop als ausgedehntes Antennensystem

Je größer die Erfolge eines bestimmten Zweiges der Wissenschaft sind, desto größer werden die Anforderungen an die experimentelle Ausrüstung. Denn nur verfeinerte Methoden sind imstande, im Verlaufe der Forschungen neu anfallende Fragen weiter zu verfolgen.

In der Radioastronomie strebt man zu immer höherem Auflösungsvermögen, um die optischen mit den Radio-positionen besser vergleichen zu können. Diesem Bedürfnis entsprang der Entschluß zum Bau der Anlage in Areibo, und dasselbe Bedürfnis veranlaßt nun Holland zur Errichtung eines Antennensystems, das im Zusammenwirken seiner Elemente eine noch nirgends erreichte Auflösungsgüte erzielen wird.

In der Provinz Drente entstehen zur Zeit 10 Radioteleskope von je 25 m Durchmesser, die in Abständen von 150 m in Ost-West-Richtung montiert werden. Durch automatische Synchronisierung wird es möglich sein, mit sämtlichen Antennen gleichzeitig denselben Punkt am Himmel zu erfassen. Das System ist daher einem Teleskop von 1350 m Durchmesser äquivalent. Kostenpunkt: 110 Millionen Schilling.

Literatur: Sky and Teleskop, Jänner 1965, S. 10. Composite Radio Telescope for the Netherlands.

## Sterndatierung mittels Lithium?

Die Astronomie ist längst zu einer umfassenden Physik des Himmels geworden, in der die Entwicklung und das Alter der Sterne eine wichtige Rolle spielen. Gewisse Phasen im Leben eines Sternes scheinen auch bereits richtig erkannt zu sein.

Seine Geburt vollzieht sich offenbar dort, wo aus irgendwelchen Gründen Verdichtungen der interstellaren Materie der Schwerkraft einen Angriffspunkt für ihr Wirksamwerden bieten. Freilich, auf welche Weise Dichtehomogeneitäten lange genug aufrecht bleiben, bis die unver-

meidliche (anfänglich unsagbar geringfügige) Schwerekontraktion so weit fortgeschritten ist, daß von einem Stern gesprochen werden kann, ist vorläufig noch in tiefes Dunkel gehüllt.

Dieser Sternbildungsprozeß ereignet sich vor allem in den Gasmassen der Spiralarme unserer Milchstraße.

Die Kontraktion ist von Erwärmung begleitet, der entstehende Stern beginnt zu leuchten. Bei  $1800^\circ$  ändert sich die Art der Kontraktion, bis die weiter ansteigende Temperatur dem Schwerezusammenbruch Einhalt gebietet, weil Schwerkraft und Innendruck einander das Gleichgewicht halten. Das ist der Augenblick, in welchem die Geburtsphase des Sternes als abgeschlossen anzusehen ist und sein Eigenleben beginnt.

Obwohl er ungefähr Sonnenmasse besitzen dürfte, übertrifft sein Durchmesser den unseres Taggestirns mehrere dutzendmal. Außerdem ist seine Oberfläche in stärkster Bewegung begriffen, gigantische Ausbrüche schleudern Materie wieder ins Weltall zurück, und die Emission der elektromagnetischen Strahlung ist erheblichen Schwankungen unterworfen. Der Stern gehört nun dem T-Tauri-Typus an. Der Zustand jugendlichen Ungestüms dauert natürlich nicht ewig, nach einigen Millionen Jahren haben sich die Verhältnisse stabilisiert, und wir sehen einen Himmelskörper, der sich von unserer Sonne kaum unterscheidet.

Es wäre sehr schön, wenn ein Verfahren existierte, mit dessen Hilfe bei jedem Stern vom Sonnentypus die Zeit seit der Beruhigung der T-Tauri-Phase angegeben werden könnte. Seit 1957 besteht eine gewisse Hoffnung, dieses Alter zu ermitteln. Man hat nämlich bei der Vermessung von Spektren bemerkt, daß der Lithiumgehalt der T-Tauri-Sterne den Anteil dieses Elements an der Sonnenphotosphäre um den Faktor 50 bis 400 übertrifft. Wenn sich daher die Sonne (und alle ihr ähnlichen Sterne) aus dem T-Tauri-Zustand entwickelt haben, muß es einen Li-konsumierenden Prozeß geben, der die allmähliche Verarmung an diesem Stoff herbeiführt. Ist dem aber so, dann wäre der tatsächliche Li-Gehalt ein guter Anhaltspunkt für Altersbestimmungen.

Wahrscheinlich sind Meteoriten erkaltete Sonnenmaterie, die sich schon sehr frühzeitig vom kollabierenden Sonnenkörper getrennt hat. Falls dies zutrifft, wäre der Li-Gehalt eines Meteors gleich der Konzentration des Elements in der Sonne zur Zeit der Separation. Meteoriten enthalten 3% Li.

Die Prüfung des Li-Gehaltes von Sternen ist schwierig, weil die Li-Linien ziemlich schwach sind. Die Linienintensitäten hängen von der Wahrscheinlichkeit des betreffenden Elektronenübergangs in der Atomhülle ab. Bei bekannter Temperatur gestattet daher der Vergleich der Intensitäten von Li- und anderen Linien den Schluß auf die Mengenverhältnisse der zugehörigen Elemente.

Die Licksternwarte hat an die 100 Sterne auf Li hin untersucht und die daraus resultierenden Altersberechnungen den Ergebnissen anderer Methoden gegenüber gestellt und ganz gute Übereinstimmung gefunden. Leider liegen jedoch auch andere Beobachtungen vor, die nicht in das Schema passen.

Man kennt Haufen eng benachbarter Sterne, vermutlich übereinstimmenden Alters, deren Li-Gehalt trotzdem starke Unterschiede aufweist, zum Beispiel die Hyadensterne. Möglicherweise könnte das Gas, aus dem die Sterne des Haufens seinerzeit entstanden, räumlich uneinheitlichen Li-Gehalt gehabt haben. Oder aber — und dafür spricht einiges — die Geschwindigkeit der Li-Vernichtung ist nicht immer dieselbe.

Vermutlich strömt ständig Materie — darunter auch Lithium — vom Inneren eines Sternes zur Oberfläche und passiert eine Zone mit der Temperatur von 2 Millionen Grad. Treffen Protonen dieser Energie auf Li, so erfolgt eine Umwandlung in He. Je kleiner der Sterndurchmesser, desto tiefer reichen die Konvektionen, desto rascher erfolgt die Umwälzung des Materials und desto rascher wird Li aufgebraucht.

Ein noch unbetretenes Forschungsgebiet sind analoge Untersuchungen mit Be, das zwar wesentlich schwerer durch Protonenbeschuß zu zerstören ist als Li, aber doch zu zerstören ist.

Auch das Isotopenverhältnis  $Li^6:Li^7$  vermag wertvolle Aufschlüsse zu geben, weil es sich im Laufe der Zeit rasch verschiebt. Die Zerstörungsrate von  $Li^6$  ist nämlich 75mal

so groß wie die von  $\text{Li}^7$ . Der Massenunterschied der beiden Li-Kerne ist 17% und bewirkt geringfügige Linienverschiebungen, die als feinste Linienaufspaltungen erfaßt werden. Da dies eine besonders heikle Angelegenheit ist, wurden erst 15 Sterne in der angedeuteten Richtung beobachtet.

Ferner ist ein T-Tauri-Stern bekannt, dessen Zusammensacken erst vor 30 Jahren beendet war. Sein Li-Gehalt ist 80mal größer als der der Sonne.

Die unverdrossene weitere Beobachtung wird, wie zu hoffen ist, so viel Material zu Tage fördern, daß aus dem Li-Gehalt eines Sternes vom Sonnentyp das Alter verläßlich zu erschließen ist.

**Literatur:** Umschau i. W. u. T., Heft 2, 15. 1. 1965, S. 40. G. Herbig (Licksternwarte): Junge Sterne, Lithium und Sternentwicklung.

## Untersuchung der primären Höhenstrahlung vom Satelliten IMP-1 aus

Die Beobachtung der kosmischen Höhenstrahlung von Ballons oder hochfliegenden Raketen aus ist unbefriedigend, weil sich die Aufnahmegereäte noch zu nahe der Erdoberfläche bewegen. Weder die Sekundärstrahlung der Lufthülle noch das irdische Magnetfeld sind genügend reduziert, die als „Hintergrund“ bezeichnete Störstrahlung fälscht die Ergebnisse.

Aus diesem Grunde wurde der Satellit IMP-1 (= Explorer XVIII) mit Geräten ausgestattet, welche die ersten exakten Messungen des Energiespektrums der primären Höhenstrahlprotonen im Bereich 15—75 MeV und der primären Höhenstrahlelektronen im Bereich 3—12 MeV gestatteten.

Das Apogäum des Satelliten war 193.000 km hoch und damit allen störenden Einflüssen entzogen. Als Beobachtungszeitraum wählte man das einem Sonnenfleckenminimum vorangehende Halbjahr. Um auch eventuelle langfristige Veränderungen des Teilchenstroms festzustellen, zerlegte man das Halbjahr in zwei selbständige Beobachtungsperioden vom 8. 12. 1963—14. 3. 1964 und vom 22. 3. 1964—6. 5. 1964.

**a) Primäre Protonen.** Ihre Intensität war 19 Protonen/ $\text{m}^2 \cdot \text{sek} \cdot \text{sterad}$ , das ist etwa 1% Prozent der gesamten Primärstrahlung. Die Intensität bei 15 MeV war 5mal kleiner als bei 75 MeV. Die langsame Veränderung des Teilchenstroms betrug weniger als 10%, kurzfristige Variationen fehlten.

Die primären Protonen und  $\alpha$ -Teilchen stammen aus drei Prozessen:

1. Beschleunigung am Produktionsort, zum Beispiel Synchrotronstrahlung;
2. Diffusion durch die Milchstraße;
3. Einfluß der Sonne.

**b) Primäre Elektronen.** Beobachtet wurde mit einem Szintillatorteleoskop in jenen Zeitintervallen zwischen 27. 11. 1963 und 6. 5. 1964, in denen IMP-1 mindestens 125 000 Kilometer von der Erde entfernt war. Die Intensität im Bereich 2,7—7,5 MeV betrug normalerweise  $210 \pm 10$  Elektronen/ $\text{m}^2 \cdot \text{sek} \cdot \text{sterad}$ , stieg aber gelegentlich auf  $310 \pm 20$  Ereignisse an. Die häufigen Anstiege des Elektronenflusses erfolgten selbständig, das heißt, ohne von gleichgerichteten Veränderungen der kosmischen Gesamtstrahlung begleitet zu sein. Letztere schwankte nur um 5%.

Umgekehrt verstärkte der Sonnenflare am 16. 3. 1964 den Protonenstrom um einige Größenordnungen, während die Elektronenintensität um weniger als 50% anwuchs.

Dieser Umstand sowie der gleiche Gang der Flußschwankungen in den Bereichen bedeutend höherer Elektronenenergie spricht für den galaktischen Ursprung der primären Elektronen. Doch liegen noch zu wenige Daten vor, um diese Frage endgültig zu entscheiden.

**Literatur:** Phys. Rev. Lett., 18. 12. 1964, S. 783, F. B. McDonald, G. H. Ludwig: Measurement of Low-Energy Primary Cosmic Ray Protons on IMP-1 Satellite. Ferner im gleichen Heft, S. 786, dieselben Autoren: Detection of Interplanetary 3-12 MeV Electrons.

## Neue Testmöglichkeit zur Überprüfung der allgemeinen Relativitätstheorie

Die experimentelle Prüfung der allgemeinen Relativitätstheorie ist wegen der Kleinheit der Effekte erst in ganz wenigen Fällen möglich gewesen und hat eben aus diesem Grunde noch keine eindeutigen Beweise oder Widerlegungen gezeitigt, wenn man von den neueren Messungen der Rotverschiebung in Schwerfeldern absieht, welche mit Hilfe des Mössbauereffekts von Rebka und Pound durchgeführt wurden. (Siehe Wiss. Nachr., Nr. 1, S. 4.)

I. I. Shapiro vom M.I.T. schlägt nun vor, die Abhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit  $c$  vom Schwerepotential auszunutzen, die eine Konsequenz der allgemeinen Relativitätstheorie ist. Die Planeten Merkur und Venus befinden sich im Zeitpunkt ihrer größten Entfernung von der Erde — von dieser aus betrachtet — in unmittelbarer Nähe der Sonnenscheibe am Himmel. Wenn sie auch wegen der Blendung durch das Licht der Sonne optisch nicht wahrnehmbar sind, ist es mit den Mitteln der Nachrichtentechnik möglich, von ihnen in jeder Position Radarechos zu empfangen, ausgenommen Annäherungen unter  $1^\circ$ . Bestünde ein Einfluß des Gravitationsfeldes auf  $c$ , so würde sich das Eintreffen des Radarechos ein wenig verzögern, wenn der Strahlengang knapp an der Sonne vorbeiführt. Bei Merkur betrüge die Verzögerung  $2 \cdot 10^{-4}$  sek, was einer zusätzlichen Wegstrecke von 60 km entspricht. Die Anlage in Arecibo ist imstande, diesen Zeitunterschied mit einem Fehler von höchstens 10% zu messen.

Die nächsten nahen Vorbeigänge ereignen sich bei

**Merkur** am 11. 6. 1965 mit dem Minimalabstand von  $1^\circ$  und am 27. 5. 1966 mit dem Minimalabstand von  $30'$ ;

**Venus** am 12. 4. 1964 mit dem Minimalabstand von  $1^\circ$  und am 9. 11. 1966. Dieser Vorbeigang ist jedoch nicht in Arecibo zu beobachten.

**Literatur:** Phys. Rev. Lett., 28. 12. 1964, S. 789. I. I. Shapiro: 4th Test of General Relativity.

## Der fernste Quasar

Die Beschäftigung mit den Quasars bringt jeden Augenblick neue Rekorde. Diesmal meldet die Zeitschrift Physics Today im Juni 1964 auf Seite 75 die Entdeckung einer Dopplerverschiebung im Ausmaße von  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 0,545$  bei dem Objekt 3C147, dem eine Fluchtgeschwindigkeit von 123.000 km/sek entspricht. Entfernungsangaben können bei solchen Rotverschiebungen nicht mehr gegeben werden, weil es bei der Umrechnung darauf ankommt, welche kosmologische Theorie den Rechnungen zugrunde gelegt wird. Jedenfalls ist der Abstand von 3C147 um 10 bis 20% größer als die Entfernung der bisher fernsten Quelle 3C295.

Die größten Fluchtgeschwindigkeiten von Quasars waren Ende 1964:

Objekt	Dopplerverschiebung 100	Fluchtgeschwindigkeit $v$
3C 273	15%	0,135 · c
3C 48	36%	0,3 · c
3C 295	42%	0,37 · c
3C 147	54,5%	0,41 · c

# Erste Ansätze zur Neutrinoastronomie

Nr. 4 der „Wissenschaftlichen Nachrichten“ enthielt einen Aufsatz über Neutrinoastronomie (S. 2, Das Neutrino als kosmischer Informationsträger), in dem die Kernprozesse beschrieben wurden, aus denen die Sterne ihre laufenden Strahlungsverluste decken. Es handelt sich um thermonukleare Reaktionen, die in der heißesten Zentralzone ablaufen, wobei ständig riesige Mengen von Neutrinos entstehen und — beladen mit mehr oder weniger Energie, je nach dem Vorgang, welchem sie entstammen — den Stern auf Nimmerwiedersehen verlassen. Wären wir instande, diesen Neutrinostrom energetisch zu analysieren, so wüßten wir sehr, sehr viel über das Innenleben und den Entwicklungsgang der Sterne. Wir müßten also in der Lage sein, die verschiedenen Energien, die im Bruttoneutrinostrom stecken, zu messen und auch die Häufigkeit, die auf jede Komponente entfällt, zu bestimmen. Mit Hilfe eines solchen Energiespektrums könnten die Zustände im Core der Sterne weitgehend aufgeklärt werden.

Der große Haken bei der Sache ist die absolute Unlust der Neutrinos, mit normaler Materie in Wechselwirkung zu treten. Der Bau von Neutrinoferroskopen hat daher nicht einmal noch Science-Fiction-Reife erlangt.

Die Gelehrten haben deshalb keineswegs die Hände in den Schoß gelegt. Vielmehr versuchen sie mit der ihnen eigenen Hartnäckigkeit, wenigstens die bestehenden Möglichkeiten nach besten Kräften auszunützen und vielleicht doch einen Blick in die am eifersüchtigsten gehüteten Geheimnisse der Natur zu tun.

Für viele Sterne ist die Fusion von Wasserstoff zu Helium die Hauptenergiequelle. Der He-Aufbau kann auf drei Arten vor sich gehen. Wir benützen zur Beschreibung der Reaktionsketten die seit längerer Zeit eingebürgerte Schreibweise, welche sich durch Kürze und Klarheit auszeichnet. Danach bedeutet etwa



daß der Beschuß des Teilchens A (zumeist ein Atom oder Ion) mit der Partikel a die Umwandlung von A in B unter simultaner Emission von b herbeiführt.

## 1. Beispiel



steht für die übliche Gleichung



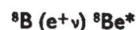
das heißt, beim Beschuß von Wasserstoff mit Protonen wandelt sich gelegentlich ein Proton in ein Neutron um, das sich an einen  ${}^1\text{H}$ -Kern anlagert und ein Deuteron  ${}^2\text{H}$  formt. Gleichzeitig werden Positronen und Neutrinos emittiert.

## 2. Beispiel

Sinngemäß wird unter einem  $(n, \gamma)$ -Prozeß der Beschuß durch Neutronen mit nachfolgender  $\gamma$ -Emission verstanden.

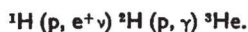
## 3. Beispiel

Falls die Klammer kein Komma enthält, handelt es sich entweder um einen Zerfall allein oder um eine vollständige Fusion. Ladungs- oder Massenbilanz informieren den Leser augenblicklich über die Art des Vorgangs. So steht



für den Zerfall von Bor in ein Positron, ein Neutrino und einen angeregten Be-Kern. (Der Stern ist das Symbol für energetisch angeregte Zustände, die hochgestellte Zahl ist die Massenzahl.)

Nach dieser Abschweifung kehren wir zum eigentlichen Thema zurück. Alle drei Reaktionsketten besitzen eine gemeinsame einleitende Fusionsphase, nämlich die Reaktion



Sie vollzieht sich nur dann, wenn die thermische Energie der kollidierenden Protonen hoch genug ist, das heißt, dort, wo Temperaturen von etlichen Millionen Grad herrschen. Das ist in der Zentralregion der Sterne der Fall. Die freigesetzten Neutrinos entweichen, die Positronen vereinigen sich fast augenblicklich mit Elektronen und werden dabei in zwei  $\gamma$ -Quanten umgewandelt. Sie repräsentieren zusammen mit dem dritten  $\gamma$ -Quant die freiwerdende Energie, die durch Absorption in der umgebenden Materie in kinetische Energie übergeht und den Stern aufheizt.

Für den weiteren Ablauf der Fusion bestehen 3 Möglichkeiten:

- I.  ${}^3\text{He}({}^3\text{He}, 2p) {}^4\text{He},$
- II.  ${}^3\text{He}(\alpha, \gamma) {}^7\text{Be}(e^-\nu) {}^7\text{Li}(p, \alpha) {}^4\text{He},$
- III.  ${}^3\text{He}(\alpha, \gamma) {}^7\text{Be}(p, \gamma) {}^8\text{B}(e^+\nu) {}^8\text{Be}^*(\alpha) {}^4\text{He}.$

Wie man sieht, reproduzieren sich alle  $\alpha$ -Teilchen. Ihre Rolle beschränkt sich auf eine vorübergehende Beteiligung, ohne die Anwesenheit von  ${}^4\text{He}$  im Sternplasma wären allerdings II. und III. unmöglich.

Jede Reaktionskette produziert Neutrinos von charakteristischer Energie, ist also identifizierbar, sobald das Energiespektrum der Neutrinos vorliegt. Wenn unsere Vorstellungen über die Vorgänge in der Sonne stimmen, wäre der solare Neutrinofluß in der Entfernung der Erde

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2$$

$$\Phi_1 = (1,2 \pm 0,5) \cdot 10^{10} \text{ Neutrinos/cm}^2 \cdot \text{sek},$$

$$\Phi_2 = (2,5 \pm 1) \cdot 10^7 \text{ Neutrinos/cm}^2 \cdot \text{sek}.$$

$\Phi_1$  rührt vom  ${}^7\text{Be}$ -Zerfall,  $\Phi_2$  vom  ${}^8\text{B}$ -Zerfall.

Alvarez und Pontecorvo haben auf den Prozeß



hingewiesen, der von Sonnenneutrinos ausgelöst werden kann, falls letztere die Mindestenergie 0,815 MeV besitzen. (Mit anderen Worten: Der Q-Wert der endothermen Reaktion ist  $Q = -0,815 \text{ MeV}$ . Man bezeichnet ihn als Schwellenergie.)

Unter Berücksichtigung aller Wirkungsquerschnitte der beteiligten Partner beträgt die Wahrscheinlichkeit P, daß ein  ${}^{37}\text{Cl}$ -Atom mit einem Sonnenneutrino in einer Sekunde reagiert,

$$P = (4 \pm 2) \cdot 10^{-35}.$$

P übertrifft die Wahrscheinlichkeit für die Auslösung der  ${}^{37}\text{Cl}$ -Umwandlung durch kosmische oder sekundäre Neutrinos um einige Größenordnungen. Daher eignet sich die Reaktion besonders gut für die Untersuchung der Sonne.

J. N. Bahcall und R. Davis jr. stellten in einem Bergwerk in zirka 700 m Tiefe (das entspricht einer abschirmenden Wasserschicht von 1800 m) 2 Behälter mit je 2000 l Tetrachloräthylen  $\text{C}_2\text{Cl}_4$  auf. (Bei den ersten Versuchen wurde mit  $\text{CCl}_4$  gefüllt. Dann erst ging man zu dem weniger giftigen  $\text{C}_2\text{Cl}_4$  über.) Der Behälter wurde vor der Füllung von He-Gas durchströmt, um jede Spur von Argon zu beseitigen.

Die vollen Behälter wurden zunächst 4 Monate im Bergwerkschacht stehengelassen. Hin und wieder erzeugte ein Sonnenneutrino gemäß  ${}^{37}\text{Cl}(\nu, e^-) {}^{37}\text{A}$  ein Atom des Argonisotops  ${}^{37}\text{A}$ . Es ist radioaktiv mit einer Halbwertszeit von 35 Tagen. Nach der viermonatigen Exposition war das radioaktive Gleichgewicht hergestellt, das heißt, es zerfielen ebenso viele  ${}^{37}\text{A}$ -Kerne als neu gebildet wurden, der Behälterinhalt war mit  ${}^{37}\text{A}$  gesättigt.

Der nächste Schritt war die Entnahme des  ${}^{37}\text{A}$  aus dem  $\text{C}_2\text{Cl}_4$ . Das geschah mit gewöhnlichem He von  $78^\circ \text{K}$  und aktivierter Holzkohle, in der sich das Argon ansammelte. Danach wurde es wieder der Holzkohle entzogen und seine Radioaktivität von Proportionalzählern registriert. Das Ergebnis war denkbar mager, nämlich 3(!) Ereignisse in 18 Tagen, gerade so viele wie von der Hintergrundradioaktivität erwartet werden konnten.

Daraufhin entschlossen sich die beiden Physiker, den Versuch in bedeutend größerem Maßstabe zu wiederholen. Tatsächlich setzten sie die Bewilligung zum Bau einer ähnlichen Vorrichtung für zirka 400.000 l  $\text{C}_2\text{Cl}_4$  durch.

Die Montage wurde in der Tiefe von 1350 m (entspricht 4000 m Wasseräquivalent) in Angriff genommen und dürfte zum Zeitpunkt des Erscheinens dieses Heftes schon abgeschlossen sein. Zu erwarten sind 4 bis 11 Ereignisse pro Tag, eine Rate, die verlässliche Aussagen gestattet. Es besteht sogar die leise Hoffnung, die durch die Exzentrizität der Erdbahn verursachten jährlichen Intensitätsschwankungen des solaren Neutrinosstromes im Ausmaß von 7% zur Unterscheidung von kosmischen Neutrinos auszunützen.

Die Neutrinoastronomie hat damit zweifellos die ersten, noch recht unbeholfenen Schritte getan. Wir wollen hoffen, daß ihr ein ebenso steiler Aufstieg bevorsteht, wie er auf vielen anderen Gebieten beobachtet wurde, die auch nicht am Anfang über die elegantesten Methoden verfügten.

#### Literatur:

1. Phys. Rev. Lett., 16. 3. 64, S. 300 und 302. J. N. Bahcall: Solar Neutrinos, I. Theoretical; R. Davis jr.: Solar Neutrinos, II. Experimental.
2. Sky and Telescope, Mai 1964, S. 276. H. Reeves: The Detection of Solar Neutrinos.

## Aus der Mondforschung

Angesichts des immer näherrückenden Zeitpunktes, in dem direkte Untersuchungen unseres Trabanten möglich sein werden, ist es für spätere Vergleiche besonders interessant, einige Ergebnisse der indirekten Mondforschung festzuhalten.

In der letzten Zeit wurden von verschiedenen Seiten Verfärbungen in der Umgebung der Krater Aristarch und Kepler festgestellt, die als Aktivitäten des Mondes oder zumindest als Luminiszenzerscheinungen, hervorgerufen durch den solaren Wind, gedeutet werden. (Siehe Wissenschaftliche Nachrichten, Nr. 6, Oktober 1964, S. 20). Die Entscheidung über die Natur des Phänomens wird wohl erst an Ort und Stelle fallen. In diesem Zusammenhang ist die Existenz eines Briefes von W. Herschel an J. H. de Magellan äußerst bemerkenswert, in dem er am 4. Mai 1783 mitteilt, beim Krater Aristarch einen Lichtpunkt von der Art eines Sternes 4. Größe gesehen zu haben. 11 Tage später äußert er in einem anderen Schreiben die Vermutung, es hätten sich zwei kegelförmige Erhebungen eruptiv gebildet. Im April 1787 sieht Herschel eine ähnliche Erscheinung und spricht in einem späteren Brief von einem Vulkan.

1788 soll Lalande ebenfalls Verfärbungen wahrgenommen haben.

Die Untersuchungen der Mondoberfläche nehmen im Programm vieler Sternwarten einen wichtigen Platz ein. Sie reichen von der kartographischen Aufnahme optisch unterscheidbarer Objekte (derzeit kennt man deren 100.000) bis zu den Radioreflexionen und Polarisationsmessungen.

Die Reflexion von Licht durch den Mond ist schwächer als bei irgendeiner irdischen Gesteinsformation (Albedo des Mondes = 0,07). Man nimmt an, daß die Oberfläche glatt, aber von zahlreichen lotrechten Röhren durchzogen ist (Durchmesser von der Größenordnung  $10^{-4}$  cm). Die rohrartigen Hohlräume verschlucken viel Sonnenlicht, lediglich bei vertikalem Einfall desselben beteiligt sich der Boden der Röhren an der Reflexion. So erklärt man den großen Unterschied zwischen den Helligkeiten von Halb- und Vollmond, deren Verhältnis 1:10 ist.

Für infrarotes Licht tritt Randverdunkelung ein. Die Schwankungen der Infrarotstrahlung weisen auf Scheitelwerte der Temperatur von  $(-151 \pm 3)^\circ \text{C}$  während der Nacht und  $+130^\circ$  zu Mittag hin.

Die Radiostrahlung ändert sich bedeutend weniger, außerdem erscheint ihr Maximum  $3\frac{1}{2}$  Tage nach dem Infrarotmaximum. Offenbar werden die Radiowellen von etwas tiefer liegenden Schichten des Mondbodens reflektiert, was sowohl die Verkleinerung der Intensitätsamplitude als auch die Phasennacheilung zwanglos erklärt. Letztere nimmt mit wachsender Wellenlänge zu, also erhöht sich mit ihr die Eindringtiefe.

In der Tiefe wird die Wärmeleitfähigkeit des Mondmaterials besser, was wohl auf höhere Dichte zurückzuführen ist. Die Dielektrizitätskonstante  $\epsilon = 2,7$  stimmt mit der des Sandes überein.

Die Polarisation des Mondlichtes gleicht weitgehend dem diesbezüglichen Verhalten sehr feiner Vesuviasche. Die „Meere“ dürften Lavafelder sein, die höherliegenden Gebilde Silikate. Die oberste Schicht ist mit Meteorsubstanz vermischt, möglicherweise enthält sie Blöcke, Risse usw., die einige Meter groß sein könnten. Das eigentliche Mondgestein dürfte erst einige Meter unter der Oberfläche beginnen. Nur 1% der Oberflächenelemente weicht um mehr als  $15^\circ$  von der horizontalen Lage ab.

Wie die nachstehenden Überlegungen beweisen, könnte trotz fehlender Atmosphäre Erosion auftreten, die natürlich nicht auf die Tätigkeit von Wasser und Wind zurückgeht, vielmehr in der Brownschen Bewegung ihre Ursache hat.

Die Einschläge von mittleren und großen Meteoriten können durch Artilleriebeschuß von Felsen simuliert werden. Felsen zerfallen dabei in Trümmer und pulverisiertes Material mit einer Korngröße von etwa  $10^{-5}$  cm. In den 4,5 Milliarden Jahren seiner Existenz müßte sich der Mondboden mit einer dünnen Schicht von Meteor- und kosmischem Staub bedeckt haben. Für ein Körnchen der Staubschicht ist als Dichte  $3,3 \text{ g/cm}^3$ , als Mondgewicht  $0,53 \cdot 10^{-18}$  dyn anzusetzen.

Die Temperaturen steigen im Verlaufe eines Mondtages auf einige 100 Grad Kelvin, so daß die mittlere Energie der Brownschen Bewegung eines Körnchens

$$k \cdot T = 1,5 \cdot 10^{-18} \text{ erg}$$

wäre. ( $k$  = Boltzmannsche Konstante). In einem Schwerfeld mit der Gravitationsbeschleunigung  $G$  können Teilchen der Masse  $m$  und der kinetischen Energie  $k \cdot T$  höchstens in eine Höhe  $h$  gelangen, welche sich aus der Gleichung

$$k \cdot T = mGh, \quad h = \frac{kT}{mG}$$

bestimmt. Im gegenständlichen Fall wären das schwach 3 mm. Infolge der Maxwellschen Geschwindigkeitsverteilung, die auch für die Staubpartikeln als richtig anzusehen ist, gibt es natürlich unter ihnen auch solche mit einer höheren als der mittleren Energie  $k \cdot T$ . Daher enthält ein bestimmtes Volumen in der Höhe  $4 \cdot h$  nur mehr  $\frac{1}{100}$  der Körnchen, die dasselbe Volumen unmittelbar über der Oberfläche umschließt. Die Staubschicht des Mondes wäre also ungefähr 1 cm hoch.

Während der Mondnacht nimmt die kinetische Energie der Partikeln rasch ab, die Staubschicht sinkt in sich zusammen. Der ständige Wechsel von heiß und kalt, der in den Schattengebieten der Krater auch bei Tag stattfindet, führt zu allmählichen Staubverlagerungen, die mit einer enorm verkleinerten Dünenwanderung vergleichbar sind. Die mittlere Geschwindigkeit der Teilchen bewegt sich um

$$\bar{v} = 10 \text{ cm/sek.}$$

ein Wert, der winzige Erosionserscheinungen nach sich ziehen kann.

Wäre der Korndurchmesser 10mal größer (das ist  $10^{-4}$  cm), dann betrüge die Dicke der Staubschicht lediglich 0,01 mm und die Erosion wäre bedeutend geringfügiger.

Nach der Landung der ersten bemannten oder unbemannten Raumfahrzeuge auf unserem Begleiter wird sich herausstellen, inwieweit die theoretischen Prognosen mit der Wirklichkeit übereinstimmen, das heißt welches Ausmaß an Zuverlässigkeit ihnen zugebilligt werden darf. Das ist natürlich auch für die Beurteilung anderer indirekt gewonnener Aussagen von größter Bedeutung.

#### Literatur:

1. Sky and Telescope, August 1964, S. 83. B. M. Middlehurst: A Lunar Eruption 1783.
2. Phys. Blätter, Heft 6, Juni 1964, S. 252. E. Stuhlinger: Probleme der Mondphysik.
3. Nature, 31. Oktober 1964, S. 461. Charles B. Berg (M.I.T.): Lunar Erosion and Brownian Motion.



# Genauerer über das Radioteleskop in Arecibo

Die Antenne von 300 m Durchmesser ist in einer Bodenmulde fest montiert, deren Gestalt einer Kugelkalotte ziemlich nahekommt. Die Antenne hat mit Absicht sphärische statt parabolische Form erhalten, damit durch Verschiebung der hoch über dem Boden auf Kabeln beweglich befestigten Einspeisung (der Sender für die Abstrahlung von Impulsen beziehungsweise der Empfänger für die aus dem Weltraum einfallende Radiostrahlung) eine Himmelsfläche von  $20^\circ$  Radius erfaßt werden kann. Arecibo (Portoriko) hat eine nördliche Breite von  $18^\circ$ . Dadurch wird die Untersuchung aller Objekte möglich, deren Deklination in das Intervall zwischen  $-2^\circ$  und  $+38^\circ$  fällt. Dieser Vorteil muß mit einem Verzicht auf Fokussierungsschärfe (sphärische Aberration!), die bei Parabolspiegeln optimal wäre, erkaufte werden. Trotzdem übertrifft der in Arecibo einlangende Energiestrom den des berühmten englischen Radioteleskops von Jodrell Bank um den Faktor 16. Das bedeutet, daß Arecibo noch Strahlungsdichten registriert, die 20.000mal schwächer sind als das von der Anlage erzielte Venusecho.

Auch die Richtwirkung ist hervorragend. Bereits im sphärischen Abstand von  $10'$  von der Achse, des emittierten Radiostrahls ist die Feldstärke auf 50% ihres zentralen Höchstwertes gesunken, falls mit 430 MHz gearbeitet wird. (Als zweite Frequenz sind 40 MHz vorgesehen.)

Sonne, Planeten und Mond sind beobachtbar. Aus der Laufzeitmessung ergab sich 1964 der Abstand zwischen Erde und Venus mit der Genauigkeit von  $\pm 15$  km. Kein Wunder, daß mit einem derart leistungsfähigen Gerät die Eigendrehdauern von Venus und Merkur verläßlich zu bestimmen waren.

Ungeachtet ihres großen Durchmessers betragen die maximalen Abweichungen der Antennenfläche von der idealen Kugelform nur  $\pm 3$  cm und werden vielleicht bald auf  $\pm 2$  cm verringert werden.

Die bevorzugten Forschungsgebiete der nächsten Zeit sind die folgenden:

- a) Messung der Radiostrahlung und der Position von Quasars, insbesondere von 3C48. Die Genauigkeit der Ortsbestimmung wird hinsichtlich Rektaszension und Deklination 15 Bogensekunden betragen. (Die Rektaszension wird in Zeitsekunden gemessen, da man hierbei vom Stundenwinkel ausgeht; eine Zeitsekunde ist 15 Bogensekunden.) Besondere Aufmerksamkeit wird den Mondbedeckungen der 3C-Radioquellen zuteil werden, weil das Beugungsmuster beim Verschwinden und Wiederauftauchen hinter der Mondscheibe weitgehende Aufschlüsse über Ausdehnung und Form der Radioquellen liefert.
- b) Systematische Ermittlung der schwächsten Radioquellen unter Ausnutzung der Mondbedeckungen. Die erwartete Ausbeute wird auf ca. 25.000 Radioquellen geschätzt.
- c) Vergleich der Helligkeit von Galaxien im Radio- und im optischen Bereich.
- d) Beobachtung des Krabbennebels.
- e) Messung der Radiotemperaturen von Jupiter und den anderen hellen Planeten für 430 MHz. Sie berechnet sich mit Hilfe der Planckschen Strahlungsformel aus der Energiemenge, die im Spektralbereich um 430 MHz emittiert wird. (Die Planeten werden in diesem Zusammenhang in erster Näherung als schwarze Körper angenommen.)
- f) Untersuchung der Radiostrahlung von Uranus. Vorläufig konnte noch keine festgestellt werden.
- g) Untersuchung der Ionosphäre. Zu diesem Zweck werden kurze Radioimpulse abgestrahlt und ihr Elektronen- beziehungsweise Ionenecho beobachtet. Die Radiowellen werden nämlich an den freien Elektronen und Ionen in der Hochatmosphäre gestreut. Die rückkehrende Streustrahlung ermöglicht die Berechnung der Elektronen- und Ionendichte in verschiedenen Höhen (ja, sogar Aussagen über die Verteilung der dort vorhandenen Ionen von Wasserstoff und Helium.) Aus der Zeit, welche zwischen Emission des Radioimpulses und der Rückkehr der Streustrahlung vergeht, ergibt sich unmittelbar die

Höhe, in der die Streuung jeweils erfolgt. Man kann also durch geeignetes „Abschneiden“ der Echos die fallweise interessierende Höhe auswählen. Bei zweistündiger Beobachtungszeit wird auf die geschilderte Weise die Atmosphäre bis 1500 km Höhe durchkämmt.

Die Pulsdauer liegt zwischen  $2 \mu\text{sek}$  und  $10 \text{msek}$ . Maximalleistung eines Pulses ist 2,5 MW! (Im Dauerbetrieb werden 100 kW abgestrahlt.) Der zeitliche Abstand aufeinanderfolgender Pulse muß mindestens 0,005 bis 0,02 sek sein, um Überlappungen zu vermeiden.

Die Wärmebewegung der streuenden Partikeln äußert sich in der Dopplerverbreiterung der Echofrequenz. Auf diese Weise erhält man auch Auskunft über die Elektronen- und Ionentemperaturen in verschiedenen Höhen.

Mit einem 2,5-MW-Puls wird die Atmosphäre bis zu 2500 km Höhe erfaßt.

Die Rückstreuung ist ungemein geringfügig. Sie verhält sich zum Primärsignal wie  $1:10^8$  bis  $1:10^{10}$ .

Literatur: Sky and Telescope, Juli 1964, S. 4 und August 1964, S. 73. Some Current Programs at Arecibo (I) und (II).

## Simulierung von Nebel- und Sternspektren

Bekanntlich treten in den Spektren von Sternen und Nebeln Linien hochionisierter Elemente auf, die nicht im Laboratorium erzeugt werden können. Das erschwert die Forschungen außerordentlich, vor allem wird die Identifizierung gewisser Linien zu einem diffizilen Problem.

In jüngster Zeit wurden zwei Methoden entwickelt, welche den Astrophysikern auf diesem Gebiet große Hilfe zu leisten versprechen.

1. Man ionisiert das zu untersuchende Element (etwa H, Edelgase, C, N, O usw.) einfach und beschleunigt seine Ionen auf ungefähr 0,1 MeV. Der Ionenstrahl fällt auf eine dünne Folie aus C oder Be. Die kinetische Energie der Partikeln ist zwar für Kernreaktionen zu gering, genügt aber zum weitgehenden Abstreifen der Elektronenhülle beim Durchtreten durch das Hindernis. Die verbleibenden Hüllenelektronen sind zum überwiegenden Teil in höhere Niveaus übergegangen und kehren nach kurzer Zeit in tiefere Zustände unter typischer Lichtemission zurück.

Da die Verweilzeiten sehr kurz sind, ändert sich das Emissionsspektrum des Strahls mit dem Abstand von der Folie. Stellt man daher sehr rasch arbeitende Spektrographen in verschiedenen Distanzen von der Folie auf, so erhält man gute Aufschlüsse über die Lebensdauern der angeregten Zustände sowie über das Auftreten verbotener Linien. Diese Spektren hochionisierter Atome sind dieselben, wie wir sie in Nebeln und Sternen vorfinden. Vorläufig arbeitet man im Bereich zwischen 2200 und 7500 Å.

2. W. F. Libby, der mit dem Nobelpreis ausgezeichnete Entdecker der  $C^{14}$ -Datierungsmethode, ist derzeit an der Universität in Los Angeles tätig. Dort gelang ihm die Erhitzung von ungefähr einem Liter Gas auf Temperaturen von  $2800^\circ$  bis  $28.000^\circ$  auf induktivem Wege. Die benützten Frequenzen waren hoch, sie lagen im Radiobereich. Weitere Anstrengungen, sogar  $100.000^\circ$  zu erreichen, sind im Gange. Besonders bemerkenswert ist der Umstand, daß das Plasma unter Normaldruck bleibt.

Die Möglichkeit, verschiedenste Gase und Gasgemische zu verwenden, erlaubt eine gute Anpassung an stellare Verhältnisse.

Literatur: Sky and Telescope, Oktober 1964, S. 201. American Astronomers Report. Sky and Telescope, März 1965, S. 144. Laboratory Simulation of Stellar Spectra.

## Die Eigendrehdauer von Pluto

Seit 1954 ist die schwache periodische Veränderlichkeit der Helligkeit des Planeten Pluto bekannt, welche man als Dreheffekt einer Oberfläche von variabler Helligkeit deutet. Aus Messungen, die M. Walker und R. Hardie da-

mals durchführten, konnte die Dauer einer Plutoumdrehung nur roh mit  $6\frac{1}{2}^d$  angegeben werden, das Objekt war für eine photoelektrische Ermittlung der Lichtkurve zu schwach. (Pluto erscheint als Stern von  $15^m$ .) Mit Hilfe eines zwar kleineren, optisch jedoch überlegenen Instruments (24-Zoll Seyfert-Teleskop des Dyer Observatory) ist nun der genaue Wert von Hardie festgestellt worden. Die synodische Rotationsdauer von Pluto beträgt

$$6d9h16m54^s \pm 26^s.$$

Offenbar ist die Plutoscheibe an den Randpartien dunkler als in der Mitte. Daher dürfte der seinerzeit von G. P. Kuiper angegebene Wert für die Länge des Plutoradius von 2900 km in Wahrheit lediglich der der lichtstärksten Zentralpartie sein. Leider ist man noch nicht in der Lage, zu entscheiden, ob die Rotation rechts- oder gegenläufig erfolgt.

**Literatur:** Sky and Telescope, März 1965, S. 141. Pluto's Rotation and Diameter.

## Kompakte Galaxien

Fritz Zwicky, der schon vor dem zweiten Weltkrieg die Möglichkeit extrem dichter Sterne ins Auge gefaßt hatte, versucht, durch morphologische Betrachtungen die verschiedenen Organisationsformen der kosmischen Materie zu ermitteln. Dabei spielt die statistische Mechanik eine wichtige Rolle. Unter anderem vermutete Zwicky die Existenz kleiner, sehr dicht bevölkerter Galaxien. Seine Vorhersage erwies sich als richtig, denn das Mount Palomar Observatorium fand hunderte derartiger Galaxien. Ihre mittlere Leuchtdichte beträgt  $17^m$  pro 5 Quadratgrad. 30 Objekte wurden bereits näher untersucht. Es sind scharf abgegrenzte Scheiben mit feinen Spiralarmen, Halos und „Jets“ (=schweifartige Strukturen), die zu den Spektralklassen K bis O gehören. Aus der großen Linienbreite ergeben sich hohe innere Relativgeschwindigkeiten von tausenden km/sek. Daher muß die parabolische Geschwindigkeit des Systems noch größer sein, woraus auf eine Gesamtmasse einer Galaxis von  $10^{10}$ — $10^{12}$  Sonnenmassen zu schließen ist. Die Helligkeit ist ca. 100mal kleiner als die von normalen Galaxien derselben Masse. Das deutet auf die Anwesenheit beträchtlicher Mengen dunkler Materie hin.

**Literatur:** Sky and Telescope, August 1964, S. 131 ff. American Astronomers Report.

## Zehnjahrplan der US-Astronomie

Man könnte vor Neid erblassen, wenn man als Europäer von dem Programm hört, das die National Academy of Sciences in Washington von einem achtgliedrigen Ausschuß, der von namhaften Astronomen gebildet war, aus-

arbeiten ließ. Die Vorschläge werden den maßgebenden staatlichen Stellen unterbreitet, und es bestehen keine allzu schlechten Chancen für ihre Verwirklichung. Das Programm bezieht sich nur auf die vom Erdboden aus durchführbaren astronomischen Forschungen. Ballon- und Satellitenastronomie sind nicht einbezogen.

### a) Bau von neuen Teleskopen

Drei Fernrohre mit Spiegeldurchmessern zwischen 3,5 und 5 Meter. Eines soll auf der Südhalbkugel aufgestellt werden, damit der Südhimmel mit demselben Einsatz an modernen Hilfsmitteln erforscht werden kann wie der nördliche. Die vorgesehene Vermehrung der größten Teleskope würde die Basis für das Studium der in jüngster Vergangenheit angefallenen ungemein bedeutungsvollen Probleme (zum Beispiel Quasisternen) verbreitern und ihre Lösung erleichtern.

Gleichzeitig soll sich ein anderes Team eingehend mit der Frage beschäftigen, ob der Bau von 10- bis 15-Meter-Spiegeln technisch durchführbar ist und ob von solchen Instrumenten auch eine die Kosten rechtfertigende Steigerung des Informationsgehaltes zu erwarten ist. Man darf nicht vergessen, daß allein die Luftunruhe weitere Verbesserungen illusorisch machen könnte. Für die Vorstudien müßte ein Betrag von fast 30 Millionen Schilling zur Verfügung stehen.

Vier Fernrohre mit Spiegeldurchmessern zwischen 1,5 und 2 m. Sie sollen an klimatisch begünstigten Orten aufgestellt werden.

Acht Fernrohre mit Spiegeldurchmessern zwischen 0,9 und 1,2 m samt der zugehörigen modernen apparativen Ausrüstung.

Sämtliche Geräte werden als Reflektoren mit Parabolspiegeln geplant.

### b) Bau von Radioteleskopen

Das größte Projekt ist eine gigantische Anlage von nicht weniger als hundert Parabolantennen mit je 26 m Durchmesser, welche zu einem einzigen Interferometer vereinigt sind. Die Ausdehnung der Anlage ist mit höchstem Winkelauflösungsvermögen gleichbedeutend.

Ein weiteres Radiointerferometer, das einige 40-m-Antennen zusammenfaßt.

Eineschwenkbare 90-m-Parabolantenne. (Die derzeit größte mit 76 m steht in England.)

15 kleinere Radioteleskope für spezielle Aufgaben.

Auch auf dem Gebiet der Radioastronomie soll sich eine Studiengruppe konstituieren, welche den größtmöglichen Durchmesser eines frei schwenkbaren Parabolspiegels zu ermitteln hat.

Wahrhaftig, ein Vorhaben, das den Traditionen der amerikanischen Wissenschaft voll gerecht wird!

### Literatur:

1. Nat. Acad. of Sciences, Washington: Ground-based Astronomy, 1964.
2. Umschau i. W. u. T., 15. Mai 1965, S. 313. H. H. V.: 10-Jahr-Programm der amerikanischen „bodengebundenen“ Astronomie.

# CHEMIE

Dr. Edith Jarisch

## Protonenzustände in der Chemie

Das Proton als  $H^+$  ist an mannigfaltigen Reaktionen beteiligt, die auf seine Sonderstellung unter den Elementen hinweisen. Bisher war zur Beschreibung des Verhaltens von  $H^+$  der Teilchencharakter vorherrschend, obwohl es prinzipiell bei jedem

Elementarteilchen möglich ist, es als Welle zu beschreiben. Letztere Betrachtungsweise hat für den Fall des Elektrons viele Vorteile gezeigt, war jedoch für Wasserstoffionen nicht üblich. Wird jedoch die wellenmechanische Betrachtungsweise auf das Proton angewendet, so lassen sich viele Phänomene beschreiben, die durch den Korpuskelcharakter allein nicht erklärt werden können.

Als Beispiel für die Sonderstellung des Wasserstoffatoms mögen folgende Tatsachen in Erinnerung gerufen werden:

H-Brückenbindung und damit verbundene Assoziierung vieler Einzelmoleküle zu oft sehr stark polaren Assoziaten, die große „Beweglichkeit“ des Protons, wie die Bestimmung der Leitfähigkeit in Wasser und Eis zeigt, und seine ausgesprochen katalytischen Eigenschaften, wie H<sup>+</sup>-katalysierte Veresterungen, Hydrolysen. Außerdem konnte vielfach bemerkt werden, daß Reaktionen, bei denen H oder H<sup>+</sup> beteiligt sind, häufig auch bei tiefen Temperaturen rascher und ohne großen Aktivierungsenergieaufwand ablaufen, das heißt, die Geschwindigkeitskonstante solcher Reaktionen weicht hier von der klassischen Größe

$$k = \text{const} \cdot e^{-\frac{W}{RT}} \text{ (Arrhenius)}$$

ab. Diese Auswahl an Beispielen läßt es verstehen, daß Wege gesucht wurden, um das Verhalten des Wasserstoffatoms beziehungsweise Protons bei chemischen Reaktionen besser und womöglich auch quantitativ genau zu beschreiben. Als geeignetes Verfahren hat sich für diese Beschreibung die Wellenmechanik erwiesen. So wie die Zustände des Elektrons sich durch die Wellenmechanik beschreiben lassen, es sei hier an die Begriffe der Aufenthaltsräume, Aufenthaltswahrscheinlichkeit und Mesomerie erinnert, werden analoge Begriffe formuliert, um das Verhalten des Protons zu beschreiben. Beim Proton war bisher das Bild des Teilchens vorherrschend, obwohl es um rund fünf Zehnerpotenzen kleiner als jedes andere Atom oder Ion ist:

$$\text{Durchmesser von H}^+ \sim 10^{-18} \text{ m}$$

$$\text{Durchmesser von Li}^+ = 0,6 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

Daß die Beschreibung dieses Teilchens als Welle für viele Fälle in der Chemie zweckmäßig erscheint, zeigen Arbeiten von H. Zimmermann et. al. (München), über welche hier berichtet wird.

### 1. Das Proton als harmonischer Oszillator

In einer Verbindung der allgemeinen Zusammensetzung A—H soll zunächst das Verhalten des H betrachtet werden. Nach der klassischen Mechanik führt das Wasserstoffatom Valenzschwingungen aus, wobei prinzipiell alle Energiewerte für die Schwingungsenergie möglich sein sollen. In Ruhelage befindet sich der Wasserstoffkern in einem bestimmten Abstand vom Molekülrest A, dies entspricht dem Grundzustand. Jede Annäherung oder Entfernung des Protons um die Strecke x ist nur durch Energieaufwand möglich, wobei die Kraft

$$K = -f x \quad (f = \text{Richtkraft})$$

das Proton wieder in die Ruhelage zu bringen bestrebt ist. Der Energieaufwand, um das Proton in die Entfernung x zu bringen, ergibt sich als  $dU = -K dx$ , woraus das Potential

$$U = \frac{1}{2} f x^2$$

folgt. Das Potentialminimum besitzt das Proton in der Ruhelage, es liegt in der Mulde der parabelförmigen Energiekurve (Abb. 1). Wenn das Proton zu Valenzschwingungen

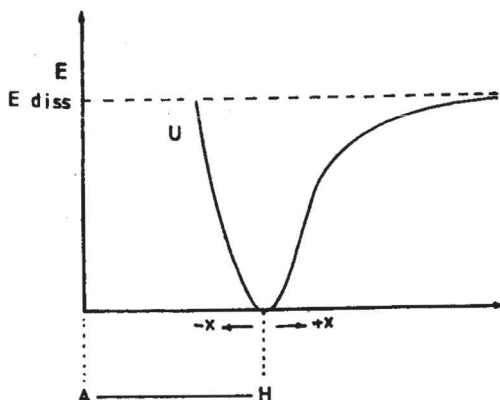


Abb. 1. Potentialkurve U der Verbindung A-H. Ordinate: Energie, Abszisse: Ortskoordinaten von A und H.

angeregt wird, so sind nach der klassischen Theorie alle Schwingungen der Frequenz

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{f}{m}}$$

erlaubt. Allerdings ist aber zu berücksichtigen, daß eine Annäherung des Protons unter eine bestimmte Entfernung an A kaum mehr möglich ist und andererseits auch über eine bestimmte Entfernung von A hinaus zur Zerstörung des Moleküls (für U = Dissoziationsenergie) führt; daher ist die Parabel für große Werte von x deformiert. Diese Fälle sollen aber nicht weiter behandelt werden, es sind hier nur jene Schwingungsamplituden von Interesse, die noch im Bereich der klassischen Parabel liegen (Abb. 1).

Die Quantisierung des Protons führt zu einer Änderung des Bildes vom klassischen Oszillator: Nicht jeder beliebige Energiewert kann angenommen werden, das Teilchen entspricht der Heisenbergschen Unschärferelation, auch im Grundzustand besitzt es eine Mindestenergie, die Nullpunktenergie. Die Energiezustände sind nun durch

$$E_n = h\nu \left( n + \frac{1}{2} \right) \text{ für } n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

bestimmt (Abb. 2).

### 2. Die Wellenmechanik des Protons

Jedem Energiezustand  $E_n$  läßt sich wellenmechanisch eine ortsabhängige Eigenfunktion  $\psi$  zuordnen, deren Werte als Lösungen der Schrödinger-Gleichung erhalten werden. Das Quadrat der Eigenfunktion,  $\psi^2$ , ist das Maß für die Wahrscheinlichkeit, das Proton an einem bestimmten Ort anzutreffen. Betrachtet man die Funktion  $\psi^2$  für bestimmte Werte von  $E_n$ , so ergibt sich folgendes Bild (Abb. 2): Zunächst fällt als wichtigstes Ergebnis auf, daß auch über die

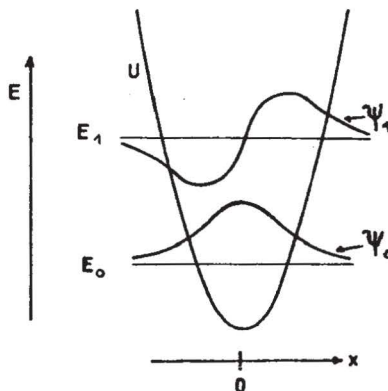


Abb. 2. Potential U, Energie-Eigenwerte E und Eigenfunktion eines harmonischen Oszillators.

klassische Potentialkurve hinaus  $\psi \neq 0$  ist, sondern einen — allerdings kleinen — Wert besitzt, mit anderen Worten: das Proton kann in den Potentialwall eindringen und sich in viel stärkerem Maße sowohl an A annähern als auch von A entfernen, als es ihm nach der klassischen Theorie gestattet ist. Das Proton kann sich also auch dort befinden, wo es eigentlich „gar nicht hingehört“, wohl ist die Wahrscheinlichkeit für diese Fälle gering, aber jedenfalls nicht Null. In Übereinstimmung mit der klassischen Anschauung ist die Wahrscheinlichkeit, das Proton für  $E_0$  in der Potentialmulde anzutreffen am größten, für  $E_1$  im Abstand  $x_1$ .

Daraus sind für das chemische Verhalten des Wasserstoffatoms wichtige Folgerungen zu ziehen: Reaktionen, an denen Protonen beteiligt sind, können durch Effekte zustande kommen, die durch die klassische Annahme über den Aufenthaltsort des Protons in keiner Weise erklärbar sind. Das Proton ist über einen ganzen Bereich delokalisiert und verhält sich damit ähnlich wie die Elektronen, denen ebenfalls Aufenthaltsbereiche (s-Raum, kugelförmig; p-Raum, hantelförmig) zugeordnet werden. Durch Energieaufnahme kann das Proton seinen Schwingungszustand verändern; diese Übergänge zwischen den einzelnen Energiezuständen lassen sich experimentell in der UR- oder Ramanspektroskopie bestimmen.

### 3. Protomerie

Es gibt Fälle, wo für das Proton nicht nur eine einzige Potentialmulde, sondern mehrere vorhanden sind. Ein einfaches Beispiel dafür bietet das  $\text{NH}_3$ -Molekül. Es besitzt die Gestalt einer flachen Pyramide mit dem Stickstoffatom an der Pyramidenspitze und den drei Wasserstoffatomen an den Eckpunkten der Grundfläche. Dieses Molekül ist jedoch nicht starr und unveränderlich, sondern es kann umklappen, wobei das N-Atom infolge seiner großen Masse praktisch an seinem Ort bleibt, jedoch die drei H-Atome auf die „andere Seite“ des N-Atoms gelangen. Diese Inversion ist ein sehr häufiges Ereignis, denn die Lebensdauer einer Konfiguration ist nur in der Größenordnung von zirka  $10^{-11}$  sec gelegen. Der „wahre“ Zustand des  $\text{NH}_3$ -Moleküls ist durch Überlagerung der beiden Grenzformen des Moleküls gegeben (Abb. 3). In

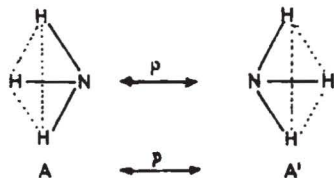


Abb. 3. Protomerie bei Ammoniak

Analogie zum Verhalten der Elektronen, deren Anordnung durch die mesomeren Grenzformeln beschrieben wird, wurde hier der Ausdruck „protomere Grenzformeln“ geprägt und die ganze Erscheinung als „Protomerie“ bezeichnet. Für Protomerie steht das Symbol  $\leftarrow p \rightarrow$ .

Es soll erörtert werden, wie groß der Energieaufwand sein kann, der für die Inversion, also die Protomerie, notwendig ist. Zu diesem Zweck soll nur ein H-Atom des Ammoniaks betrachtet werden. Für dieses Proton gibt es offenbar zwei Potentialmulden, die den beiden Molekülformen A und A' zugeordnet sind. Für den Übergang des Protons von einer Potentialmulde in die andere gibt es zwei Möglichkeiten: 1. das Proton absorbiert so viel Energie, daß es auf der Energiestufe  $E_m$  in den Bereich gelangt, wo kein trennender Potentialwall mehr vorhanden ist, und es bei Energieabgabe in die zweite Mulde gelangen kann. Dies ist der nach der klassischen Theorie einzig mögliche Fall. 2. Durch den Tunneleffekt: Da das Proton über den klassischen Bereich hinaus delokalisiert ist, kann es — falls der Potentialwall genügend „dünn“ ist — ohne Energieaufwand seinen Platz wechseln (Abb. 4a und 4b).

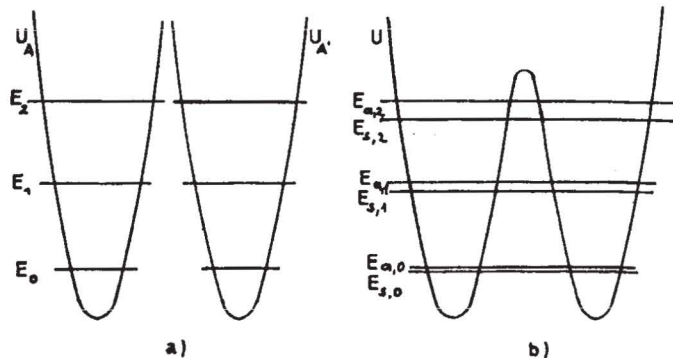


Abb. 4. Potential  $U$  und Energie-Eigenwerte eines Systems aus zwei harmonischen Oszillatoren; a) ohne Wechselwirkung, b) mit Wechselwirkung.

Wenn der Übergang von A nach A' und umgekehrt genügend schnell erfolgt, bedeutet dies, daß die Potentiale in Wechselwirkung treten und für jeden Energiezustand neue Eigenfunktionswerte durch Linearkombination der Basisfunktionen für  $E_{nA}$  und  $E_{nA'}$  gebildet werden müssen ( $\Psi_{sn}$  und  $\Psi_{an}$ : symmetrisch und asymmetrisch). Die Aufenthaltswahrscheinlichkeit in beiden Potentialminima ist gleich groß, und es kann im Rahmen der Wellenmechanik nicht angegeben werden, wo sich das Proton zu einem gegebenen Zeitpunkt aufhält. Für Ammoniak konnte ge-

zeigt werden, daß die Inversion durch Tunneleffekt erfolgt (Termaufspaltung entsprechend den beiden Eigenfunktionen  $\Psi_{sn}$  und  $\Psi_{an}$ ) (Abb. 5).

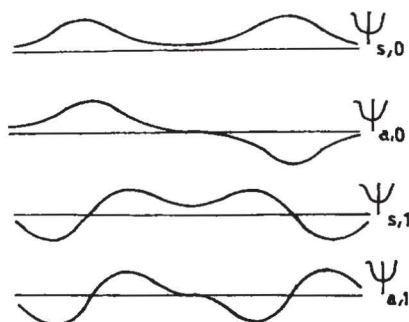


Abb. 5. Protonenzustände für ein Potential mit symmetrischem Doppelminimum.

### 4. Wasserstoffbrücken

Eine besonders wichtige Eigenschaft des Wasserstoffs ist seine Fähigkeit zur Bildung von Brückenbindungen. Auch der Zustand des Protons in einer H-Brücke läßt sich unter dem Aspekt der Protonenzustände diskutieren. Die Verbindung A—H soll mit der Verbindung B eine Brückenbindung eingehen. Das Zustandekommen dieser Bindung erfolgt über Teilschritte:

1. Es findet zunächst eine Begegnung von A—H mit B statt:  $A-H + B \rightarrow A-H \cdots B$
2. Es besteht die Möglichkeit, daß das Proton zum nucleophilen B hinüberwechselt:  $A-H \cdots B \rightarrow A^- \cdots H^+ B$
3. Durch den zweiten Schritt wird A jedoch negativ, der Komplex  $H^+ B$  positiv und dadurch die Entfernung der beiden Teilchen voneinander durch die elektrostatische Anziehung verhindert.
4. Das Proton kann auch wieder zu A zurück:  $A^- \cdots H^+ B \rightarrow A-B \cdots B^+$

Für das Proton existieren innerhalb einer Brückenbindung auch wieder zwei Potentialmulden, die jedoch im allgemeinen verschieden tief sein werden. Man kann hier vier Möglichkeiten finden (Abb. 6, a—d): a) ist A—H ein starker Protonendonator und B ein starker Protonenacceptor, so wird die Potentialmulde für  $H^+ B$  viel tiefer sein als für A—H. Die Brückenbindung wird durch den Kom-

plex  $A^- \cdots H^+ B$  beschrieben, durch Zufuhr von Aktivierungsenergie gelangt das Proton in den Zustand A—H.

b) Bei schwachen Protonendonatoren und -acceptoren kann das Proton erst durch Energiezufuhr zu B gelangen, der Bindung entspricht der Komplex A—H...B

c) Sind mittelstarke Protonendonatoren und -acceptoren durch eine H-Brücke verbunden, so liegen die Potential-

<sup>1</sup> Durch die H-Brückenbindung ist ein Brönstedtsches Säure-Basen-Paar verknüpft

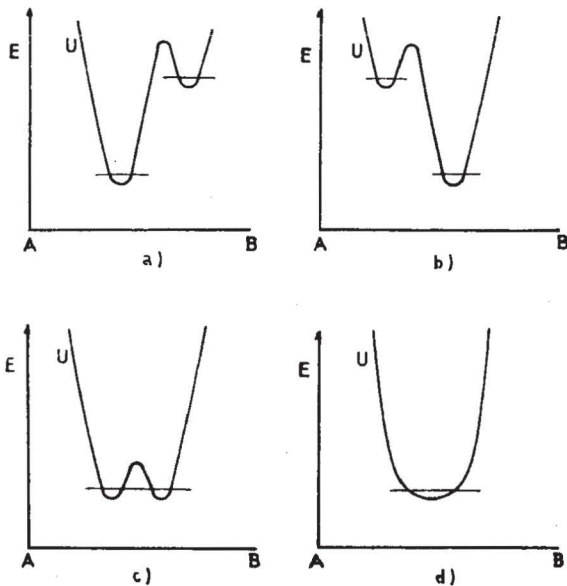


Abb. 6. Potential des Protons in Wasserstoffbrückenbindungen.

minima des Komplexes  $A-H \dots B$  und  $A \dots H+B$  auf annähernd gleicher Höhe, die Bindung läßt sich durch Überlappung (Protomerie) der beiden Grenzformeln beschreiben. Der Protonenübergang erfolgt bei tiefen Temperaturen durch Tunneleffekt. Auch Zufuhr von Aktivierungsenergie (hohe Temperaturen!) kann den Übergang bewirken.

d) Bei extrem kurzen H-Brücken können die beiden Potentialminima verschmelzen, das Proton hält sich dann ungefähr in der Mitte zwischen A und B auf.

Von besonderem Interesse ist der Fall c, bei dem das Proton über einen großen Bereich delokalisiert ist und es seinen Platz durch Tunneleffekt wechseln kann. Der experimentelle Nachweis für den Tunneleffekt gelingt durch Feststellung der Aufspaltung der Schwingungsterme (siehe Abb. 4b) und gestaltet sich jedoch äußerst schwierig. Durch Kombination verschiedener Untersuchungsmethoden (Schwingungsterme in UR- und Ramanspektren, Röntgenstrukturanalyse, Dipolmessungen und NMR-Spektren<sup>1</sup> konnte für das Imidazol wahrscheinlich gemacht werden, daß hier die Brückenbindung durch Tunneleffekt erfolgt. Imidazol liegt sowohl im kristallisierten Zustand als auch in unpolaren Lösungsmitteln assoziiert vor, wobei die Assoziate eine ganz beträchtliche Polarität besitzen (Abb. 7a).

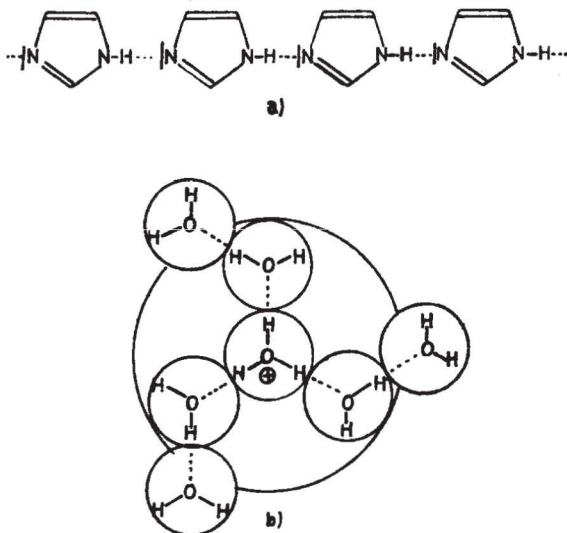


Abb. 7. a) H-Brücken in Imidazol; b) H-Brücken in Wasser.

Der Protonen delokalisierung begegnet man auch in wässrigen Lösungen und im Eis. Der Komplex  $H_3O^+$  bildet Assoziate mit  $H_2O$ -Molekülen, wobei  $H_5O_2^+$ -Komplexe entstehen, die ihrerseits wieder von  $H_2O$ -Molekülen umgeben sind (Abb. 7b). Das Überschußproton des  $H_5O_2^+$ -Komplexes ist praktisch frei beweglich. So ist die Beweglichkeit des Protons im Eis nur um zwei Zehnerpotenzen kleiner als die Beweglichkeit der Elektronen in Metallen. Damit ähneln die Protonen im Eis eher den Elektronen als irgendwelchen anderen Ionen. Die Protonenübertragung erfolgt hier durch Tunneleffekt, was aus der praktisch vollkommenen Temperaturunabhängigkeit<sup>2</sup> der Beweglichkeit geschlossen werden kann (Abb. 8).

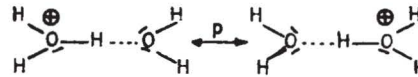


Abb. 8. Protomerie im  $H_3O^+/H_2O$ -Komplex.

### 5. Protonenhalbleiter

Bevor das Modell des Protonenhalbleiters erörtert werden soll, möge zunächst eine kurze Darstellung des Elektronenhalbleiters (aus Analogiegründen) rekapituliert werden.

Ein Halbleiter ist ein Festkörper, der bei Zufuhr von Wärme ein Ansteigen der elektrischen Leitfähigkeit zeigt. Unter einer bestimmten Temperatur tritt keine Leitfähigkeit auf. Das Energieschema eines Halbleiters besitzt zwei Energiebänder, die je nach der herrschenden Temperatur verschieden dicht durch Elektronen besetzt sind. Bei tiefen Temperaturen befinden sich alle Elektronen im energiearmen Zustand, sie sind im Valenzband anzutreffen: Alle Elektronen sind an der chemischen Bindung beteiligt, der Körper verhält sich wie ein Isolator. Bei Zufuhr einer bestimmten Mindestenergie (Wärme) gelangen Elektronen in einen höheren Energiezustand, das Leitfähigkeitsband. In diesem Zustand können Elektronen durch ein angelegtes elektrisches Feld beschleunigt werden, womit die Voraussetzung für elektrische Leitfähigkeit gegeben ist. Wenn ein Elektron das Valenzband verläßt, so bleibt in diesem ein positives Ion zurück, das sogenannte „Defekt-elektron“. Durch Ladungsaustausch zwischen Ionen und Atomen kann nun auch das Valenzband zum Ladungstransport dienen. Je mehr Energie zugeführt wird, desto dichter wird das Leitfähigkeitsband mit Elektronen und das Valenzband mit positiven Defektelktronen besetzt sein: Also steigt die Leitfähigkeit im Halbleiter mit steigender Temperatur (Abb. 9). Zwischen Valenzband und Leit-

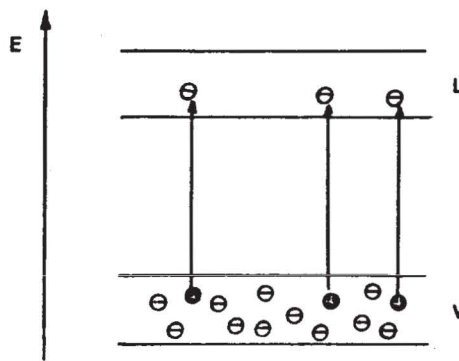


Abb. 9. Bändermodell eines Halbleiters. Ordinate: Energie; Abszisse: Ortskoordinaten. V=Valenzband, L=Leitfähigkeitsband.

fähigkeitsband liegt ein Energiezustand, innerhalb dessen sich keine Elektronen aufhalten können. Die Breite dieses verbotenen Bandes hängt von der Mindestenergie ab,

<sup>1</sup> Kernresonanzspektren

<sup>2</sup> Zufuhr von Aktivierungsenergie erhöht nicht die Beweglichkeit

die zur Herauslösung eines Elektrons aus der Valenzbindung gegeben ist. Die Breite von Valenzband und Leitfähigkeitsband wird durch die starke Wechselwirkung (Kopplung) der Einzelenergieniveaus der Elektronen bedingt.

Auch zur Charakterisierung der verschiedenen Energiezustände von Protonen ist es zweckmäßig, ein Termschema aufzustellen. Wird dieses auf eine beliebige Zahl von Protonen unter Berücksichtigung der Ortskoordinaten ausgedehnt, so erhält man das Modell des Protonenhalbleiters.

Zu diesem Zweck betrachten wir zunächst das Termschema der autodissoziierenden Substanz A—H. In diesem Molekül besetzt das Proton einen Zustand, der durch den Term I darstellbar sei. Wird dem Molekül Energie zugeführt, so kann das Molekül dissoziieren, das Proton wird frei. Diesem freien Proton sei der Term III zugeordnet, der gleichzeitig als Nullpunkt der Energieskala gewählt wurde. Das Proton kann sich aber einem zweiten Molekül A—H anlagern, wobei der Komplex  $AH_2^+$  gebildet wird. Diesem soll der Term II entsprechen, der sich zwischen den Termen I und III befindet. Daß dieser tiefer als III liegen muß ist sofort einzusehen, wenn man bedenkt, daß auch  $AH_2^+$  ein Proton abgeben kann, wobei diese Dissoziationsenergie sicher kleiner ist als die des Moleküls A—H (Abb. 10).

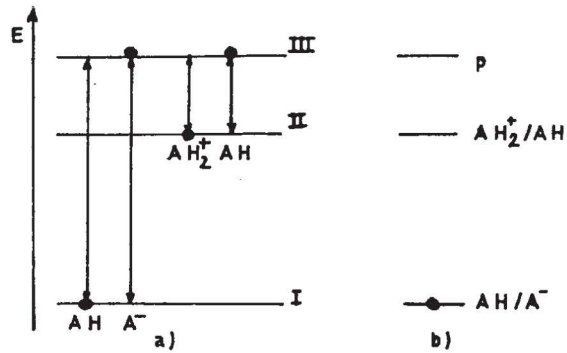


Abb. 11. a) Bildung eines Ionenpaares: die Moleküle besetzen die Ortskoordinaten  $R_1$  und  $R_2$ ; b) Schema des Protonenhalbleiters, V=Valenzband, L=Leitfähigkeitsband, p=Term des freien Protons (nicht besetzt).

den. Im Festkörper kann sich ein Elektron durch den ganzen Halbleiter bewegen, etwas was das Proton sicher nicht kann, da es ja im Ion  $AH_2^+$  gebunden ist. Die Protonen-

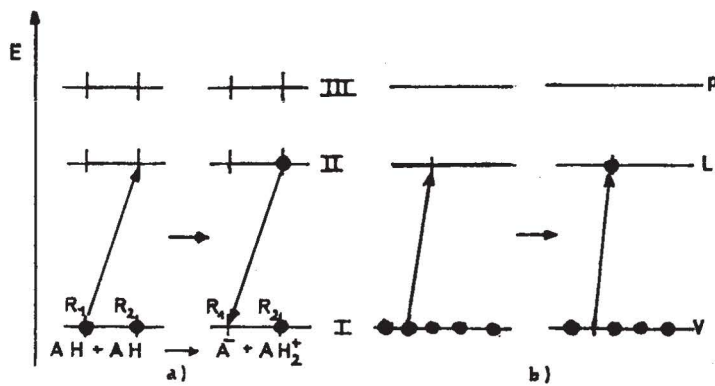


Abb. 10. a) Protonenübergänge im Termschema des Moleküls A—H (das Proton ist durch einen Punkt symbolisiert); b) Termschema von A—H im Grundzustand.

Die Reaktionsgleichungen für diese Übergänge lauten:



Term I ist doppelt besetzt, denn ihm entspricht das Molekül AH und auch das Anion  $A^-$ , und ebenso ist Term II doppelt besetzt, nämlich durch das Kation  $AH_2^+$  und das Molekül AH. Das bedeutet aber, daß das Molekül AH in zweifacher Weise reagieren kann: als Protonendonator (Term I) und als Protonenacceptor (Term II). Diese Terme sind somit durch die konjugierten Säure-Base-Paare charakterisiert und die Protonenübergänge zwischen benachbarten Molekülen finden zwischen dem besetzten Term des Donators und einem leeren Term des Acceptors statt, wobei den beiden Molekülen AH die Ortskoordinaten  $R_1$  und  $R_2$  zugeordnet werden (Abb. 11).

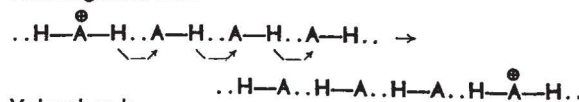
Wird diese Betrachtung auf beliebig viele Moleküle AH ausgedehnt so bedeutet dies, daß solange keine Energiezufuhr stattfindet auch keine Dissoziation erfolgt, alle Moleküle halten das Proton gebunden, daher ist das Valenzband voll besetzt. Bei Energiezufuhr tritt Reaktion (1) ein und das „Leitfähigkeitsband“ wird besetzt: es existieren nun Ladungsträger, nämlich das „Ladungspaar“  $AH_2^+$  im Leitfähigkeitsband und das  $A^-$  im Valenzband, wobei aus Analogiegründen  $A^-$  als „Defektproton“ bezeichnet werden kann.

Allerdings ist der Mechanismus des Ladungstransportes vom Elektronenhalbleiter und Protonenhalbleiter verschied-

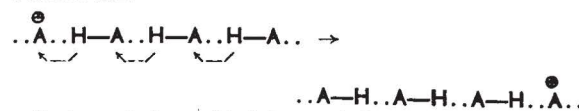
übertragung, die statt der Fortbewegung des einzelnen Protons erfolgt, kann nur jeweils innerhalb einer Wasserstoffbrücke stattfinden. Doch kann der Ladungstransport hierdurch sehr rasch erfolgen, da die Protonen über die Brückenbindung delokalisiert sind und sehr viele Protonen zusammenwirken. Daß der Tunneleffekt und damit Protomerie eine große Rolle spielen, konnte auch experimentell nachgewiesen werden. Da allerdings die Wechselwirkungen der protomeren Zustände nur sehr gering sind, besitzt der Protonenhalbleiter im Gegensatz zum Elektronenhalbleiter eine zu vernachlässigende Bandbreite.

Leitfähigkeitsband und Valenzband seien nochmals dargestellt, um die Leitfähigkeit im Eis verständlich zu machen:

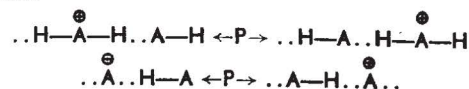
Leitfähigkeitsband:



Valenzband:



Protomerie herrscht daher zwischen folgenden Grenzformeln:





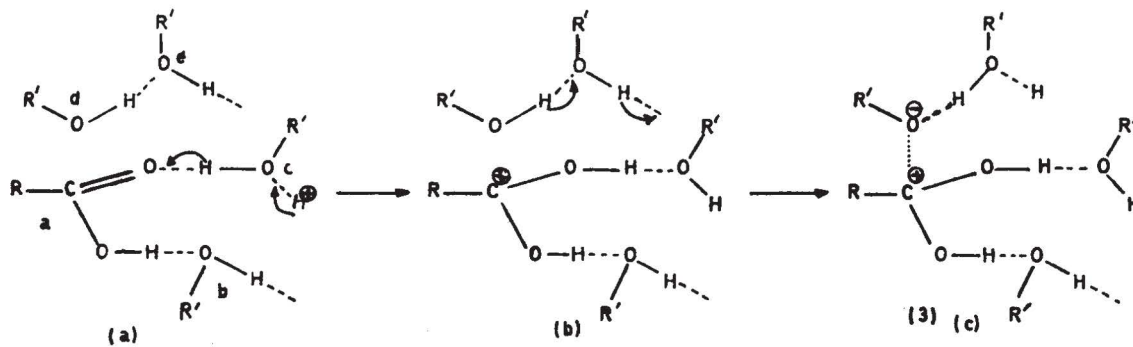


Abb. 13. Nahordnung um ein Essigsäuremolekül in verdünnter alkoholischer Säurelösung (a). Bildung des Ions  $RC(OH)_2^+$  (b) und des Ionenpaares  $RC(OH)_2^+/RO^-$  (c) durch Protonenübergänge in H-Brücken (nach Zimmermann, Ang. Chem. 77/2/71).

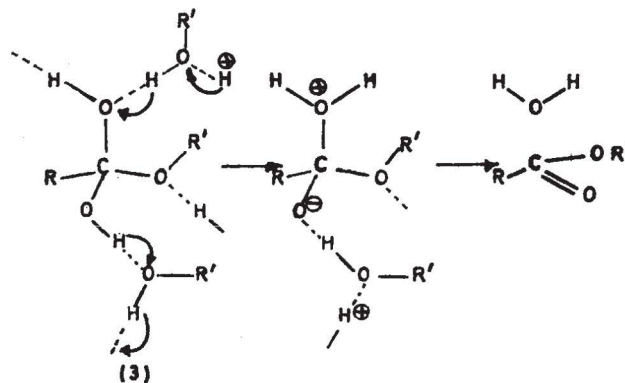


Abb. 14. Protonenkatalysierter Zerfall des Zwischenproduktes (3) bei der Veresterung.

Für die Existenz des Ionenpaares  $RC(OH)_2^+/RO^-$  ist entscheidend, daß das Proton aus dem Alkohol d sehr rasch entfernt werden kann, nämlich durch Abgabe an das Leitfähigkeitsband des Alkohols. Bestünde diese Möglichkeit nicht, so könnte durch Protoneneinfang das Ionenpaar wieder deaktiviert werden. Der Zerfall des Zwischenproduktes (3) ist in Abb. 14 dargestellt: Auch hier spielen Wasserstoffbrücken und Protonenübergänge mit, wobei der letzte Schritt, der Zerfall des Zwitterions in zwei neutrale Moleküle, Wasser und Ester wegen der Umordnung schwerer Atomgruppen der langsamere ist.

Literatur: H. Zimmermann, Ang. Chem. 76/1964/1/1.  
H. Zimmermann, J. Rudolph, Ang. Chem. 77/1965/2/65

## Die Massenspektrometrie organischer Verbindungen

Die Massenspektrometrie organischer Verbindungen wurde als neue qualitativ-analytische Methode in den Jahren 1950 bis 1959 von Beynon, Stenhagen und Ryhage, Meyerson sowie vor allem McLafferty entwickelt. In dieser Zeit wurden vor allem die Spaltungsreaktionen einfacher organischer Verbindungen untersucht, so daß jetzt dieses Analyseverfahren auch zur Aufklärung komplizierter Strukturprobleme mit Erfolg angewendet werden kann. Das Prinzip dieser Methode beruht darauf, daß durch Beschuß mit genügend energiereichen Elektronen ein Molekül zum Zerfall, vor allem in positiv geladene Bruchstücke, gebracht wird. Diese positiven Ionen werden dann durch die üblichen Methoden der Massenspektroskopie registriert. Auf die Registrierungsmethoden soll hier allerdings nicht eingegangen werden, sondern allein die Zerfallsreaktionen und die daraus resultierenden Erkenntnisse sollen besprochen werden.

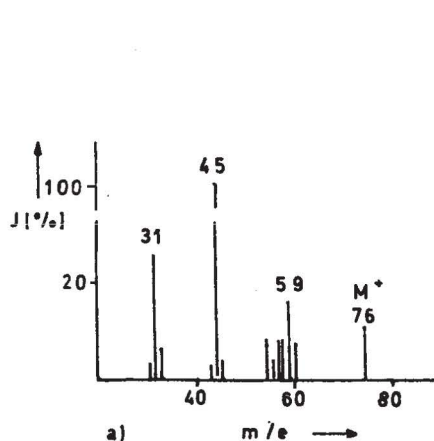
Notwendige Voraussetzung ist, daß die Substanz in den gasförmigen Zustand gebracht wird. Der notwendige Mindestdampfdruck von  $10^{-6}$  Torr wird sogar von Aminosäuren unzersezt noch erreicht. Falls es sich um sehr stark polare Verbindungen mit vielen OH- und NH-Gruppen handelt, kann z. B. durch Acetylierung eine bessere Flüchtigkeit erreicht werden. Meist wird die Substanz aus einem Gasvorratsgefäß der Ionisationskammer zugeführt, es ist auch möglich, besonders schwer flüchtige Substanzen direkt in der Ionenquelle zum Verdampfen zu bringen. Im Gegensatz zu anderen modernen analytischen Methoden, wie UV-, UR- oder NMR-Spektroskopie, wird allerdings eine Mindestmenge von Substanz notwendig sein —  $10^{-3}$  mg bei direkter Verdampfung, 1 mg bei Einführung über ein Gasvorratsgefäß —, die verloren ist. In der Ionisationskammer des Massenspektrometers werden die Moleküle in der Gasphase mit Elektronen, deren Energie ungefähr 70 eV beträgt, beschossen. Wieviel Energie ein Elektron bei einem Treffer auf das Molekül wirklich überträgt, ist nicht genau definierbar, da dies davon abhängt, ob das Molekül im Zentrum oder nur an der Peripherie getroffen wurde. Im allgemeinen wird aber die Energie des Elektrons ausreichen, ein weiteres Elektron aus der Verbindung herauszuschlagen, welche dadurch zunächst ionisiert wird und in der Folge in einige Bruchstücke zerfallen kann. Es handelt sich bei dieser Massenspektrometrie eigentlich um eine chemische Reaktion, bei der das Reagens „Elektron“ organische Verbindungen abbaut. Chemischer Abbau und Abbau durch Elektronen weisen daher auch manche Parallelen auf. Der wesentliche Unterschied liegt jedoch darin, daß chemische Abbauverfahren auf eine ganz bestimmte Atomgruppe und/oder Bindung gerichtet sind, das Elektron jedoch keine bestimmte Stelle des Moleküls bevorzugt.

Das Elektron durchdringt mehr oder weniger stark das getroffene Molekül und gibt dabei seine kinetische Energie teilweise oder auch vollständig ab. Das bedeutet aber, daß sowohl Bindungselektronen als auch solche Elektronen, die an keiner Bindung beteiligt sind, angeregt werden. Die Anregung führt dann dazu, daß nach etwa  $10^{-12}$  sec

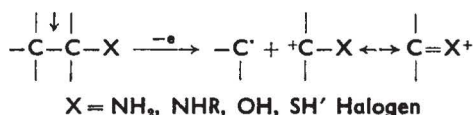


ein Elektron aus der Verbindung abgespalten wird und sich ein positives Molekülion bildet. Überschreitet der aufgenommene Energiebetrag das Ionisierungspotential, so sollte sich dieser Überschußbetrag auf das ganze Bindungssystem des Moleküls gleichmäßig ausbreiten und anschließend das Molekülion in Bruchstücke zerfallen. Tatsächlich findet in größeren Molekülen eine ungleichmäßige Verteilung der aufgenommenen Energiebeträge statt, so daß manche Bruchstücke vorzugsweise gebildet werden. Hier spielen besonders die Verteilungen von Mehrfachbindungen und Substituenten eine Rolle. Sind die Zerfallsregeln bekannt, so kann aus der Art und Menge der erhaltenen Bruchstücke auf die Struktur des Moleküls zurückgeschlossen werden.

Die gemessene Menge eines bestimmten Ions, seine „Intensität“, ist umso größer, je weniger Energie für seine Bildung, und je mehr Energie für seine weitere Spaltung aufgewendet werden muß. Es gilt daher: Die Intensität eines Ions hängt vom Verhältnis seiner Bildungs- und Zerfallswahrscheinlichkeit ab (Abb. 1).



Elektronenpaaren bestehen. Auch hier können sehr leicht resonanzstabilisierte Ionen entstehen. Je größer die Tendenz des Substituenten ist, Elektronen an das benachbarte C-Atom abzugeben, um so größer ist dann auch die Intensität des erhaltenen Bruchstückes. Der Zerfall erfolgt nach:



Daraus ergibt sich, daß Ionen aus Aminen größere Intensität besitzen, als solche aus analog gebauten Alkoholen. Bei Halogenen ist die Tendenz Elektronen abzugeben soviel geringer, daß halogensubstituierte Ionen kaum mehr stabil sind, zumal noch zu berücksichtigen ist, daß die C-Halogenbindungen viel schwächer als die C-C-Bindung ist und daher die Abspaltung von Halogen überhaupt begünstigt ist.

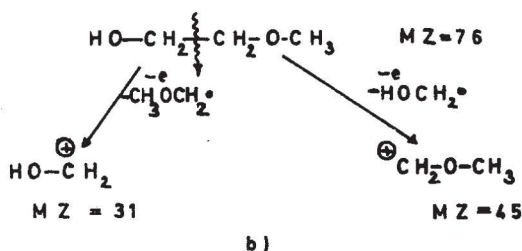


Abb. 1. a) Massenspektrum von Methoxyäthanol ( $M^+$ =Molekülion); b) Zerfallsmöglichkeiten des Methoxyäthanol.

### 1. Bruchstückbildung in Kohlenwasserstoffen

Gesättigte n-Alkane bestehen aus Kohlenstoff und Wasserstoff, die ausschließlich durch  $\sigma$ -Bindungen zusammengehalten werden. Der Energiebetrag zur Entfernung eines Elektrons aus diesen Verbindungen ist beträchtlich größer als für solche Kohlenwasserstoffe, die auch  $\pi$ -Bindungen besitzen. Wird nun ein Elektron aus einem Alkan entfernt, so besteht für das Alkanion kaum mehr die Möglichkeit, durch Ladungsverteilung einen stabilen Zustand zu erreichen. Für so ein Ion ist daher die Zerfallstendenz sehr groß, es werden verschiedene kleinere Bruchstücke erhalten.

Bei aromatischen Kohlenwasserstoffen tritt dagegen die Intensität der kleineren Bruchstücke gegenüber der Intensität des primär gebildeten Ions zurück, da dieses die Möglichkeit der Resonanzstabilisierung besitzt. Der Energieaufwand zur Bildung dieses Ions ist verhältnismäßig klein. Bei der Spaltung aliphatischer Kohlenwasserstoffe wird die C-C-Einfachbindung leichter geöffnet als die C-H-Bindung. Dabei entstehen zunächst primäre Carboniumionen. Da der Bruch einer C-C-Bindung nicht wahrscheinlicher ist als der einer beliebigen anderen, ist zu erwarten, daß in der Mehrzahl verschiedene niedrigmolekulare Bruchstücke entstehen. Besitzt ein Alkan eine Verzweigungsstelle, so ist bei der Spaltung an dieser Stelle die Bildung von sekundären oder tertiären Carboniumionen möglich. Durch induktiven Effekt (Elektronenabgabe) ist die Stabilisierung dieser Ionen besser möglich. Zur Spaltung von i-Alkanen ist weniger Energie nötig und ihre Molekülionen besitzen größere Intensität.

### 2. Substituenteneinfluß auf die Bruchstückbildung

Einen wesentlich stärkeren Einfluß als Alkylgruppen besitzen Substituenten, welche aus Heteroatomen mit freien

Für die Bruchstückbildung ist allerdings nicht die Elektronegativität des Substituenten maßgebend, sondern vielmehr seine Nucleophilität, das bedeutet die Verfügbarkeit freier p-Elektronen oder auch eines  $\pi$ -Elektronenpaares.

### 3. Bildung von Radikalen und Neutralmolekülen

Durch die Massenspektroskopie ist es nicht möglich die, bei Spaltungs- oder Stabilisierungsreaktionen entstehenden Radikale oder kleinen Neutralmoleküle, wie CO,  $C_2H_4$  usw., direkt zu erfassen. Es ist aber möglich, die Neutralteilchen indirekt aus der Differenz zwischen den positiven Ionen zu bestimmen. Dabei kann man auch zwischen Radikalen und Neutralmolekülen unterscheiden, da die Massendifferenz bei Abspaltung von Neutralmolekülen, die nur aus C, H und O bestehen, sicher geradzahlig ist, bei Radikalen dagegen ungerade. Enthält die Verbindung auch Stickstoff, so enthalten die Neutralmoleküle gegebenenfalls auch N und damit auch eine ungerade Massenzahl. Die Entscheidung, ob Radikale oder Neutralmoleküle abgespalten wurden, ist hier nicht so leicht zu treffen.

### 4. Umlagerungsreaktionen

Die Entstehung von Neutralmolekülen ist sehr häufig als Folge von Umlagerungsreaktionen zu erklären. Gerade die Kenntnis dieser Möglichkeiten ist für die Strukturklärung kompliziert gebauter Naturstoffe von besonderer Bedeutung.

Ein typisches Beispiel für so eine Reaktion ist die **McLafferty-Umlagerung**. Sie kann überall dort stattfinden, wo als Zwischenzustand ein sechszentrisches System gebildet wird. So ist z. B. die Abspaltung von Olefin charakteristisch für eine Verbindung, die in  $\gamma$ -Stellung zu einer Doppelbindung eine CH-Gruppe besitzt. Neben dem Olefin bildet sich ein durch Resonanz gut stabilisiertes Ion (Abb. 2).

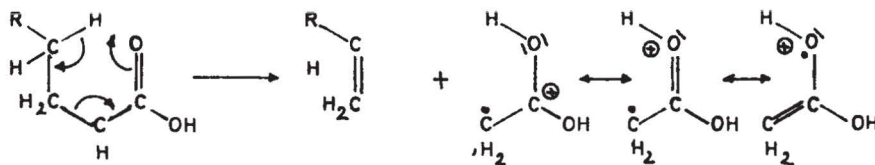


Abb. 2. Beispiel für eine McLafferty-Umlagerung (anstatt O= auch CH<sub>2</sub>, CHR, S, NR; anstatt HO- auch H, R, OR, NH<sub>2</sub>).

Die Zerfalls- und Umlagerungsreaktionen werden am besten mit deuteriummarkierten Verbindungen untersucht. Daß die McLafferty-Umlagerung auch eine Parallele bei den „üblichen“ chemischen Reaktionen besitzt, sei an der Darstellung von Olefinen nach Tschugaeff oder durch thermische Spaltung von Estern gezeigt (Abb. 3).

Oft verlaufen Abbaureaktionen mit Umlagerungen in einer nur für die Massenspektroskopie charakteristischen Weise (Abb. 4).

Gerade die Erfassung solcher typischer Bruchstücke, der sogenannten Schlüsselbruchstücke, gibt die Möglichkeit für Strukturaufklärungen, besonders dann, wenn diese Methode noch mit chemischen Abbaureaktionen kombiniert wird.

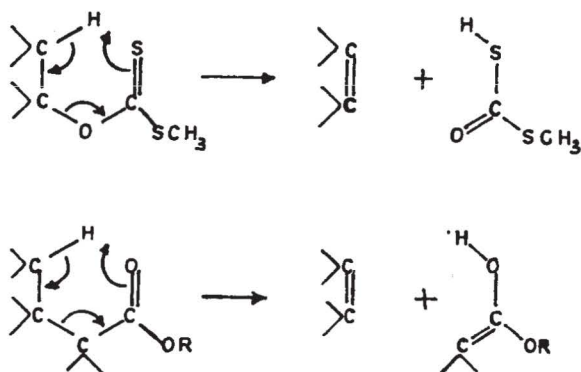


Abb. 3. Darstellung von Olefin nach Tschugaeff und durch thermische Esterspaltung.

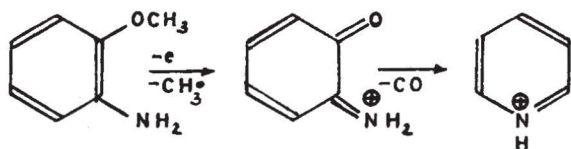


Abb. 4. Bildung eines Pyridiniumions und eines Moleküls CO aus o-Anisidin.

## 5. Schlüsselbruchstücke

Über die Deutbarkeit von Massenspektren organischer Verbindungen lassen sich einige allgemeingültige Aussagen machen. Das Erkennen von Zusammenhängen zwischen Struktur und Massenspektrum hängt in hohem Maße davon ab, ob Abbaureaktionen stattfinden, die durch ihren geringen Energieaufwand gegenüber allen anderen möglichen stark bevorzugt ablaufen, sich daher diese Bruchstücke durch besonders große Intensität bemerkbar machen. Sie unterscheiden sich auch oft durch ihre ungewöhnliche Massenzahl von solchen Fragmenten, die in nahezu jedem Massenspektrum auftreten. Das Auftreten eines einzelnen Schlüsselbruchstückes genügt aber nicht, um bereits eine Aussage über eine bestimmte Struktur zu machen, da Ionen der gleichen Massenzahl selbstverständlich einen verschiedenen Bau besitzen können. Zur Bildung charakteristischer Bruchstücke sind besonders Verbindun-

gen mit basischen Stickstoffatomen oder aromatischen Ringsystemen geeignet. Daher hat die Massenspektrometrie besonders in der Alkaloidchemie großen Erfolg bei der Strukturermittlung.

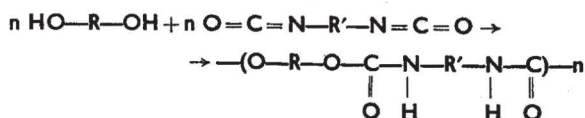
Sie wird besonders dann sehr vorteilhaft sein, wenn in einem Naturprodukt Verbindungen enthalten sind, die demselben Kohlenstoffgerüst entsprechen und sich nur durch einige Unterschiede der Substituenten auszeichnen. Gerade dann kann der Substituenteneinfluß bei den Zerfallsreaktionen sehr wertvolle Hinweise auf das Strukturprinzip geben.

Literatur: G. Spitteler u. M. Spitteler-Friedmann, Ang. Chem. 77/1965/9/393.

## Elastomere Fasern

Hochelastische synthetische Fasern, deren Reißfestigkeit doppelt bis dreimal so hoch wie die des Kautschuks ist, die sich leicht anfärben lassen, eine große Abriebfestigkeit und Beständigkeit gegenüber chlorierten Lösungsmitteln (Chemischreinigen!) besitzen, finden unter den Namen **Lycra** (DuPont) und **Vyrene** (US Rubber Comp.) Verwendung für Stretchgewebe verschiedenster Art (Strumpfwaren, Sportbekleidung, Miederwaren). Sie enthalten ca. 85% Polyurethan-Segmente neben sogenannten Verlängerern.

Hergestellt werden sie aus langkettigen Dialkoholen und Diisocyanaten durch Polyaddition:



Für **Lycra** werden als alkoholische Komponente Polyätherglykole, für **Vyrene** Polyesterglykole verwendet. Verarbeitet werden diese Fasern nach dem Trockenspinnverfahren (Dimethylformamid als Lösungsmittel), nach dem Naßspinnverfahren oder nach dem sogenannten „chemischen Spinnen“, bei dem eine Makrosocyanat-schmelze in einem wäßrigen Diaminbad ausgesponnen wird. Hierbei werden nach kurzer Reaktionszeit direkt vernetzte oder verzweigte Fäden gewonnen.

Literatur: Umschau i. W. u. T. 65/12/378

## Synthetische Quarzkristalle

Der außerordentlich große Bedarf an Schwingquarzen kann durch die natürlichen Vorkommen nicht mehr gedeckt werden, zumal an das Ausgangsmaterial besonders große Anforderungen bezüglich Reinheit und Ribffreiheit gestellt werden. Die häufig verzwilligten natürlichen Quarzkristalle können ebenfalls nicht verwendet werden.

Bereits vor rund zwanzig Jahren wurde in den USA (Bell Telephone) und in Großbritannien (General Electric) mit der Synthese von Quarzkristallen in großem Stil begonnen. Seit den fünfziger Jahren wurden auch in Deutschland Verfahren zur Quarzsynthese ausgearbeitet (W. Baumann, Heidelberg). Über dieses patentierte Verfahren soll hier berichtet werden.

In einem Autoklaven aus Cr-V-Stahl befindet sich über dem Bodensatz aus Lascas (= einwandfreie Spitzen natürlicher Quarzkristalle) eine 6%ige Sodalösung, die mit

Mineralisatoren versetzt ist und sich in ständigem Umlauf befindet. Als Kristallisationskeime werden Quarzstäbchen verwendet, die aus der Ebene der drei kristallographischen  $\alpha$ -Achsen ( $\gamma$ -Ebene) eines einwandfreien Quarzkristalles herausgesägt wurden. Sie besitzen einen Querschnitt von einigen  $\text{mm}^2$  und eine Länge von 100 bis 150 mm. Jeweils 100 bis 180 Stück dieser Stäbchen pro Charge werden senkrecht in ein Gestell eingeklemmt. Der Habitus des fertigen Kristalles weicht durch diese Orientierung der Keimstäbchen von demjenigen natürlicher Kristalle ab, er besitzt eine Längserstreckung senkrecht zu dem natürlicher Kristalle, wodurch aber bei der Schwingquarzherstellung weniger Schnittabfall entsteht. Die Reaktionszeit beträgt bei 340 bis 350°C und einem Druck von 700 bis 1100 atü vier bis sechs Wochen. Ein sorgfältig ermittelter und elektronisch gesteuerter Temperaturverlauf sorgt für optimale Wachstumsbedingungen.

Die erhaltenen Kristalle erreichen ganz beträchtliche Größen. So wurde ein 1330 g schwerer Kristall in 49 Tagen gezüchtet. Die tägliche Zunahme in einem Autoklaven liegt bei durchschnittlich 800 g, der Stromverbrauch pro Kilogramm Synthesquarz beträgt rund 320 kWh.

Nach Beendigung der Synthese wird der Inhalt des Reaktionsgefäßes mit einer Geschwindigkeit von 5°C/h abgekühlt.

Die synthetischen Kristalle zeichnen sich durch große Klarheit und strukturelle Homogenität aus. Sie sind dem besten natürlichen Material gleichwertig oder überlegen, wie sich in langwierigen und eingehenden Dauerversuchen, Überprüfung der Gitterebenen und geätzter Schnittflächen zeigte.

Besonders interessant ist auch, daß nach diesem Verfahren Kristalle gezüchtet werden können, deren Form und auch Kristallflächen in der Natur unbekannt ist. So ist bemerkenswert, daß die Polarität der drei kristallographischen  $\alpha$ -Achsen, die an natürlichen Kristallen nicht auffällt, durch den eigenartigen Habitus mancher Kristallformen besonders anschaulich hervortritt.

**Literatur:** Nachr. Chem. Techn. 13/1965/8/152.

## Chemische Synthese und Biosynthese von codierenden Nucleinsäuren

Beim Makromolekularen Kolloquium der Universität Freiburg i. Br. (11. bis 13. März 1965) konnte F. Cramer (Göttingen) über die Synthese von Oligonucleinsäuren (bis zu 20 Kettengliedern) berichten.

Durch Kondensation von Thymidyl- und Adenylsäure unter Einwirkung von Pikrylchlorid, N, N-Dimethylformamid-dichlorid oder Dicyclohexyl-carbodimid, konnten Di- und Trinucleotide der Desoxyreihe zu Oligo-Dubletts bzw. Oligo-Triplets der Zusammensetzung  $(pCpT)_n$  und  $(pGpApT)_n$ <sup>1</sup> erhalten werden. Die sehr aufwendige Fraktionierung der Reaktionsprodukte hat Oligomere ergeben, die in einem enzymatischen System als Matrizen für die Synthese von messenger-RNS oder kopierter DNS dienen.

Die Synthese von RNS bereitet noch größere Schwierigkeiten, da die OH-Gruppe an C(2) der Ribose Anlaß zu Isomerien gibt<sup>2)</sup> und sehr labil ist. Durch Einführung von Schutzgruppen kann man Ribonucleotide synthetisieren, wie z. B. UpUpC. Mit Hilfe des Enzyms Polynucleotid-Phosphorylase wurden gemischte Polynucleotide hergestellt:  $-(U)_{80}-G-(U)_{80}-G-(U)_{80}-G$ . Durch T<sub>1</sub>-Ribonuclease wird diese Nucleinsäure ausschließlich neben der Guanylsäure gespalten. Dadurch erhält man eine RNS, die als terminales Triplett sicher UUG besitzt. Diese RNS stimuliert als messenger-RNS die Proteinsynthese, wobei festgestellt wurde: 1. das Code-Wort für Leucin ist UUG; 2. das Ablesen der messenger-RNS erfolgt vom 3'-Ende her.

**Literatur:**

Nachr. Chem. Techn. 13/1965/9/178. Ang. Chem. 77/1965/11/509.

<sup>1</sup> p = Phosphorsäure, n = 12—20

<sup>2)</sup> Wiss. Nachr. Nr. 6/2ff.

# WIRTSCHAFTS- UND SOZIALGEOGRAPHIE WIRTSCHAFTSINFORMATIONEN

Prof. W. Sitte

## Eine alpine Bergbaulandschaft (Erzberg, Steiermark)

**Aufnahme:** Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (Wien), Flug ÖK 100—101/61, Streifen 7, Bild Nr. 1810. Vervielfältigt mit Genehmigung des BA. f. Eich- und Vermessungswesen (Landesaufnahme) Wien; Zl. L 62068/65.

**Aufnahmedatum:** September 1961

**Flughöhe:** etwa 4900 m über dem Meeresspiegel

**Maßstab:** etwa 1:38.000, nicht entzerrt

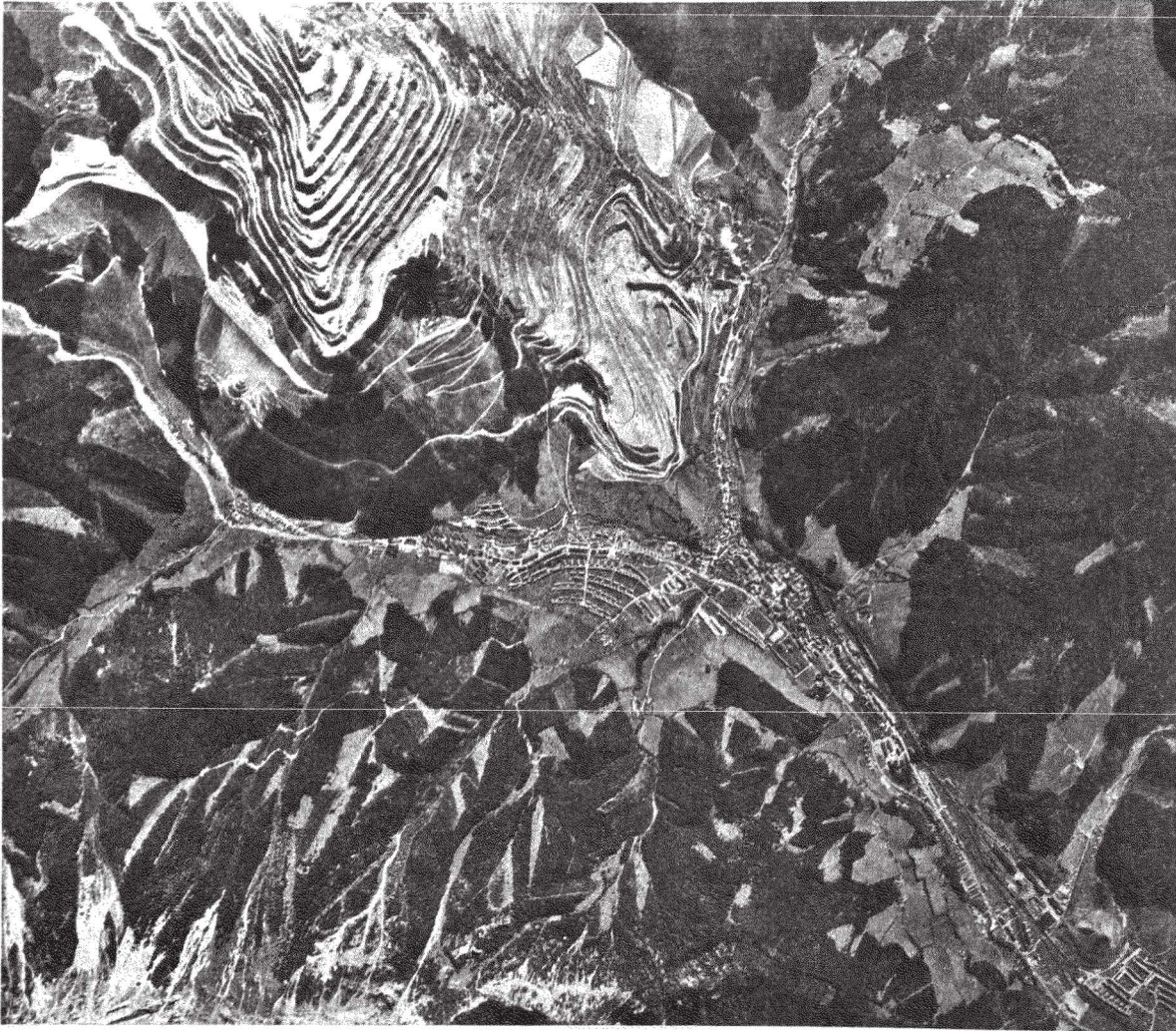
**Österreichische Karte:** 1:50.000, Blatt 101

In der vom Semmering bis Tirol zwischen den nördlichen Kalkalpen und den Zentralalpen verlaufenden Grauwackenzone, die aus einer Serie von alten Schiefen, Kalken und Ergußgesteinen besteht, liegen zahlreiche wertvolle Bodenschätze. An keiner Stelle ist es aber zur Entwicklung einer so ausgeprägten Bergbaulandschaft gekommen wie im Bereich des steirischen Erzberges, den das Luftbild zeigt. Der Bergbau hat hier das Bild der Landschaft entscheidend verändert.

Erst gegen Ende des 19. Jahrhunderts begann man den aus silurisch-devonischen Kalken aufgebauten Erzberg, dessen Eisenerze schon zur Römerzeit abgebaut worden waren, zu terrassieren. Bis 1944 bestanden ungefähr 60 Abbaustufen, auf denen der Verhau (Erz und taubes Gestein) größtenteils händisch gewonnen wurde. Nach dem Zweiten Weltkrieg entstanden durch Zusammenlegung von je zwei ehemaligen, zirka 12 Höhenmeter voneinander entfernten Handabbauetagen 30 neue Abbaustufen von durchschnittlich 24 m Höhe und 700 m Länge. Die gesamte Abbaufront des Tagbaubetriebes ist demnach 21 km lang. Auf der Westflanke kann man noch einige solcher alter Handabbauetagen erkennen. Wie ihr Bewuchs zeigt, sind sie außer Betrieb (a)<sup>1</sup>. Die Zusammenlegung war notwendig, da der mechanische Abbau und die gleislose Förderung bedeutend mehr Platz beanspruchen als die früheren Abbaumethoden.

Gegenwärtig geht der Abbau nur im obersten (b) und im untersten (c) Tagbaurevier vor sich. Die Abbaustufen sind dort sehr ausgeprägt, die Terrassenoberflächen von

<sup>1</sup> Die Kleinbuchstaben beziehen sich auf die Interpretationsskizze.



Wagenspuren (d) gezeichnet. Große Bagger treiben die Stufenfronten zurück. Über breite Rampen befördern Schwerlastkraftwagen das Zwischengut (erzhaltiger Verhau) zu den Aufbereitungsanlagen. Nur auf wenigen Terrassen liegen noch Gleise (e). Aufzüge (f) bringen die Arbeiter auf den Berg. Im Mittelrevier ruht gegenwärtig der Tagbau. Kleine Schuttkegel säumen die Stufenabfälle. Wie stark sich die Abbaumethoden der Vorkriegszeit verändert haben, geht vielleicht am besten daraus hervor, daß 1937 von einer Achtstundenschicht eine Handabbauleistung von 12,7 t Verhau erzielt wurde, während heute die Verhaumenge einer Baggerstunde bis über 350 t beträgt. 1960 standen 24 Bagger und 28 Schwerlastkraftwagen zur Verfügung.

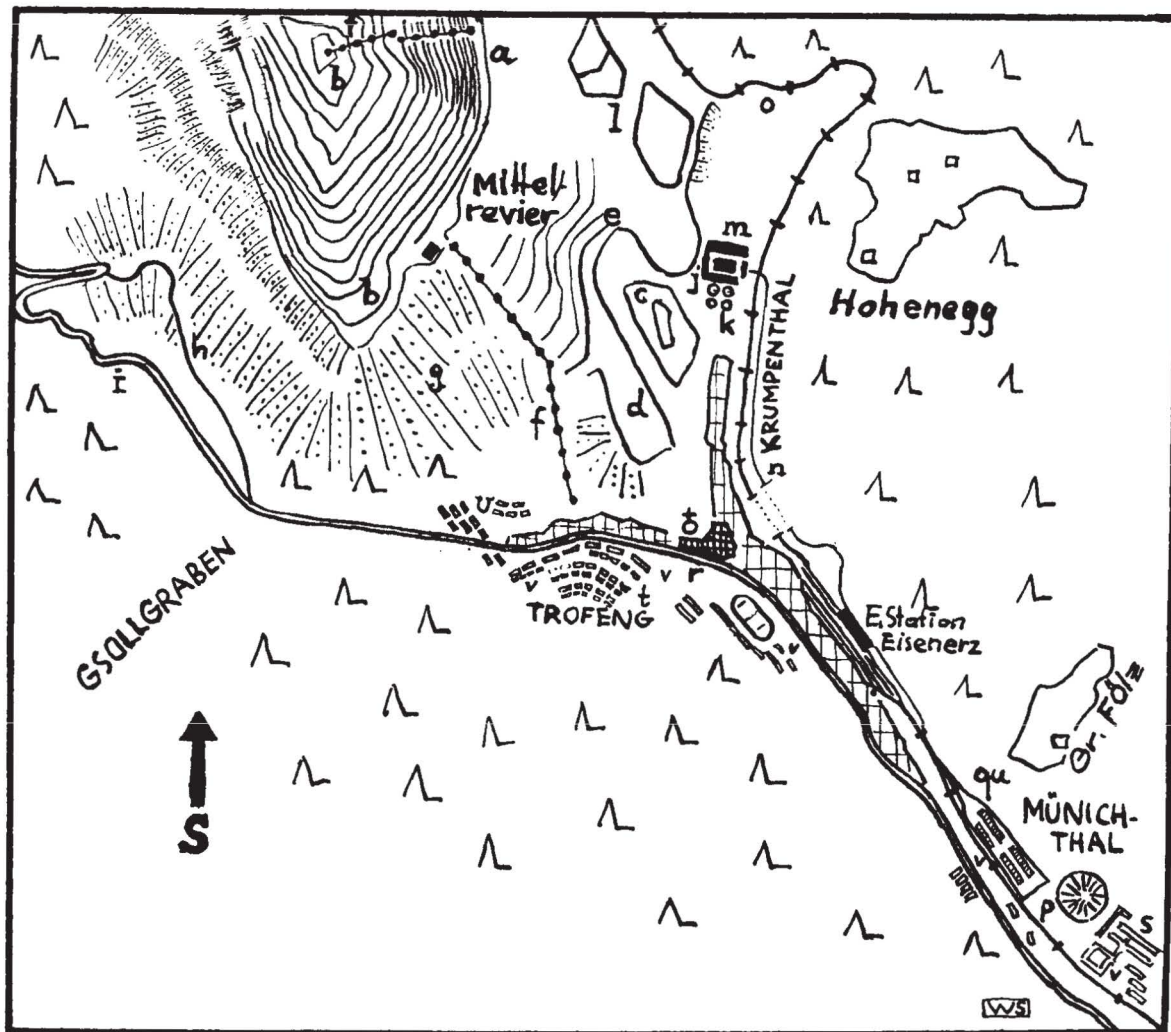
Die Erzförderung, größtenteils Spateisenstein, Brauneisenstein und Rohwand mit durchschnittlich 30–35% Fe- und 2% Mn-Gehalt, erreichte 1964 3,16 Mio. t. Da die Lagerstätte aber auch größere Mengen tauben Gesteins enthält und außerdem noch das aus Werfener Schichten bestehende Hangende abgeräumt werden muß, macht die gewonnene Erzmenge nur ein Viertel des Gesamtverhaues (1964: 13,8 Mio. t) aus. Diese riesige Menge von unproduktivem Material bildet ein sehr kostspieliges Problem. Auf der Nord- und Nordostflanke des Erzberges fallen ausgedehnte Sturzhalden (g) auf. Sie verschütten zum Teil die alte, über den Präbichl führende Erzstraße (h) und machten den Bau einer neuen, besseren (i) notwendig. Forstliche Maßnahmen sollen auf den Halden das Aufkommen des Waldes ermöglichen.

Nur sehr wenig Erz wird als sogenanntes Fertigerz, welches direkt zum Versand kommt, gewonnen (3% der Gesamterzförderung). Das Zwischengut muß vor dem Abtransport erst aufbereitet werden. Dazu dienen ver-

schiedene Anlagen (j). Das bei der mechanischen Aufbereitung stark verschmutzte Wasser wird in sogenannten Eindickern (k) wieder zurückgewonnen, der eingedickte Schlamm in großen Teichen (l) abgesetzt. In einer Röstanlage (m) reichert man das Erz auf 42–46% Fe-Gehalt an. Eine Schmalspurbahn (n) bringt es zur Verladeanlage bei der Eisenbahnstation Eisenerz. Deutlich kann man die im Krumpenthal rasch an Höhe gewinnende Bahnlinie (o) über den Präbichl erkennen.

Bis 1945 wurde ein Teil der Erze im Münichthal verhüttet. 1901 hatte man hier, nach Ausblasen der kleinen Öfen im Krumpenthal, einen Hochofen erbaut, der zur Zeit seiner Vollendung der größte des Kontinents war. Gemeinsam mit einem weiteren, 1912/13 errichteten Hochofen stand er bis zum zweiten Weltkrieg in Betrieb. Ein riesiger Schlackenkegel (p) erinnert heute noch daran. Auf dem benachbarten Hüttengelände arbeitet jetzt die Hauptwerkstätte (qu).

In der stark zertalten Mittelgebirgslandschaft, die auf dem Bild zur Hauptsache aus Werfener Schichten aufgebaut ist, muß sich die Siedlung ganz dem Relief anpassen. Der zu Beginn des 13. Jahrhunderts entstandene Ort schmiegte sich daher am Anfang eng an den Fuß des Sporns, der die Kirche trug (r). Da der Schmelzbetrieb damals von den entlang des Wassers stehenden Radwerken abhängig war, fehlte dem Ort der ursprüngliche Mittelpunkt. Im Zusammenhang mit dem Bergbau und der Verhüttung erweiterte sich Eisenerz in das Krumpenthal. Erst im 19. Jahrhundert schob es sich auch gegen Münichthal vor. Die Eisenbahnlinie Hieflau—Eisenerz wurde 1873 eröffnet. 1881 ging der Bergbau an die neugegründete Österreichische Alpine Montangesellschaft über. 1900 lebten in Eisenerz 3685 Personen, 1934 6685. Infolge des



Krieges stieg die Einwohnerzahl 1944 bis auf 19.000 an. Nach 1945 ging sie wieder etwas zurück. 1961 wohnten 12.435 Menschen in der 1948 zur Stadt erhobenen Siedlung. Die umfangreiche Siedlungstätigkeit läßt dieses Wachstum im Bild erkennen. Die Gleichförmigkeit der Häuser in Größe und Höhe weist auf planmäßige Anlagen. Deutlich heben sich die jüngeren Siedlungen (s, t) vom älteren Häuserbestand ab, wobei man jedoch auf Grund der Grundrißgestaltung auch bei den jüngeren Siedlungen verschiedene Entstehungsperioden differenzieren kann. Von den im Jahre 1961 gezählten 1010 Wohnhäusern wurden 376 vor 1919 erbaut, 425 zwischen 1919 und 1945, 146 nach 1945<sup>1</sup>. Von den zahlreichen sich daraus ergebenden Problemen sei nur auf das im Bild sichtbare der Umfahrung des alten Ortskernes verwiesen. Südöstlich der Trofeng-Siedlung stehen noch aus der Kriegszeit stammende Baracken (u), die an die damalige Wohnungsnot erinnern.

Bemerkenswert auf dem Bild ist das fast völlige Fehlen größerer landwirtschaftlich genutzter Flächen. Aus dem „Eisenbauern“ von einst, der neben seinem Ackerland ursprünglich auch einen Berganteil besaß, ist der Bergknappe, der Arbeiter geworden, der sich nur mehr an einer kleinen „Schrebergartenfläche“ (v) erfreut. Nur bei Hohenegg und in der Großen Fölz scheinen, allerdings stark auf Grünlandwirtschaft abgestellte landwirtschaftliche Betriebe noch zu existieren. Die Volkszählung 1961 wies in der ganzen Gemeinde Eisenerz (124 km<sup>2</sup>) bloß 89 Personen der Land- und Forstwirtschaft zu, während 4344 in der Industrie und im Gewerbe tätig waren. Der Erzbergbau beschäftigte Ende 1964 3300 Menschen.

<sup>1</sup> 63 Häuser stammen aus unbekannter Bauperiode.

## Die österreichische Buntmetallwirtschaft

### Die wirtschaftliche Situation

Buntmetallerze treten in den Ostalpen vor allem in der nördlichen und südlichen Grauwackenzone auf. Sie sind fast durchweg metasomatischer Entstehung und haben meist die Form unregelmäßiger Adern oder Linsen, Schläuche und Spaltfüllungen. Während ihr Erzgehalt an den Weltdurchschnitt heranreicht (Kupfererz=Mitterberg: 1,7%, Welt: 2%, Blei-Zinkroherz=Bleiberg: 8—9%, Welt: 10%), ist das Erzvolumen der österreichischen Vorkommen sehr klein. Immer wieder schieben sich ausgedehnte Zonen tauben Gesteins zwischen die erzführenden Schichten, oft schneiden tektonische Störungen sie ab. Daher eignen sich von den zahlreichen Vorkommen heute bloß wenige für einen wirtschaftlichen Abbau. Gemessen an internationalen Maßstäben lassen sie nur Kleinbetriebe zu. Bleiberg-Kreuth liefert zum Beispiel in einem Jahr etwa Erz für 5000 Tonnen Blei. Aus der berühmten Sullivan-Grube bei Kimberley in Kanada kommt in einem Jahr hingegen Erz für 154.000 Tonnen Blei. Die Abbauskosten pro Tonne aufbereiteten Erzes liegen bei Kleinbetrieben bedeutend höher als bei großen Anlagen. Hohe Kosten erwachsen den heimischen Bergwerken ferner durch die komplizierten Förderungsanlagen. Viele ausländische Buntmetallerzlagertätten, vor allem diejenigen in Übersee, werden im Tagbauverfahren abgebaut. Unsere Lagerstätten erfordern jedoch ein ausgedehntes Stollen- und Streckennetz; in Bleiberg-Kreuth ist

es mehr als 900 Kilometer lang und reicht 830 Meter unter die Talsohle hinab. Allein seine Erhaltung ist sehr kostspielig. Wegen der Unregelmäßigkeiten der Vorkommen verlangt auch der Hoffnungsbau — darunter versteht man alle bergmännischen Arbeiten, mit deren Hilfe man neue Erzreserven aufzuschließen hofft — überdurchschnittlich hohe Investitionen. Nicht zu vergessen sind die ständig ansteigenden Kosten für Lohn- und Sozialleistungen, die weit über den vergleichbaren in Übersee liegen. Unsere Buntmetallbergbaubetriebe sind daher sogenannte Grenzbetriebe, das heißt, sie sind nur bei sehr hohen Weltmarktpreisen der Buntmetalle rentabel, bei Baisse jedoch nicht konkurrenzfähig.

Als der Bund 1946 die Bergbau- und Hüttenbetriebe der Buntmetallwirtschaft übernahm, hat er auf Grund eingehender Untersuchungen beschlossen, die Betriebe zu erhalten und weiterzuführen. Ausschlaggebend hierfür waren damals nach dem Krieg der große Bedarf der österreichischen Wirtschaft an Buntmetallen, das Ausfallen der traditionellen Bezugsländer, das Fehlen von Devisen, vor allem jedoch die allgemeine Knappheit an Buntmetallen und die sich daraus ergebende Höhe der Weltmarktpreise. Durch Einsatz beträchtlicher Investitionsmittel (1950—1962: 1,2 Milliarden Schilling) wurden die Einrichtungen für die Erzgewinnung, die Aufbereitung und die Verhüttung modernisiert. Um die Buntmetallwirtschaft durch die Weiterverarbeitung der anfallenden hochwertigen chemischen Nebenprodukte krisenfester zu machen und um neue Arbeitsplätze zu schaffen, errichtete man eine Reihe ganz neuer Verarbeitungsbetriebe.

### Die Betriebe

Das einzige österreichische Kupfererzorkommen, welches gegenwärtig abgebaut wird, ist das der Mitterberger Alpe bei Mühlbach am Fuße des Hochkönigs. Es sind Kupferkiesgänge (CuFeS<sub>2</sub>), die paläozoische Schiefer durchziehen (Abb. 1). Die gewonnenen Erze werden in

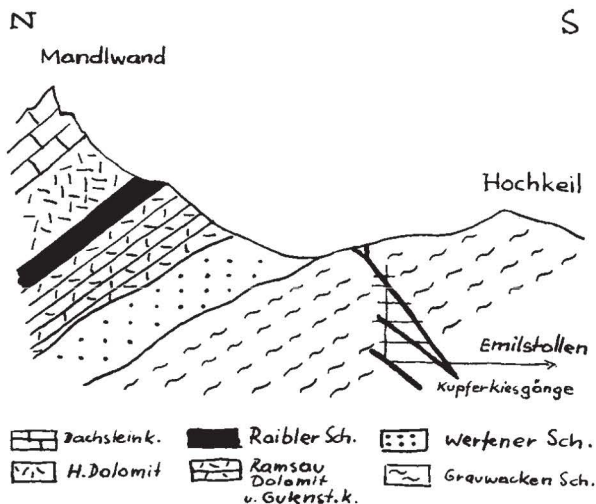


Abb. 1

Mühlbach aufbereitet. Lastwagen bringen die Konzentrate (26—29% Cu-Gehalt) durch das Mühlbachtal nach Bischofshofen, von wo sie per Bahn nach Gailitz gelangen. Dort wird ihnen der Schwefel durch Abrösten entzogen. Die Abbrände werden wieder von der Bahn nach Brixlegg transportiert, wo Österreichs einzige Kupferhütte steht. Um deren Kapazität auszunutzen, verarbeitet man außer dem abgerösteten Kupferkonzentrat noch Altkupfer (ungefähr 35—40%), das aus der Bundesrepublik bezogen wird, und sogenanntes Blisterkupfer (etwa 35—40%) — verunreinigtes Rohkupfer —, welches vor allem aus Chile kommt. Da das Kupferkonzentrat im Winter zu Stein gefriert und die Schneelage auf der Straße von Dezember bis April den Transport von Mühlbach zur Verladestation nach Bischofshofen nicht erlaubt, mußten die Entschwefelung in Gailitz und der Weitertransport der Abbrände zur Hütte, die wegen des teuren Winterstromes den Elektro-

ofen in erster Linie im Sommer betreibt, zeitlich aufeinander abgestimmt beziehungsweise Bunkermöglichkeiten errichtet werden. 1963 beschäftigte die Hütte Brixlegg 293 Arbeitskräfte. Die Zahl der Beschäftigten in Mitterberg ging in den letzten Jahren zurück; 1959 waren es 513, 1963 415.

Die derzeit für die Versorgung Österreichs allein abgebauten Blei- und Zinkerzorkommen liegen um Bleiberg, westlich von Villach. Die Lagerstätte ist in den Wettersteinkalk der mittleren alpinen Trias eingebettet (Abb. 2). Das Hangende bilden die für Lösungen undurch-

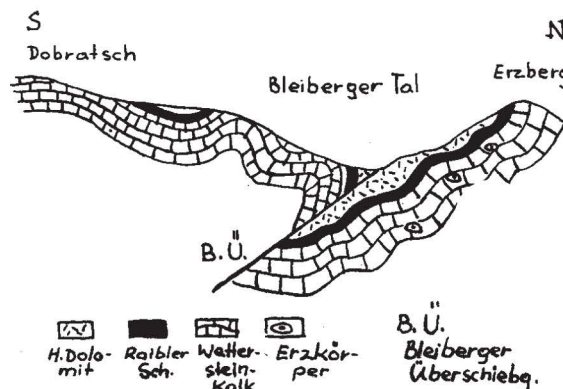


Abb. 2

dringlichen Raibler Schichten. Die Erze sind teilweise in ihrer unmittelbaren Nähe zu finden. Als primäre Erze treten Bleiglanz (PbS) und Zinkblende (ZnS) auf. Da in den oberen Schichten die Bleierze überwiegen, ist im Zuge der Entwicklung des Bergbaues in die Tiefe ein abnehmender Blei-, dafür aber zunehmender Zinkgehalt festzustellen. Die Grubenwässer werden über einen 13 Kilometer langen Erbstollen ins Drautal geleitet, wo sie bei Töplitz ein kleines Schurfarbeiten auch auf der dem Drautal zugekehrten Erzbergseite aufgenommen worden. Man traf Reicherze mit 12% Pb- und 27% Zn-Gehalt. Gegenwärtig beschäftigt der zur verstaatlichten Bleiberg Bergwerk-Union Aktiengesellschaft (BBU) gehörende Bergwerkbetrieb in Bleiberg-Kreuth 850 Arbeitskräfte.

Die Verarbeitung der konzentrierten Bleierze erfolgt in der Bleihütte Gailitz. Seit 1955 werden auch die Zinkerze in Gailitz verhüttet. Vorher mußte deren Verhüttung in Belgien oder der Bundesrepublik durchgeführt werden, was hohe Frachtkosten und den Verlust der in den Erzen enthaltenen anderen Bestandteile (Schwefel zum Beispiel) zur Folge hatte. Da die Kapazität der Bleihütte (12.000 Jahrestonnen) und der Zinkhütte (12.000 Jahrestonnen) durch die inländische Versorgung mit Erzen und Altmetallen nur zu 70% ausgelastet ist, trachtet die BBU, der die Betriebe in Gailitz gehören, gegen Lohn Erze für Italien aus dem jenseits der Grenze gelegenen Bergbau in Raibl zu verhütten. In den letzten Jahren ging diese Lohnverhüttung zurück:

Blei (Rohmetall):	1961	2900 t
	1962	2700 t
	1963	1800 t
Zink (Rohmetall):	1961	5100 t
	1962	3700 t
	1963	1800 t

Den beiden Hütten sind in Gailitz Betriebe angeschlossen, welche die anfallenden Nebenprodukte weiterverarbeiten. Bei der Zinkverhüttung wird Kadmium gewonnen (1963: 19 Tonnen). An die Röstanlage ist eine Schwefelsäurefabrik angegliedert. Da sie über den Eigenbedarf der BBU (Laugung der Zinkkonzentrate, Zinkelektrolyse, Lithoponeerzeugung) produziert, die anfallende Schwefelsäure (24.000 Tonnen) aber nur schwer absetzbar war, errichtete man eine Düngemittelfabrik, die Superphosphat herstellt. Den gesamten österreichischen Bedarf deckt die Lithoponefabrik, die aus Zinkerz und Schwefelsäure einen wichtigen Grundstoff verschiedener

Farben und Lacke herstellt. Der Energiebedarf der Betriebe in Gailitz beträgt im Jahr 50 Millionen kWh. Beschäftigt werden 850 Personen.

### Bedeutung und Probleme

Die österreichische Buntmetallwirtschaft kann den heimischen Bedarf nur zum Teil decken. Die Diagramme (Abb. 3 und 4) zeigen, daß unsere Wirtschaft in steigendem

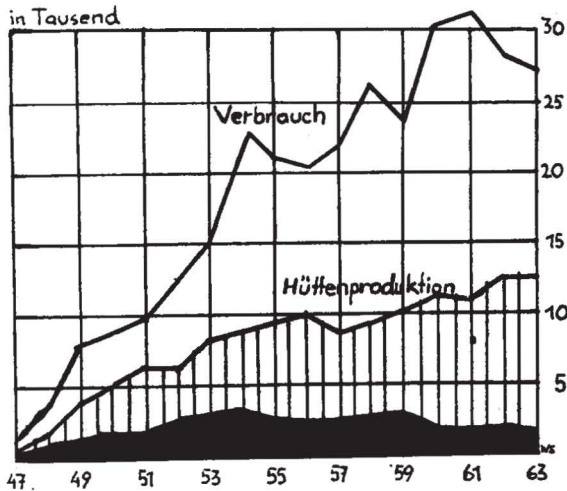


Abb. 3. Bergwerks- und Hüttenproduktion und Verbrauch an Kupfer in Tonnen.

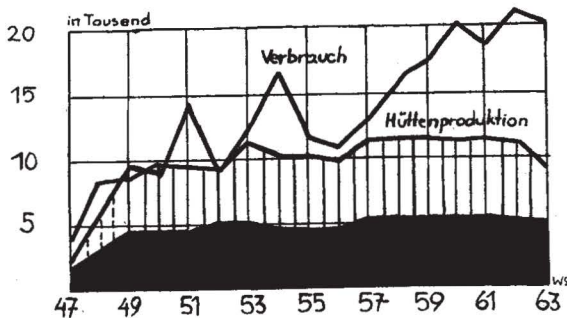


Abb. 4. Bergwerks- und Hüttenproduktion und Verbrauch an Blei in Tonnen.

Maße von importierten Buntmetallen abhängig ist. Die österreichische Kupfererzförderung deckt derzeit etwa mit 7% den heimischen Bedarf. Bei Blei beträgt die Deckung rund 25%. Nur bei Zink liegen die Verhältnisse etwas günstiger. Hier deckt die heimische Bergbauproduktion etwa 42% unseres Bedarfs. Um die Buntmetall verarbeitende Industrie nicht zu schädigen, wird für die Importe (Kupfer in erster Linie aus der BRD, Blei aus Jugoslawien, Zink aus Polen) praktisch kein Zoll erhoben. In Zeiten niedriger Weltmarktpreise gerät der Bergbau dadurch in große Schwierigkeiten, denn die Händler und Verbraucher füllen ihre Lager stark auf. So kam es beispielsweise 1958 bei einem Tiefstand der Rohkupferpreise zur Einfuhr von 18.100 Tonnen. (Umgekehrt wird in Hauszeiten mit Gewinn reexportiert, obwohl Österreich ein Zuschußland ist.)

Eine Stilllegung der Betriebe wäre heute, nach dem intensiven Ausbau der heimischen Buntmetallwirtschaft, mit schwerwiegenden wirtschaftlichen Nachteilen verbunden. Die nachgelagerten Betriebe würden ihre Rohstoffbasis verlieren, beträchtliche Investitionsmittel wären nutzlos ausgegeben worden, unsere Handelsbilanz würde sich weiter verschlechtern und, nicht zuletzt, 2500 Menschen verlören ihre, in manchen Gebieten einzigen Arbeitsmöglichkeiten. Allerdings wird man bei Stützungsaktionen nicht nur die österreichische, sondern auch die internationale Wirtschaftsentwicklung beachten müssen, insbeson-

dere, ob der Preisverfall bei Buntmetallen strukturelle oder temporäre Ursachen hat.

**Literatur:** K. SCHÖMIG, Österreichs Buntmetallwirtschaft, Wiener Geographische Schriften 17, 1963; K. BECHINIE und H. SCHNELL (Hgg.), Die verstaatlichte Industrie Österreichs und die Schule, Wien 1958.

## Die Eisenerz- und Koksversorgung in den Ländern der Montanunion

Der Prozeß der Eisenherstellung beruht auf der Reduktion von Eisenerzen im Hochofenprozeß. Für die Gewinnung einer Tonne Roheisen werden heute ungefähr zwei Tonnen Erz (bei einem durchschnittlichen Fe-Gehalt von 50%) und 0,7 bis 0,9 Tonnen Koks benötigt. Da Erz und Kohlen sehr selten am gleichen Ort vorkommen, außerdem sich nur einige Kohlenarten zur Verkokung beziehungsweise nur wenige Erzsorten unvermischt zur Verhüttung eignen, müssen große Mengen der benötigten Rohstoffe an den Produktionsort herangeschafft werden. Der bekannte Satz „Das Erz wandert zur Kohle“ ist jedoch nur bedingt gültig, da die Qualität des eingesetzten Eisenerzes und die Verkokbarkeit der Kohle Abweichungen bis zum Gegenteil bedingen können. Entscheidend ist vielmehr das Einsatzverhältnis der Materialien und der Gewichtsverlust, den die Roh- und Energiestoffe bei der Verarbeitung erleiden. Allerdings unter der Voraussetzung, daß keine Zölle und andere Beschränkungen den Transport behindern. Dies trifft für die im Gemeinsamen Markt für Kohle, Eisen, Schrott und Stahl zusammengeschlossenen Länder der Montanunion (Bundesrepublik Deutschland, Frankreich, Italien, Belgien, Luxemburg und die Niederlande) zu. Die beiden Kartenskizzen, die man am besten mit einer Verkehrskarte (Häfen, Kanäle, Bahnen) sowie einer Karte der Schwerindustrie vergleichen soll, zeigen die großen Transportströme von Eisenerz und Koks und die Verflechtung innerhalb der wichtigsten Industrieregion der Montanunionländer.

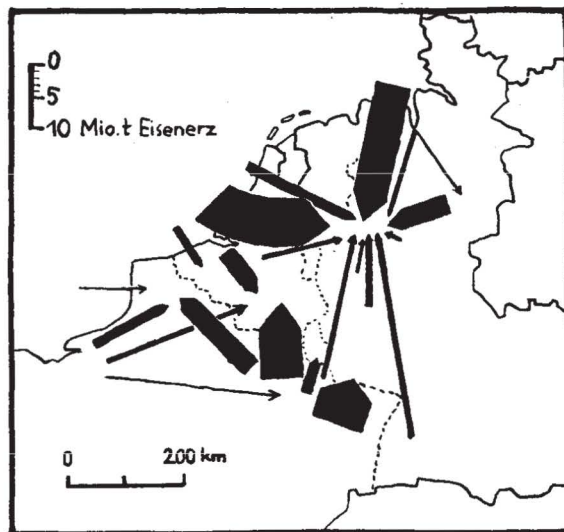


Abb. 1. Die Verflechtung im Verkehr von Eisenerz zwischen den bedeutendsten Eisenerzbergbau-Revieren, den Einfuhrhäfen und eisenschaffenden Industrierevieren.

Das größte und bedeutendste Eisenerzvorkommen der Montanunionländer ist das französisch-luxemburgische Minette-Vorkommen. 1959 förderten 72 Gruben 64 Millionen Tonnen Erz; sein durchschnittlicher Fe-Gehalt liegt bei 30—32%. Wirtschaftlich in stärkerem Maße genutzt wurde es wegen seines hohen Ph-Gehaltes erst nach Erfindung des Thomasverfahrens. Infolge der flachen und oberflächennahen Lagerung ist die Minette ein sehr billiges Erz. Allerdings verträgt sie wegen ihrer porösen Eigen-

schafft keine allzulangen Transportwege. Sie wird daher zum größten Teil im Minette-Revier selbst oder im Saargebiet, Südbelgien, Nordfrankreich und Luxemburg verhüttet. Das zweitwichtigste Eisenerzvorkommen bilden die Lagerstätten bei Salzgitter-Ilse am Nordrand des Harzes. 1959 förderten 20 Gruben etwa 13 Millionen Tonnen Erz. Der durchschnittliche Fe-Gehalt liegt bei 26–30%. Das Erz kann aber leicht auf 40–42% angereichert werden. Die Verhüttung erfolgt zum Teil im Revier, zum Teil im Ruhrgebiet. Die Eisenerzvorkommen in der Normandie zeichnen sich durch einen hohen Fe-Gehalt (40–55%) aus.

Trotz der zahlreichen und zum Teil auch mächtigen Eisenerzvorkommen reicht die Eisenerzförderung der Montanunionländer (1963: BRD 17, Frankreich 58, Luxemburg 7 Millionen Tonnen) nicht aus, um den Bedarf zu decken. Umfangreiche Importe sind notwendig. Moderne, bis zu 60.000 BRT große Frachter bringen hochprozentige (60–75%) Erze aus Labrador, Marokko, Mauritien, Liberia, Venezuela, Brasilien und Indien in europäische Häfen. Die Einstandspreise dieser Erze sind trotz der langen Transportwege nicht höher als die der näher gelegenen europäischen Erze, da die Förderkosten wegen der niedrigen Löhne, der kostengünstigen Tagbaue, des vollmechanisierten Abbaues und der zum Teil niedrigen Schiffsfrachten ungewöhnlich tief liegen. Infolge der überseeischen Konkurrenz geht die Einfuhr schwedischer Erze in letzter Zeit etwas zurück.

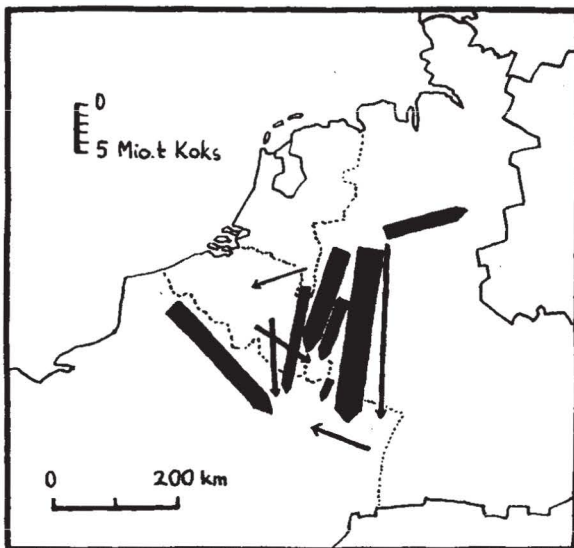


Abb. 2. Die Verflechtung im Verkehr von Koks zwischen den bedeutendsten Steinkohlenbergbau-Revieren und eisenschaffenden Industrievieren.

Das wichtigste Steinkohlenabbaugebiet ist das Ruhrgebiet. 1959 betrug dort die Gesamtförderung aus 129 Schachtanlagen 115 Millionen Tonnen, wovon zwei Drittel Fettkohlen (Kokskohlen) waren. Das nordostfranzösische Steinkohlenrevier förderte 1959 29 Millionen Tonnen, das Saargebiet, dessen Kohle sich allerdings nur schlecht zum Verkoken eignet, 16 Millionen Tonnen. Im südbelgischen Revier, das zu den ältesten Steinkohlenbergbaugebieten Europas zählt, sind infolge der schlechten Lagerungsverhältnisse die höchsten Produktionskosten Westeuropas. Das Gebiet hat daher mit großen Schwierigkeiten zu kämpfen. 1959 wurden von 84 Gruben 14 Millionen Tonnen gefördert. Die Niederlande hingegen besitzen einen sehr modernen und leistungsfähigen Steinkohlenbergbau. Zwölf Großschachtanlagen förderten 1959 im Limburger Revier 12 Millionen Tonnen. 1963 belief sich die Steinkohlenförderung der Montanunion auf 223 Millionen Tonnen (USA 428, UdSSR 397), wovon 142 auf die BRD, 48 auf Frankreich, 21 auf Belgien und 12 auf die Niederlande entfielen.

Literatur: K. F. GANSÄUER, Lagerung und Verflechtung der eisenschaffenden Industrie der Montanunionländer in räumlicher Sicht, Kölner Forschungen zur Wirtschafts- und Sozialgeographie, Bd. 1, Wiesbaden 1964; Der Fischer Weltatmanach 65.

## Eine neue Karte des Metallbergbaues der Erde

Zur Darstellung der Bodenschätze und des Bergbaues verwenden thematische Karten gewöhnlich zwei Methoden. Sieht man von älteren Karten ab, die keinerlei quantitative Aussagen machen, so haben sie entweder gleich große Signaturen, die durch Häufung die Bedeutung einer Montanregion erkennen lassen, oder sie versuchen, durch verschieden dimensionierte Bergbausymbole die Größe einer Lagerstätte beziehungsweise eines Montangebietes anzugeben. In beiden Fällen aber beziehen sich die mehr oder weniger genauen Wertangaben auf Gewichts- oder Raumeinheiten.

Die hier wiedergegebene Karte des Metallbergbaues versucht erstmals, den Erzbergbau der Erde durch den Geldwert der Montanproduktion darzustellen. Sie wurde einer an der Universität Zürich erarbeiteten Dissertation entnommen. Als Werteinheit wählte der Verfasser den US-Dollar. Nach Ermittlung der Erzbergbau-Produktion legte er mit Hilfe der Exportmenge und der Exportpreise (fob) für eine große Zahl von Ländern die Einheitswerte des exportierten Erzes fest und errechnete daraus, entsprechend der Bedeutung des betreffenden Landes als Erzproduzent, den sogenannten gewogenen mittleren Exportpreis. Durch Multiplikation mit der Produktionsmenge (Metallgehalt) wurde dann der Gesamtwert der Produktion bestimmt.

Die Karte ist flächentreu, wodurch eine dichtemäßige Auswertung möglich ist. Als Flächenmaßstab erscheint rechts unten ein Quadrat (250.000 km<sup>2</sup>). Die einzige geradlinige, meßbare Strecke ist der Mittelmeridian. Alle statistischen Angaben stammen aus dem Jahre 1960. Da jeder Wertsignatur (zum Beispiel: 10 Millionen Dollar), je nach dem Produkt, ein Gewichtsäquivalent zugeordnet werden kann, vermag man die Erzmengen ebenfalls aus der Karte herauszulesen.

Auf eine genaue Interpretation der Karte wird hier verzichtet, doch sollen einige Hinweise Anwendungsmöglichkeiten zeigen. Die Bergbauintensität kommt durch die Signaturdichte gut zum Ausdruck. Deutlich treten die großen Bergbauzentren der Erde hervor, wobei die Großsignaturen die Akzente setzen. Durch Addition der Zeichen ergeben sich sowohl für einzelne Staaten als auch für Kontinente oder beliebig begrenzbare Gebiete die Metallbergbauwerte, ohne daß die produktionsmäßige Zusammensetzung dabei eine Rolle spielt. Dadurch gewinnen wir aber eine Reihe interessanter Vergleichsmöglichkeiten. So betrug zum Beispiel im Jahre 1960 der Gesamtwert der Metallerzproduktion des Urals 980 Millionen Dollar, der des amerikanisch-kanadischen Seengebietes 1650 Millionen Dollar. Mit Hilfe des Geldwertes können wir die großen Erzbergbauzentren rangmäßig richtig ordnen.

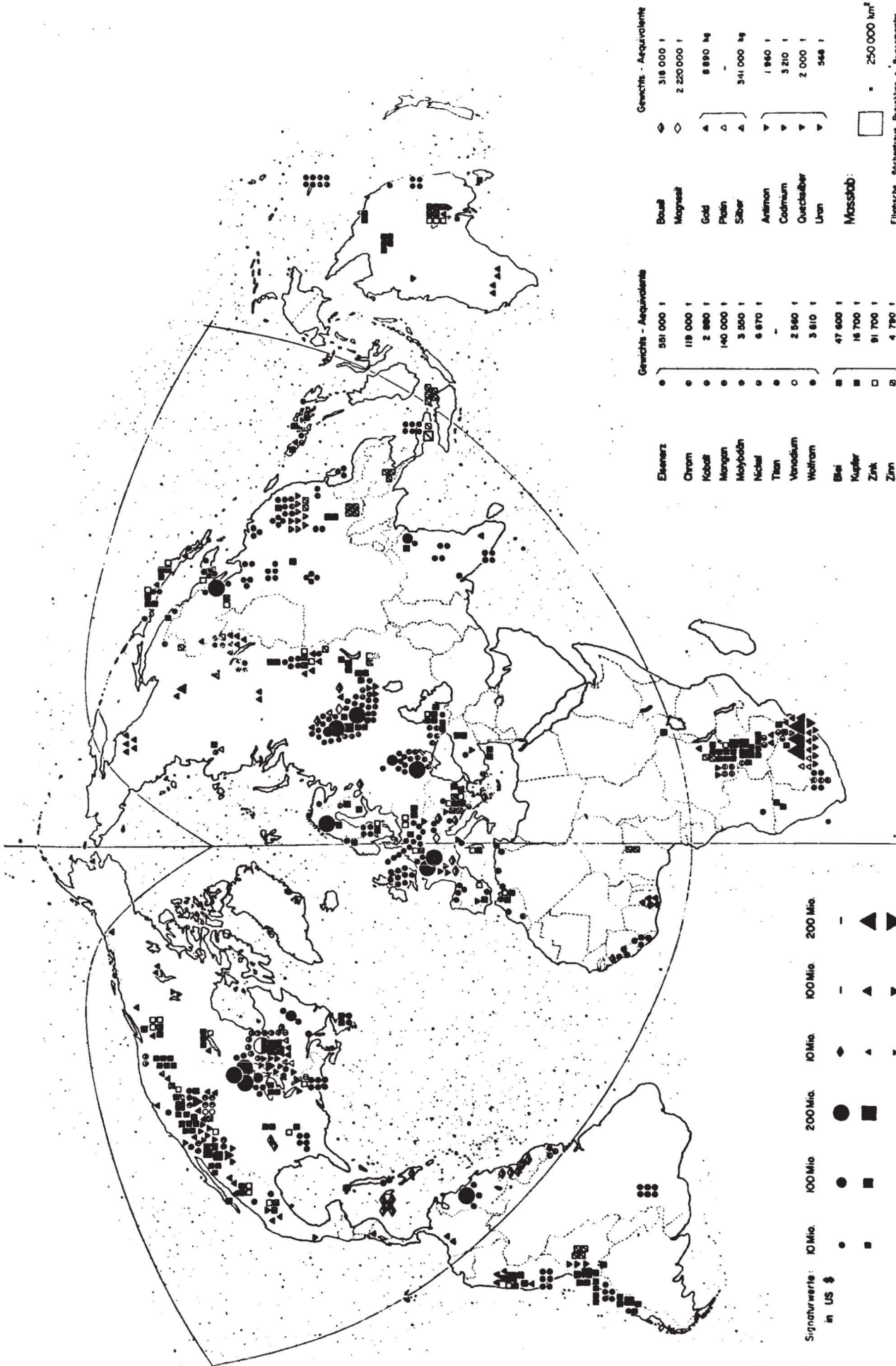
Ein anderer Vergleich stellt der Kupferproduktion des afrikanischen „Cooper Belt“ (560 Millionen Dollar) die Kupferausbeute der Rocky Mountain-Zone (20 Millionen Dollar) gegenüber. Die Goldförderung der Südafrikanischen Republik kann mit der Eisenerzproduktion der USA verglichen werden. Wir erkennen, daß Eisenerz mit einem Wert von 4630 Millionen Dollar an der Spitze der Erzbergbauproduktion der Erde steht, gefolgt von Kupfer (2490) und Gold (1560). Besonders lehrreich erweist sich der Vergleich mit anderen thematischen Karten (Handelsströme, Verkehrswege, Industriezentren, Bevölkerungsdichte, Verteilung des Bruttosozialproduktes usw.).

Literatur: H. U. WOHLGEMUTH, Der Metallbergbau 1960, ein Beitrag zum Problem der Wirtschaftsgeographischen Karte; Arbeiten aus dem Geogr. Institut der Univ. Zürich, 1963, Serie A, No. 147.

H. BOESCH und H. U. WOHLGEMUTH, Eine Karte des Erzbergbaues im Jahr 1960, Geogr. Rundschau 16, 1964, H. 1.

W. Sitte





Gewichte - Äquivalente	
●	351 000 t
○	118 000 t
●	2 800 t
●	140 000 t
●	3 500 t
●	6 870 t
●	-
○	2 940 t
●	3 810 t
■	47 600 t
■	16 700 t
□	91 700 t
□	4 700 t

Gewichte - Äquivalente	
◆	318 000 t
◇	2 220 000 t
▲	8 890 kg
△	-
▲	341 000 kg
▼	1 860 t
▼	3 210 t
▼	2 000 t
▼	548 t

Eisenarz.	Bauxit
Chrom	Magnetit
Kobalt	Gold
Mangan	Platin
Molybdän	Silber
Nickel	Antimon
Titan	Cadmium
Vanadium	Quecksilber
Wolfram	Uran
Blei	Mosstab:
Kupfer	□ = 250 000 km <sup>2</sup>
Zink	
Zinn	

Signaturwerte: 10 Mio. 100 Mio. 200 Mio. 1000 Mio. 2000 Mio.

in US \$

●	10 Mio.
●	100 Mio.
●	200 Mio.
●	1000 Mio.
●	2000 Mio.
▲	10 Mio.
▲	100 Mio.
▲	200 Mio.
▲	1000 Mio.
▲	2000 Mio.

Metallbergbau

Ellipsische Flächenreue Proportion n Breitenweite

# Sparen und Konsumieren

## Die Stellung der privaten Haushalte in der Wirtschaft

Die Gründung zahlreicher Konsumentenvereinigungen, die Schutz, Aufklärung und Beratung der Verbraucher zum Ziele haben, und die Aufrufe bedeutender Sozial- und Gesellschaftswissenschaftler — unter ihnen Prof. Dr. Oswald v. Nell Breuning — zu einer Revolte der Verbraucher, um die Menschen aus der heutigen Konsumentengesellschaft herauszuführen, geben Anlaß zu der Frage nach der Stellung der privaten Haushalte in der heutigen Wirtschafts- und Gesellschaftsordnung.

Ist es wahr, daß sich in der heutigen arbeitsteiligen Wirtschaft die Erzeugung von Sachgütern und die Erstellung von Dienstleistungen nicht nach der Werthöhe und der Dringlichkeit des Bedarfs richtet, sondern lediglich nach der Aussicht, die Güter und Dienstleistungen — unter Einsatz aller Mittel der modernen Werbung — mit dem höchstmöglichen Gewinn abzusetzen? Trifft es zu, daß in der heutigen „Konsumentengesellschaft“ in den Haushalten die wichtigen, für das Wohlergehen der Familie bedeutsamen Güter zugunsten von Gütern, die ein Geltungsbedürfnis befriedigen und das „soziale Prestige“ heben, zurückgestellt werden? Expertenkommissionen in der Schweiz und in Deutschland, die zur Untersuchung der wirtschaftlichen und soziologischen Verhältnisse in den einzelnen Haushalten eingesetzt wurden, mußten diese Fragen nach eingehendem Studium der einzelnen Problemkreise bejahen.

Das große Interesse, das den privaten Haushalten entgegengebracht wird, besteht zu Recht, gehen doch von ihnen Impulse aus, die für die gesellschaftliche und wirtschaftliche Entwicklung eines Staates von überragender Bedeutung sind. Die privaten Haushalte sind sich allerdings der großen Reichweite, die ihr Verhalten auf die Entwicklung der gesamten Volkswirtschaft hat, zuwenig bewußt.

Neben den Konsumentenvereinigungen haben sich auch die Sparkassen zur Aufgabe gestellt, die privaten Haushalte in der Entscheidung über die Verwendung ihrer Einkommen — insbesondere über die zweckmäßige Aufteilung auf Sparen und Verbrauchen — zu beraten. Die privaten Haushalte sollen dazu angeleitet werden, ihr persönliches Marktverhalten bewußter zu gestalten, um sowohl einzel- als auch gesamtwirtschaftlich den Wohlstand zu heben.

Die Entscheidungen der privaten Haushalte über die Verwendung ihrer Einkommen sind zum Teil maßgebend dafür, was und wieviel produziert wird und damit bestimmend für die strukturelle und wirtschaftliche Entwicklung der Produktion. Diese Erkenntnis haben sich die Unternehmungen zunutze gemacht, und es wird daher versucht, die „Verbraucher“ dazu zu bringen, ihr Einkommen für das Erstellen bestimmter Leistungen und Produkte zu verwenden. Damit wird der private Haushalt einer der Mittelpunkte des Konkurrenzkampfes der Unternehmungen um den Marktanteil.

Der private Haushalt darf aber nicht lediglich als „Verbrauchseinheit“ im Gegensatz zum Betrieb als „Produktionseinheit“ bezeichnet werden. Auch im Haushalt wird produziert, das heißt, es werden Güter und Leistungen bereitgestellt, allerdings nicht für den anonymen Markt, sondern für den eigenen Ge- und Verbrauch. Der Haushalt als unterste Stufe der Wirtschaft kann darüber hinaus auch andere Funktionen von vorgelagerten Stufen übernehmen. So wird beispielsweise durch die Aufbewahrung von Nahrungsmitteln im Kühlschrank dem Handel ein Teil seiner Lagerfunktion abgenommen.

Die einzel- und gesamtwirtschaftlich bedeutendsten Auswirkungen gehen von den Entscheidungen der Haushalte über die Art der Verwendung ihrer Einkommen aus. Es ist sowohl für den einzelnen Haushalt als auch für die Gesamtwirtschaft nicht gleichgültig, in welchem Ausmaß die Einkommen entweder dem Konsum zufließen oder gespart werden. Weiters ist es wichtig, auf welche Güter und Leistungen sich die für den Konsum bestimmten Einkommen verteilen und in welche Sparten der Wirtschaft die Ersparnisse der Haushalte unter Einschaltung von Kreditinstituten auf dem Weg der Kreditgewährung weitergeleitet werden.

## Einkommensverwendung — einzelwirtschaftlich gesehen

Ob und in welchem Ausmaß sich der Haushalt als Einzelwirtschaft ein „Vermögen“ schaffen kann und in welcher Weise es ihm möglich ist, seine Bedürfnisse zu befriedigen, hängt nicht nur von der Menge seiner finanziellen Mittel (der Höhe des verfügbaren Einkommens), sondern auch von der „Wirtschaftlichkeit“ ihrer Verwendung ab. Rationelles Vorgehen der Haushalte bringt natürlich keine Erhöhung ihrer Nominaleinkommen, wohl aber ihrer Realeinkommen mit sich.

Wirtschaftliches „Haushalten“ setzt im allgemeinen das Aufstellen eines Wirtschaftsplanes voraus, der die verfügbaren Mittel in zweckmäßigster Weise auf Sparen und Verbrauchen einerseits und nach der Rangordnung der Bedürfnisse andererseits aufteilt.

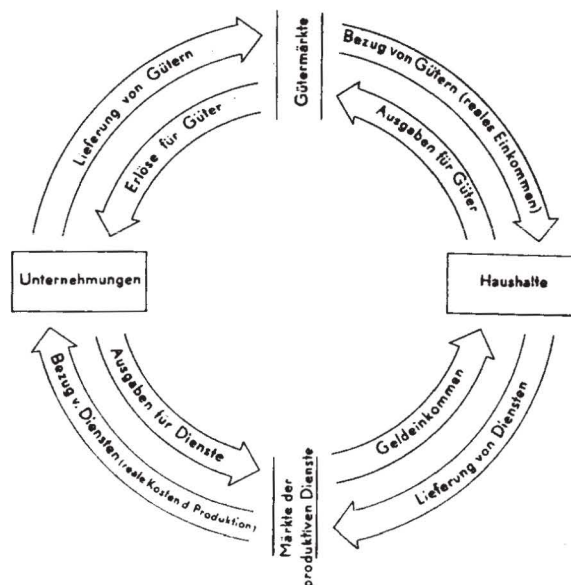
Die Rangordnung der Bedürfnisse ist naturgemäß subjektiv, da jeder Mensch eine andere Vorstellung von einer erstrebenswerten Lebensweise hat. Rationelles Wirtschaften bedeutet daher, daß der einzelne Haushalt sein ihm zur Verfügung stehendes Einkommen in optimaler Weise auf seine Bedürfnisse aufteilt.

Der bestmögliche Versorgungsstand ist für den einzelnen Haushalt aber nicht durch sofortigen Konsum, sondern durch Sparen zu erreichen. Sparen als der momentane Verzicht, Einkommen zur Nachfrage nach Verbrauchsgütern zu verwenden, bedeutet jedoch nicht wirklichen Konsumverzicht, sondern nur Konsumaufschub. Zu einem späteren Zeitpunkt ist es dann möglich, hochwertige Güter zu beschaffen und dadurch den Bedürfnissen eines gehobeneren Lebensstandards zu entsprechen. Durch Sparen wird für den einzelnen Haushalt die Bildung von „Vermögen“ erreicht, damit wird der persönliche Wohlstand gesteigert.

In welchem Ausmaß der private Haushalt Einkommen zum Sparen verwenden kann, hängt von folgenden Faktoren ab:

1. Von seiner Sparfähigkeit, die durch die Höhe des Einkommens und die dadurch notwendigen Verbrauchsausgaben bedingt ist. Die Höhe des Einkommens wird neben den persönlichen Verhältnissen, volkswirtschaftlich gesehen, auch durch den Stand und die Entwicklung der Produktivität, der Steuerpolitik, der Preisgestaltungen usw. beeinflusst.
2. Von seiner Sparwilligkeit, die als psychologischer Faktor von der erwarteten wirtschaftlichen Entwicklung, vom Grad der Vorsicht und ganz besonders von den Einflüssen der sozialen Umwelt abhängt.

## Wirtschaftskreislauf und Volkseinkommen



3. Von den Sparzielen, welche unterschieden werden können: die Bildung von Rücklagen für die Anschaffung von Gütern des gehobeneren Bedarfs, für künftige Notlagen und für die Beschaffung laufenden Einkommens aus Vermögen.

Die einzelwirtschaftliche Betrachtung der Haushalte ergibt, daß durch optimales Aufteilen der Einkommen auf Sparen und Konsumieren und durch rationelles Vorgehen bei dem Einsatz der finanziellen Mittel für die Bedürfnisbefriedigung eine bessere Vermögensbildung und damit eine Erhöhung des Wohlstandes des einzelnen Haushaltes möglich ist.

### Einkommensverwendung — gesamtwirtschaftlich gesehen

Die privaten Haushalte sind in vielfältiger Weise mit anderen Gebilden der Volkswirtschaft, in besonderem Maße mit den Betriebswirtschaften, verknüpft. Diese Verknüpfung kann man sich als Wirtschaftskreislauf vorstellen.<sup>1</sup>

Der Wirtschaftskreislauf zeigt, daß die Mitglieder der Haushalte produktive Dienste in Unternehmungen leisten und Güter von Unternehmungen beziehen: „realer“ Strom — und daß die Mitglieder der Haushalte Einkommen von Unternehmungen empfangen und Geld an Unternehmungen verausgaben: „monetärer“ Strom.

Einen eigentlichen Kreislauf führt nur das Geld aus, da es nicht im physischen Sinne verzehrt wird. Die Güter dagegen beenden ihren Umlauf in den Haushalten. An deren Verbrauch schließt sich aber das wiederholte Erbringen von Leistungen durch Mitglieder des Haushalts an.

Die Erfassung der volkswirtschaftlichen Zusammenhänge als Kreislauf zeigt, wie Ausgaben von Wirtschaftssubjekten zu Einnahmen anderer Wirtschaftssubjekte werden und diese dadurch zu neuen Aufgaben befähigen. Der Wirtschaftskreislauf ist geschlossen in dem Sinne, daß sich keine Stelle bestimmen läßt, an der er seinen Anfang nimmt bzw. die Stärke des Kreislaufes entschieden wird. Die Höhe der Nachfrage der Haushalte hängt von der Höhe ihrer Einkommen ab, diese wird aber wieder von der Höhe der Produktion bestimmt. So sind die Entschlüsse der „Unternehmer“ vom Verhalten der „Haushalte“ abhängig und das Verhalten der „Haushalte“ ist wiederum abhängig von den Entschlüssen der „Unternehmer“.

Im Schema dieses einfachen Kreislaufes wurde fingiert, daß das Gesamteinkommen der Haushalte die gesamte Produktion der Unternehmungen kauft. Eine Erweiterung geschieht durch Berücksichtigen des Sparens als nicht zur Nachfrage nach Verbrauchsgütern verwendeter Teil des Einkommens der Haushalte und des Investierens als nicht den Haushalten zugeleiteter Teil der Produktion der Unternehmungen.

Der berühmte Nationalökonom John M. Keynes<sup>2</sup> hat zum erstenmal darauf hingewiesen, daß in einer Volkswirtschaft die Investitionen zwangsläufig dem Sparen entsprechen müssen. Er stellte den Wirtschaftskreislauf in Form von drei Gleichungen dar, wobei die Ergebnisse der wirtschaftlichen Tätigkeit dabei in den Gesamtgrößen Volkseinkommen, Sparen und Investieren zusammengefaßt wurden.

$Y = C + I$	$Y =$ Volkseinkommen.
$Y = C + S$	$C =$ Verbrauchen, d. h. der Wert der den Haushalten zugeführten Verbrauchsgüter.
$I = S$	$I =$ Investieren, d. h. der Wert der Bestandsänderungen bei den Unternehmungen.
	$S =$ Sparen als nicht verbrauchter Teil der Einkommen der Haushalte.

Die erste Gleichung bringt zum Ausdruck, daß das Gesamteinkommen in einer Volkswirtschaft als Gesamtwert der in der Periode erfolgten Produktion durch Lieferungen der Haushalte und durch Lieferungen an Unternehmungen erzielt worden ist. Die nicht den Haus-

halten zugeführte Produktion muß dabei notwendigerweise den Beständen der Unternehmungen zugeflossen sein.

Nach der zweiten Gleichung ist das gesamte Einkommen gleich dem Wert der Ausgaben für Verbrauchsgüter und dem Sparen.

Da in diesen beiden Gleichungen das Einkommen (Y) und der Wert des Absatzes bzw. Kaufes von Gütern für den Verbrauch (C) gleich sind, ergibt sich in der dritten Gleichung notwendigerweise eine Wertgleichheit von Investieren und Sparen.

Das für die Entwicklung der Gesamtwirtschaft so wichtige „Investieren“ als Bildung von Realvermögen ist nur durch das „Sparen“ als Bildung von Geldvermögen zu erreichen.

Gesamtwirtschaftlich ist es weiters von größter Bedeutung, in welcher Form gespart wird. Da die privaten Haushalte ihre Ersparnisse zu einem großen Teil kurzfristig anlegen wollen, ist es z. B. für die Sparkassen als zwischengeschaltete Institute notwendig, diese in langfristige Kapitalien zu transformieren, die den Unternehmungen in Form von Krediten für sich erst nach langer Zeit realisierende Investitionen zur Verfügung gestellt werden können.

Die Sparkassen trachten die Ersparnisse der privaten Haushalte jenen Bereichen der Volkswirtschaft zuzuleiten, die für die Entwicklung der Gesamtwirtschaft bedeutsam sind. Es sind dies in erster Linie die sogenannten Schlüsselzweige einer Volkswirtschaft, wie z. B. die Bauwirtschaft, von denen befruchtende Auswirkungen auf die übrigen Wirtschaftszweige und damit auch auf die Gesamtwirtschaft ausgehen. Weiters verwenden die Sparkassen die Ersparnisse der Haushalte zum Ausbau der „Infrastruktur“. Unter „Infrastruktur“ versteht man jene Bereiche des menschlichen Lebens, wie beispielsweise das Verkehrswesen, das Erziehungs- und Bildungswesen, die Wasserversorgung, die sanitären Anlagen usw., die für die Entwicklung der Gesamtwirtschaft von grundlegender Bedeutung sind.

Das Sparen der privaten Haushalte liefert neben dem unternehmerischen Sparen jedoch nicht nur die Grundlage für die gesamtwirtschaftlich so bedeutsamen Investitionen, sondern hat auch sozial- und gesellschaftspolitisch günstige Auswirkungen. Durch eine breitgesteuerte Bildung von Ersparnissen kommt es nämlich zu einem steigenden Anteil breiter Bevölkerungskreise am Geld- und Konsumvermögen.

### Haushaltsbudgetberatung — eine Aufgabe der Sparkassen

In Erkenntnis der einzel- und gesamtwirtschaftlich bedeutsamen Auswirkungen, die von den Entscheidungen der privaten Haushalte über die Verwendung ihrer Einkommen ausgehen und der im allgemeinen geringen Kenntnisse der „Konsumenten“ über die wirtschaftlichen Zusammenhänge, führen die Sparkassen Haushaltsbudgetberatungen durch. Es wird dabei das Ziel verfolgt, die Hausfrauen zu einer planvollen Haushaltsführung und damit zu einem rationellen Konsumieren und Sparen anzuleiten.

Durch systematische Vermittlung von Wirtschaftswissen sollen die Hausfrauen befähigt werden, sich ein eigenes, kritisches Urteil über Qualität und Preis der zahlreichen auf dem Markt angebotenen Waren zu bilden, um sich den jeweiligen Marktverhältnissen bestmöglich anpassen zu können.

Über diese „Einkaufsberatung“ hinausgehend ist es Ziel der Budgetberatung, die Hausfrauen zu einer planmäßigen Haushaltsbudgetierung unter Berücksichtigung einer regelmäßigen Sparquote anzuleiten. Das Aufstellen von Normbudgets für bestimmte Haushaltstypen soll den Haushalten die Überprüfung der Wirtschaftlichkeit der Verwendung ihrer Einkommen durch Vergleichen mit Durchschnittswerten ermöglichen.

Eigentliches Ziel der Haushaltsbudgetberatung — die im Rahmen der gesampädagogischen Funktion der Sparkassen verstanden werden muß — ist es jedoch, die Menschen zu intelligent urteilenden und rational handelnden Staatsbürgern zu erziehen, damit sie ihre Entscheidungen als Mitglieder der privaten Haushalte über die Verwendung ihrer Einkommen in einer Weise treffen, die sowohl einzel- als auch gesamtwirtschaftlich zu einer Erhöhung des Wohlstandes beiträgt.

Dkfm. Dr. Eva Pohl

<sup>1</sup> Vgl. Prof. Dr. Andreas Paulsen „Allgemeine Volkswirtschaftslehre“.

<sup>2</sup> John M. Keynes: „Allgemeine Theorie der Beschäftigung, des Zinses und des Geldes.“

