

# Wissenschaftliche Nachrichten

Herausgegeben vom Bundesministerium  
für Unterricht und Kunst

Nr. 61 – Jänner 1983

Das Informationsblatt „Wissenschaftliche Nachrichten“ erscheint im September, im Jänner und im April jedes Schuljahres. Es geht auf Grund des Erl. der BMfU vom 18. 11. 65, Z. 120.712-V/4a/65 über die zuständigen Schulbehörden (LSR bzw. SSR) den Direktionen der allgemeinbildenden und der berufsbildenden höheren Schulen Österreichs zur kostenlosen Verteilung an alle Lehrer zu, welche in den genannten Schulkategorien **Philosophie, Mathematik, ein naturwissenschaftliches Fach, Geographie und Wirtschaftskunde** unterrichten. Schulen, die dem BMfU unterstehen, werden direkt von der Druckerei beliefert. Es wird gebeten, bei Anfragen das Rückporto in Form von Marken beizulegen.

## Achtung, Sternfreunde!

Auf Seite 30 lesen Sie, wann, wo und wie der Halleysche Komet vor kurzem zum **erstenmal wieder** gesichtet wurde!

## Achtung! Alte Nummern der Wissenschaftlichen Nachrichten gesucht!

Der Bibliothek der **Univ. Göttingen** fehlen die Nummern **5, 8, 9, 14, 16, 19, 20, 31** der Wissenschaftlichen Nachrichten.

Die Redaktion bittet um freundliche Zusendung solcher Exemplare, falls diese vorhanden und erhältlich sind.

Danke!  
Die Redaktion

## Zur Beachtung!

Ersuchen um eine höhere Zuteilungsrate der Wissenschaftlichen Nachrichten sind von den einzelnen **Schuldirektionen** an die zuständigen **Landesschulräte** zu richten.

### INHALT:

	Seite
<b>GRUNDWISSENSCHAFTLICHE PROBLEME</b>	
Rechtfertigung einer zeitgemäßen Ethik .....	2
<b>BIOLOGIE, GEOWISSENSCHAFTEN</b>	
Evolution und Erkenntnis .....	5
Sonderstellung der antarktischen Lebensgemeinschaft .....	9
Aktuelle Probleme im Pflanzenschutz .....	9
Stickstoffbindung .....	10
Gentechnologie – marktreife Produkte .....	10
Kurznachrichten .....	11
<b>CHEMIE</b>	
Katalyse-Modelle zur Fischer-Tropsch-Synthese .....	14
Membranstrukturen: Zellfusionierung und Einschleusung impermeabler Substanzen .....	16
Kurznachrichten .....	18
<b>EXPERIMENTALPHYSIK</b>	
Lichtgeschwindigkeitsmessung als Demonstrationsversuch .....	19
Neue Bauteile im Physikunterricht .....	21
<b>MATHEMATIK</b>	
Einführung von komplexen und hyperkomplexen Zahlen mittels Matrizen .....	23
Binomialkoeffizienten und Partitionen .....	26
Buchbesprechung .....	29
<b>PHYSIK, ASTRONOMIE</b>	
Element $Z = 109$ erzeugt .....	30
Erstes Wiedersehen mit dem Halleyschen Kometen! .....	30
Cliffordsche Zahlen als Dirac-Matrizen .....	30
Laser in der Industrie .....	32
Periodische Druckschwankungen im Siedewasserreaktor bei Kühlmittelverlust .....	34
Ein optischer Kreisel .....	34
Pflanzenfasern dienen der Natur als Lichtleiter .....	35
Die scheinbaren Überlichtgeschwindigkeiten .....	35
Fernrohre als optische Interferometer .....	36
Ab 1985 umkreist ein 2,4-m-Teleskop die Erde .....	38
Fehlen Galaxien in einem riesigen Volumen? .....	40
Sterne im Quasar 3C 48 nachgewiesen und neuer Rot-Shift-Rekord .....	40
Endphasen der Sterne: Neue Fakten .....	41
Kurznachrichten .....	42
<b>WIRTSCHAFTS- UND SOZIALGEOGRAPHIE, WIRTSCHAFTSINFORMATIONEN</b>	
Gemeinwirtschaft in Österreich .....	46
Sozioökonomische Grunddaten von den Staaten der Erde .....	48
Europäische Gemeinschaft: Exporte nach Übersee .....	51
Buchbesprechungen, Neuerscheinungen .....	52

## Rechtfertigung einer zeitgemäßen Ethik

(Fortsetzung vom Heft Nr. 60)

### III

#### Das Wesen menschlicher, sittlicher Richtungsfindung

Im Hinblick auf die kulturbestimmende Sachlage (konträre Verhaltensweisen der Generationen, plurale Kulturinhalte, Skeptizismus, Nihilismus) sowie die Unzulänglichkeit der Einzelverstöße oder philosophischer Sonderrichtungen, das Ethische zu bestimmen, ist ein Versuch angezeigt, die Frage der Ethik für unsere Zeit ganz und gar aus sich heraus anzugehen: nach der Berechtigung und Möglichkeit von Ethos zu fragen.

#### 1.

Da bedarf es zunächst tatsächlich einer sprachlichen Verständigung. Diese verspricht dann erste Aufschlüsse zu geben, wenn man der Überzeugung ist, daß in jedem sprachlichen Grundmorphem ein ursprüngliches menschliches Welt-erleben zum Ausdruck kommt und nicht nur ein Sprachspiel-teilchen dargestellt ist. So darf folgendes festgestellt werden: Das Wort „Sitte“ – im übrigen hat sich die weibliche Form statt der anfänglich männlichen wohl deshalb leicht durchgesetzt, weil öfter mit Recht von einer Anzahl von Ausprägungen an Sitte (Sitten) die Rede gewesen sein wird – ist früher gebraucht worden als die Wörter „sittlich“ und „Sittlichkeit“. Es mag demnach nicht abwegig sein, zu denken, daß ein ursprünglicher Zusammenhang von Sitten und Sittlichkeit besteht. Ähnliches gilt für ethos und mos, wovon die Ausdrücke Ethik und Moral ableitbar sind.<sup>27)</sup>

Dieser Tatbestand hat im Laufe des Nachdenkens über das Ethische auch zur Auffassung verführt, dieses als einen Klassenbegriff innerhalb bestimmter gewohnter sozialer Verhältnisse zu bestimmen. Aber diese Auffassung – wie immer man sie fachsprachlich darstellen könnte – übersieht, daß es „sittliche“ Haltungen geben kann, die eine starke Ablehnung einzelner Sitten darstellen, ohne daß sich die sozialen Verhältnisse ändern müssen oder im Kern geändert haben. Erst die Ablehnung führt dann zu neuen sozialen Verhältnissen. Damit wird das Gemeinsame von Sitte und Sittlichkeit, das in der Sprache aufbewahrt ist (Sittlichkeit, Ethos, Moral), auch wenn es zeitlich auseinanderliegen kann, sehr deutlich.

In der Geborgenheit des Umgangs mit Menschen und Dingen gibt es sonach ein ausgezeichnetes Wollen personaler oder auch kollektiver Art, das Voraussetzung dafür ist, sich als Träger von Sitte und Sitten formieren und sich zugleich als ein Ipsum bestätigen zu können. Sachlich bedeutet das: Eigenständigkeit und Fügung in einem Außen können als phänomenale Merkmale des ethischen Verhaltens gelten. Das heißt weiter: Sitte muß Prinzipien der Sittlichkeit standhalten können; und Sittlichkeit wäre ohne Verwirklichung, das ist ohne Ausprägung in Sitte und Sitten, nichts oder nichtig leer. Mit Bezug auf die schon früher erwähnte philosophische Diskussion darf behauptet werden, daß die formalistische Ethik (Kant) und die sogenannte materiale Wertethik (Scheler) lediglich Aspekte sind, also in ihrem Gegensatz weder wahr noch falsch sind, und die ethische Frage auch durch eine Synthese (N. Hartmann) beider Standpunkte nicht gelöst werden kann. Wir dürfen uns demnach von deren Redeweise absetzen, ohne die Thematik zu verlassen.

Aus diesen Überlegungen ergibt sich eine sprachtechnische Folgerung, an die sich die in Angriff zu nehmenden Ausführungen nunmehr halten wollen: Unter „Ethos“ sei jene Lebenshaltung des einzelnen verstanden, die auch innerhalb einer Gemeinschaft mit anderen Menschen als die aner kennenswerte Sitte und Sittlichkeit gilt; unter „Ethik“ die Besinnung (Reflexion) auf die Tatsächlichkeit von ethischen Lebenshaltungen. Von dieser Unterscheidung ausgehend, wären zu verstehen „Moral“ und „Sitte“, die vom Stand-

punkt der „Sittlichkeit“ aus kritisiert und sogar auch als „unsittlich“ abgewertet werden können; Menschen handeln dann „moralisch“, das ist der rechten Sitte gemäß, oder „ethisch“, das ist der Sittlichkeit entsprechend. Der folgerichtige Gebrauch des Ausdruckes „das Ethische“ wäre dann bezogen und eingeschränkt auf Gesinnungen, das sind Grundhaltungen in Übereinstimmung mit einem Prinzip, und entsprechende Handlungsverläufe, die als ethische oder moralische Phänomene gelten. Der Name „Ethik“ sei aber dann für die Wissenschaft Ethik vorbehalten.

**Ihre Grundfrage ist, wie die Sittlichkeit X sich mit der Wirklichkeit Y vereinigen kann.**

#### 2.

Mit diesem sprachlichen Rüstzeug kann man zu folgenden Aussagen vorstoßen:

Es ist richtig, daß sittliches Verhalten, selbst wenn dieses nicht mehr als nur Anerkennung der Sitte wäre, das Merkmal der Autonomie aufweist, wobei unter Autonomie die Verantwortlichkeit des Handelnden vor sich selbst<sup>28)</sup> zu verstehen wäre, nicht aber die Begründung des Verhaltens aus einem selbstgegebenen Imperativ. Bei dieser Ausdeutung ist das vielstrapazierte Problem der Willensfreiheit als nicht ausschlaggebend beiseite gerückt. Das bedeutet also genauer, **das Einstehen des Menschen mit seiner ganzen Kreatürlichkeit<sup>29)</sup>** für seine Entscheidungen, gleichviel, ob in kausalen Zusammenhängen oder kollektiv gebundenen Abhängigkeiten oder in der Einsamkeit vor einem „höheren“ gebietenden oder verbietenden Wesen. Man kann diesen Tatbestand als Pflichtenlebens bezeichnen. Erst wenn die Möglichkeit eines solchen gegeben ist, eröffnet sich das Fragen danach, ob etwas Rechtgetanes geschehen ist oder nicht. Es stellt sich hier dann die Frage, wie das „Schuldgefühl“ zu deuten wäre. Unzulänglich dagegen erscheint die Gleichsetzung von rational begründbaren Entscheidungen in Konfliktfällen mit moralisch richtigem Verhalten.<sup>30)</sup> So uferst das Prinzip der Autonomie in jene Kasuistik aus, mit der sich der späte Kant fast selbst widerlegt hätte. **Die totale Rationalisierung des Ethischen legt sich einer begriffbaren Bestimmung des Ethos quer.**

Es ist ferner richtig, daß alles sittliche Tun Bezüglichkeit auf die konkreten Sachgegebenheiten hat, mit welcher Erkenntnis das bloße Handeln aus Pflicht als nicht primär beiseitegeschoben ist, und daß es Bevorzugen und Abweisen von Handlungen gibt, so daß Bewertungssysteme entstehen, wobei keineswegs eine Absolutheit der Werte daraus abgeleitet werden darf, so daß es unbedingte Gebote und Verbote gäbe, deren Berücksichtigung erst das Ethische erzeugt.<sup>31)</sup>

Das bedeutet: Formalistische Ethik und materiale Ethik vertragen sich nur dann nicht, wenn Pflicht und Sachunabhängigkeit und das Ordnungsgefüge der Hierarchie des Ethischen und substantielle Wertschichtung miteinander verwechselt werden.<sup>32)</sup> Nicht schließen einander aus Autonomie und wertauslösende Sachgebundenheit; vielmehr sind in der Vereinigung beider Moral und Ethik, im Sinne einer transzendentalen Fundierung zu suchen.<sup>33)</sup>

Dasselbe ontologisch betrachtet: Dem Menschen ist ein Wissen um das Absolute nicht gegeben, selbst wenn wir, da unser Leben nicht aus uns autonom erzeugt ist, ein Absolutes anerkennen müßten; in der Autonomie unseres Handelns jedoch, das wir als sittlich verpflichtend ausüben, zielen wir gegen ein Absolutes hin. Menschen können – wahrscheinlich im Unterschied zu jenen Lebewesen, die dieselben Menschen als Tiere bezeichnen sittlich handeln – und fallen dadurch gewiß nicht in ein unsinniges Nichts.<sup>34)</sup>

Sie mühen sich also um das Gute im Sinne des Seinsgemäßen. Ein kulturelles oder auch nur existentielles Chaos, nicht einmal ein sich innerlich aufhebendes Nebeneinander aller möglichen Haltungen, braucht daher nicht das unabwendbare Schicksal der Generationen unserer Zeit zu sein.

## 3.

Die Feststellung, daß Autonomie und Sachgebundenheit der sittlichen Herausforderung einander nicht widersprechen, birgt die Frage in sich, wie dann der Zusammenhang gedacht werden müßte.

Ginge man vom Träger der Autonomie aus und zöge die Sachwerte in seinen Handlungsspielraum hinein, so gebe man damit die Eigengesetzlichkeit des Wertmaterials preis; das Objektive würde zu einem absolut Subjektiven gemacht.

Ginge man von einer objektiven Werthierarchie aus – die überdacht voll des Problematischen wäre –, so würde das Objektive verabsolutiert und das Subjektive vernichtet.

Um im Strom der Geschichte der modernen philosophischen Bemühungen zu bleiben, könnte man es so ausdrücken: der Zusammenhang muß derart gesucht werden, daß ein sowohl existentieller als auch transsubjektiver tragfähiger Ansatz gefunden wird.

Er lautet vorweggenommen: Die Bedingung und Rechtfertigung des menschlichen ethischen Verhaltens (des persönlichen und kollektiven Ethos) ist der allgemeine Verweischarakter alles Seienden, in welchem das menschlich Existierende sachgebunden und so verpflichtet leben soll. Hier wird das „Soll“ im Sinne des Geschicks verstanden.

Was so sehr abstrakt und zusammengezogen ausgedrückt ist, kann verständlich so umschrieben werden:

Die Ausgangs- und Grundsituation des Ethischen, die dem menschlichen Bewußtsein zum Problem werden muß, weil sie eine schicksalhafte Herausforderung ist, ist die Möglichkeit und Notwendigkeit der Übereinstimmung alles individuellen und kollektiven Fürsichhaltens und eines objektiven Richtigeins. Das heißt: jeder Mensch und jede Gemeinschaft von Menschen stellen durch die jeweiligen Taten und Duldung von Taten eine ontische Ordnung her; was wiederum so zu verstehen ist, daß die schon bestehenden Ordnungen anerkannt oder umgestaltet, wenn zerstört, selbst durch eigenes Tun, wiederhergestellt werden, oder daß überhaupt neue Ordnung geschaffen wird. Jedes ethische Verhalten ist daher ein Sicheinfügen sowie zugleich Mitgestalten an der sich entwickelnden transsubjektiven Welt. Auf diese Weise wird der Mensch mit allem, was strukturiert ist und er als strukturiert feststellen kann, verbunden. Das menschliche Verhalten ist Moment in der Dynamik des von ihm erlebten und zum Teil wißbaren Geschehens.<sup>35)</sup>

Dieses kann gleichermaßen gültig betrachtet werden als von einem fiktiven ruhenden Pol, dem Subjekt, oder von einem fiktiven ruhenden Gegenpol, der Gesamtheit alles Seienden, dem objektiven Sein.

Es geht demnach um das Humane im Sein. Und dieses Humane besteht im Ethischen. Ethos zeigt sich dann darin, daß jeder einzelne Mensch und seine Äußerungen und die menschlichen Verbände und deren Äußerungen sich orientieren am Ganzen des Seinsgeschehens, soweit dieses in seinen Ausformungen erkennbar, ja wißbar ist.

Dabei ist der Ausdruck „orientieren“ aus zweifacher Wurzel zu begreifen:

a) aus einem Prinzip oder einem Ziel, das als autonome Setzung anerkannt wird,

b) objektiv wahrheitshältig und deshalb in seinem Wahrheitsgehalt kritisierbar ist.

Damit ist die früher aufgezeigte Phänomenalität dessen, was sprachlich im Umkreis des Ethischen sich findet, begrifflich aufarbeitbar.

Es gibt demnach Handlungen des Menschen, die vorgezogen oder hintangestellt werden können, die allemal aber von objektiver Bedeutung sind. Anders ausgedrückt: Ethisches Verhalten soll seinsgerecht sein, und hier ist das „Soll“ imperativisch verstanden.

Die Möglichkeit hievon ist allein durch die Tatsache bedingt, daß alles, was vorhanden ist, in Beziehung zum menschlichen Bewußtsein treten muß, um anerkannt zu werden, und alles lebendige Handeln zugleich das Subjekt überschreitet. Das bedeutet aber auch, daß aus universalen Beziehungen einiges für den handelnden Menschen durchaus auch als ausgezeichnet aufgefaßt werden kann.

An dieser Stelle muß eine Auffassung zur Gänze ausgeschieden werden, die von der Glückseligkeit als ethisches Problem oder besser als Problem der Ethik überzeugt ist. Dieser Begriff setzt eine statische Welt voraus, in der alles schon vollendet ist und der Mensch deshalb ein Recht auf seine Vollendung auch hat. Das ethische Verhalten aber schließt sich, wie beschrieben, in die Dynamik alles Geschehens überhaupt ein. Es ist gar nicht die Frage, ob sittliches

Verhalten glücklich macht, da gilt die Auffassung Kants, daß Glückseligkeitsstreben mit Allwissenheit verbunden sein müßte und derart nur ein Ideal der Einbildungskraft sein kann.<sup>36)</sup> Sittliches Verhalten ist eine Notwendigkeit menschlicher Lebensart, und es kann deshalb nur die Frage aufgeworfen werden, ob das sittliche Tun des Menschen diesen erfüllt oder nicht, das heißt, anders ausgedrückt, ob er sich und in seinen Verbänden in ein „Ganzes“ eingefügt empfindet und darum auch weiß. Das Leben eines einzelnen oder einer Epoche des Daseins von Menschen kann geglückt oder nicht sein, recht oder schlecht.

## 4.

Es ist nunmehr die Verklammerung des menschlichen Verhaltens mit dem Sein als Ganzes zu untersuchen.

Dazu bedarf es zunächst einer Klarstellung, in welcher Weise die Vorstellung von einem „Ganzen“ und dessen Ableitungen von dem Wort „ganz“ im Zusammenhang mit ethischen Erörterungen bleiben müssen.

Bekanntlich sind die Begriffe „ganz, das Ganze, Ganzheit, Ganzheitlichkeit“ durchaus in einzelwissenschaftlichen Abhandlungen verwendet; dennoch werden diesen Ausdrücken von einer größeren Anzahl von Wissenschaftstheoretikern Bedenken entgegengehalten. Vielleicht liegt das daran, daß von der Sprachwurzel her im Ausdruck „ganz“ auch der Unterton „heil, vollständig, genug“ mitschwingt.<sup>37)</sup> Einem uneingeschränkten Heilsein entspricht nun die Totalität des Seienden keineswegs; es gibt da soviel einander Widersprechendes und Widerwärtiges. Die Tatsachen scheinen vielmehr zu lehren, daß es ein Heiles nicht gibt, so meide man besser auch das Wort „ganz“ und dessen Ableitungen im wissenschaftlichen, positiven Gebrauch.

Mit dieser Auffassung aber haben wir es mit einer jener Reduktionen zu tun, die den Forscher gerade gegen das „Tatsächliche“ blind machen. Fragt man, wie vorgeschlagen, transzendental, das ist nach der Möglichkeit einer Erscheinung der Wirklichkeit, so kann man immer noch Kant folgen.<sup>38)</sup> Er meinte, unsere Welterkenntnis wäre erst dann wahrhaft vollendet, wenn wir die Welt in allen ihren Gestaltungen an der Idee des Ganzen, alle ihre Bedingtheiten gleichsam rückschauend aus dem Unbedingten heraus begreifen könnten. Hier ist ein Vorbehalt für die Verwendung des Wortes „Ganzes“ als Begriff angemeldet; trotz dieses Vorbehalts kann Kant bestimmen, was ein Ganzes ist. „Ein Ganzes ist, was aus mehreren Einheiten besteht; ein zur Einheit verknüpftes Mannigfaltiges; viele Dinge, die vermittelt einer Verknüpfung Eines ausmachen.“<sup>39)</sup> Redet man nun von einem Totum als dem Sein, das in der Allheit der Bezüge gedacht ist, so kann auch der Ausdruck Ganzheit zur Erfahrung der Wirklichkeit sinnvoll verwendet werden. Man kann dann Ganzheit verstehen als das nach Regeln Auftretende, in der sachlichen Wirklichkeit Gestaltete und in seinem Zusammenhang auch Erkennbare. Ganzheiten können durchaus auch wieder vergehen.

Die Ausgliederung von Ganzheiten aus dem „Totum“ kann ontologisch, metaphysisch oder theologisch gedeutet und geglaubt werden, doch ist dies nicht Voraussetzung dafür, daß Ganzheiten in der Welt, in der der Mensch lebt und wirkt, bestehen und als solche in Rechnung gestellt werden.

P. Ricœur hat bei der Erörterung der Idee der Totalität – ein wissenschaftlich-konventioneller Sprachgebrauch aller Ausdrücke in dem angeschnittenen Bereich ist zum Schaden der „Ganzheitsproblematik“ nicht erreicht – davon gesprochen, daß jeweils nur eine „Forderung nach Totalitäten“<sup>40)</sup> methodisch gerechtfertigt sei.<sup>41)</sup>

Genau in diesem Sinne ist nunmehr das ethische Problem von der Wurzel her bis zur Möglichkeit einer sittlichen Zielsetzung formulierbar:

Ethisch ist für den Menschen durch sein Verhalten und Tun seine Entsprechung der jeweiligen Forderung nach Totalisation alles Wirklichen.

## 5.

Wie kann nun der Mensch der Forderung nach Totalisation entsprechen?

Die Antwort lautet: Die Menschen sind befähigt, an Tatsachen **Normen** zu finden, so daß ihre Handlungen sich danach richten können.

Auch den Begriff „Norm“ verwendet man nicht gerne im Zusammenhang mit Tatsachenerkenntnissen; man spricht davon, daß die Ethik sich mit normativen Sätzen abgeben müsse und läßt es bei dieser Feststellung bewenden. Man

kann dennoch ein Stück weitergehen und den Zusammenhang von „normativ“ und „Norm“ finden wollen. Es gibt in der Wirklichkeit, so problematisch dies auch der erkenntnistheoretischen Reflexion erscheinen mag, Phänomene, die sich bei überwiegender Häufigkeit von ihren Deformationen abheben. An einem extremen Beispiel wird das einsichtig: Es ist gar keine Frage, daß ein Schizophrener ein „Mensch“ ist, dennoch erwarten wir von einem solchen Menschen nicht das gleiche wie von einem „normalen“ Menschen. Selbst wenn sich die Taten eines normalen (A) und eines anormalen Menschen (B) vollständig glichen, würden wir eine Tat des A als schuldhaft, die gleiche des B nicht als schuldhaft bewerten können. Im gegebenen Fall differenzieren wir auch unser Verhalten im Rahmen des gesellschaftlichen Seins A oder B gegenüber. Der Begriff „Norm“ ist also im Zusammenhang mit der Wirklichkeit (objektiv), und das, was Menschen tun, kann als „normativ“ erlebt werden (subjektiv).

Wenn der Begriff Norm in folgender Art definiert ist, nämlich als jene Verflechtung von Seiendem, gleichviel ob quantitativ oder qualitativ, welche in der Wirklichkeit eine bereits gerichtete Ordnung erkennen und auch nachweisen läßt, ist dieser Begriff einem operativen Denken zu gebrauchen erlaubt. Der Schritt, vor dem sich viele an positivistischen Abhandlungen geschulte Denker scheuen, ihn zu tun, wäre ausschließlich der, unter Norm einen ausgezeichneten Bezüglichkeitszusammenhang, der auf eine allumfassende Ordnung<sup>42)</sup> hinweist, zu verstehen. Dieser Schritt, reflektiert man die Eigenart des Ethischen, braucht nicht getan zu werden. Nur auf Grund eines derartigen Schrittes käme man in die Thematik einer Ontologie oder gar Metaphysik.<sup>43)</sup>

Man kann nun in den verschiedensten Bereichen der erforschbaren Wirklichkeit Normhaftes in dem hier eingeschränkten Sinn feststellen. Dies ist die Aufgabe der Einzelwissenschaften. Im Zusammenhang der ethischen Fragestellung, die als eine kulturelle Angelegenheit bereits erkannt ist, wird die Thematik ersichtlich: Wir leben als Normensubjekte, wir bilden uns als Personen aus und unterwerfen uns Erziehungspraktiken, wir sind eins oder im Gegensatz zu einem vieldeutbaren Du, wir wirken in mannigfaltigen gesellschaftlichen Interdependenzen, in Gesinnungsgemeinschaften und staatlichen Organisationen, wir werden uns derzeit immer mehr bewußt, was mit der allgemeinen Bezeichnung „Menschheit“ gemeint sein könnte. Der Mensch fühlt, denkt, gestaltet sich unter Ideen und Ideologien, er verhält sich alltäglich-praktisch und technisch, er treibt für sich und gemeinsam mit anderen Wissenschaft und Kunst; die einen glauben sich einem Absoluten verhaftet, die anderen schieben das Problem in dieser Form beiseite und lassen die Möglichkeit des Verhaftetseins überhaupt außer acht. Aber: ob Individuum oder Persönlichkeit, ob für sich selbst oder für die Gemeinschaft, in der man leben muß oder will, immer ist zu fragen, ob die bestehende Form, in der sich die charakterisierten Felder entfalten, dem entspricht, was sie vorgeben zu sein, und daraus ergibt sich als Wesen der Handlung: So soll es sein, und daher soll ich dieses tun und jenes lassen.<sup>44)</sup>

Derart werden an Subjekte und Objektive Normen angelegt, wird die Wirklichkeit von Ich, Bildung, Gezweigung, Gemeinschaftsinstitutionen, Gesellschaft, Staat, Wirtschaft, Technik, Wissenschaft, Kunst, das Numinose, geprüft. Das ethische Tun besteht in seiner Tatsächlichkeit, in der Wirklichkeit, Normen anzuerkennen, wiederherzustellen, zu schaffen, und zwar personell und „dinglich“. In dieser Weise fügt sich der Mensch und fügen sich alle Menschen in das Geschehen der Welt ein, soweit diese für den einzelnen oder für alle offen ist. Ihr bloßes Abtasten auch im „Praktischen“ nach der Trial- und Error-Methode wäre zuwenig; das Verhalten nach „Geboten und Verboten“, die in ihrer Einhaltung einem jenseitigen Wesen dienen, zuviel für das menschliche Dasein. Die Ethik hat es demnach nicht mit einer zufälligen oder willkürlichen Gebotsschöpfung zu tun, sondern auszugehen von der Tatsache des In-der-Welt-Seins, wodurch Ethos und Kultur einander bedingend sind. Daraus entsteht das Hauptthema der Ethik als Wissenschaft: **das Soll in der Wirklichkeit.**

Bei solcher Auffassung des Normativen wird verständlich, warum mit der Frage einer ethischen Haltung auch die Frage nach dem Sinn des menschlichen Lebens und dem Sinn einer Kultur verbunden ist: passive und aktive Teilhabe an den Gefügtheiten der Welt gibt den Menschen und dem, worin sie wirken, ihrer Kultur, Sinn. Nicht irgendeine möglichst lang dauernde oder lang fortgesetzte Aneinanderreihung von Wohlbehagenzuständen ist sinnpositiv.

Mit dem Ethos ist auch ein geschlossener menschlicher Lebensraum umspannt, ein ineinanderwirken folgender Art: Ein rezeptiver Teil, in dem auch das Motiv der Reaktion ausgebildet wird. Ein kritischer Teil des affizierten Selbstbewußtseins, in dem die Einheit von Verstand und Vernunft das Handlungsfeld analysiert und die Mittel zusammenfügt, die ein gewolltes Ziel zu erreichen helfen. Ein bildender Teil der Aktion, die Tat, die sich auswirkt im Handelnden und in der Umwelt zugleich, welche Tat auch durchaus revolutionär sein und die Welt verändern kann. Mit Teilsichten, wie reine Praxis oder bloße Analytik des moralischen Tuns oder Veränderung um der Veränderung willen, ist sohin der menschliche Lebensraum nicht bewältigt. Menschen und Welt, Erkennen und Tun sind aufeinander angewiesen, gleichsam in einem System einander zugeordnet.<sup>45)</sup>

Dieses System in seiner Ausgliederung zu entfalten, ist die Aufgabe der Ethik als Wissenschaft. Und diese Wissenschaft vermag vorrangig dazu beitragen, daß sich die „Menschheit“ weiterentwickelt.<sup>46)</sup>

#### Anmerkungen zu III

<sup>27)</sup> Die Notwendigkeit genauer Wortbestimmungen hat neuerdings im Anschluß an H. Reiners Arbeiten wieder R. Lauth hervorgehoben in „Ethik in ihrer Grundlage aus Prinzipien entfaltet“, 1969.

<sup>28)</sup> „Verantwortlichkeit – vor – sich – selbst“ besagt, daß der Mensch die Fähigkeit und damit die Möglichkeit hat, seine Existenz in Spannung zur Welt als der Gegenstandssphäre zu versetzen und sich in dieser Aktion zum Selbstbewußtsein zu bringen.

H. Cohens „Selbstverantwortlichkeit“ als Problem der Eigengesetzlichkeit des Denkens (Ethik des reinen Willens, 1907<sup>2</sup>, S. 357 ff.) ist etwas anderes.

R. Pohlmann weist in dem Artikel „Autonomie“ im Historischen Wörterbuch der Philosophie, Bd. 1, 1971, Spalte 701, auf die Worte über die Antigone hin („lebend nach eigenem Gesetz“, Sophokles, Antigone 821).

Dies wird als „innere Haltung“ charakterisiert. In solche Richtung geht der Ausdruck „Verantwortlichkeit – vor – sich – selbst“.

<sup>29)</sup> Unter „Kreatürlichkeit“ im Zusammenhang mit der Grundfrage der Ethik braucht nicht die Abhängigkeit von einem Schöpfergott verstanden werden, sondern lediglich ein Kennzeichen alles dessen, was geboren, ins Leben gekommen, gewachsen und vergänglich ist. Man kann nicht nach dem gemeinen Ethischen fragen, ohne den Menschen in dieser Kreatürlichkeit zu sehen.

<sup>30)</sup> Die Denkkonstruktionen, die sich daraus ergeben, sind ablesbar in P. Lorenzen / O. Schwemmer, Konstruktive Logik, Ethik und Wissenschaftstheorie, Mannheim, 1973.

<sup>31)</sup> Man kann daher auch von keiner „Rangordnung zwischen den Qualitätssystemen der materialen Werte“, wie dies N. Hartman tut, sprechen, obgleich es Rangordnungen der Bewertungen, Qualitäten und Qualitätssysteme und Werte im Sinne von Gütern gibt.

<sup>32)</sup> Innerhalb der Entwicklung der christlichen Religion wird schon von Paulus ein Gegensatz der Erfüllung von Geboten und den tatsächlichen Lebensproblemen empfunden.

E. Schweizer, Paulus – und was aus ihm geworden ist, enthalten in dem Band „Paulus“, Herder, 1980, S. 265.

<sup>33)</sup> Historisch gesehen: Kant als überzeugter Aufklärer schmuggelt die „Vernunftidee“, das ist Wertüberhöhung des Verstandes, der Weltbereiche nach Gesetzmäßigkeiten konstruieren kann, in die Charakterisierung der „Autonomie“ hinein; M. Scheler steuert durch seine „Wertqualitäten“ eine Bestimmung von „Wesenheiten“ an, von denen man wieder zurück in die Welt finden könnte, was als ein Versuch zu deuten ist, aus dem Durcheinander der Werthaltungen des 19. Jahrhunderts herauszufinden, in das man durch den Abfall von einer geoffenbarten Religion gekommen ist.

<sup>34)</sup> Gedacht ist vor allem an die Auffassungen J. P. Satres und dessen Ausdeutern.

<sup>35)</sup> Hiezu hat J. Rivera, Konnatürliches Erkennen und vorstellendes Denken, Freiburg, 1967, in einer phänomenologischen Deutung der thomistischen Erkenntnislehre ein wesentliches Problem der „dynamischen Realität“ gesehen.

<sup>36)</sup> Kant in Grundlegung zur Metaphysik der Sitten, Ausgabe Weischedel, Darmstadt, 1968, Bd. 6, S. 48.

<sup>37)</sup> Siehe Stichwort „ganz“ in F. Kluge, Etymologisches Wörterbuch der deutschen Sprache, letzte Auflage.

<sup>38)</sup> Die Formulierung der vorgebrachten Gedanken folgt der beispielhaften Präzision der Darstellung R. Reiningers in dessen Kant-Buch, das 1923 als Band einer „Geschichte der Philosophie in Einzeldarstellungen“ erschienen ist.

<sup>39)</sup> Diese Formulierung folgt jener der C. C. E. Schmidts im „Wörterbuch zum leichteren Gebrauch der Kantischen Schriften, 1798“, neu herausgegeben von N. Hinske, Darmstadt, 1976. Dies deshalb, weil der Originaltext Kants in der Anmerkung zur Theses der zweiten Antinomie der reinen Vernunft (KrV, A 438) von der Sprache her verwirren könnte. Kant verwendet im Zusammenhang mit dem Begriff des Ganzen, die Ausdrücke: „zufällige Einheit“, die als „gegeben“ bezeichnet wird, und „substanzial“, was soviel wie „real“ heißen soll.

<sup>40)</sup> P. Ricoeur, Die Fehlbarkeit des Menschen. Deutsche Ausgabe, München, 1971, S. 72.

<sup>41)</sup> Man vergleiche hinsichtlich der Komplexität des Problems „Ganzes/Teil“ den einschlägigen Artikel im Historischen Wörterbuch der Philosophie (Herausgeber J. Ritter), Bd. 3, 1974.

Die hier vorgeschlagene Verwendung des Ausdruckes „Ganzheit“ setzt sich scharf ab von dem Verständnis: G. = Summe aufweisbarer Teile, Übersummatives, Menge der Figuretionen im Rahmen strukturellen Denkens, Zusammenhang im Sinne der Systemtheorie. Es zielt im Gebrauch der ethischen Fragestellung auf Wertfreiheit und Metaphysikneutralität.

Vgl. des Verfassers „Abriß einer Erörterung des Begriffes Norm“, in Wissenschaftliche Nachrichten Nr. 46, Jänner 1978.

Die umfassende analytische Erörterung des Normenbegriffes schließt Normenhierarchien nicht aus. Vgl. G. H. Wright, Norm and Action, a logical enquiry, London, 1963.

<sup>42)</sup> Die Erörterung des Begriffes Ordnung müßte ausgehen von der Behauptung oder Widerlegung des Satzes „Seinsordnung = Sinnordnung“ (H. Krings, Sinn und Ordnung; in: Das Problem der Ordnung, hg. von H. Kuhn und F. Wiedemann, München, 1962, S. 138).

<sup>43)</sup> Es sei aber nachdrücklich auf die Einsichten in O. Spanns Kategorienlehre hingewiesen, Gesamtausgabe 1950, Graz, Bd. 9 (1969). Dessen generale Sprachschöpfung „Gezweigung“ wird im Text an späterer Stelle nur vollständig metaphysikneutral verwendet.

<sup>44)</sup> Dieser Problemstellung ist wohl J. G. Fichte am nächsten gekommen. Siehe die frühere Anmerkung 14 zu Teil II dieser Abhandlung.

<sup>45)</sup> Damit ist auch die Schwierigkeit des sogenannten „praktischen Syllogismus“ überwunden, welche darin besteht, daß sich die Frage nach dem jetzt – und hier – zu Tuenden nicht logisch entscheiden läßt (vgl. H. Kuhn, Ist praktische Philosophie eine Tautologie?; in: M. Riedel, a. a. O., S. 61).

<sup>46)</sup> Dies stimmt überein mit den Feststellungen der genetischen Betrachtungsweise J. Piagets, wonach die Normen erst in der Entwicklung bewußt werden; das Bewußtsein sei an die gesellschaftlichen Verhältnisse gebunden, die Norm selbst nicht.

Das moralische Urteil beim Kinde, 1954, zit. nach Taschenbuchausgabe Suhrkamp, 1973, S. 455.

(Wird fortgesetzt)

# BIOLOGIE, GEOWISSENSCHAFTEN

Prof. F. Muckenhuber

Rupert Riedl\*)

## Evolution und Erkenntnis

Es ist wohl nicht von ungefähr, daß sich manche Begriffe in unserer Sprache fest mit der Vorstellung einer Theorie verbunden haben. Denkt man an die Weise, in welcher wir uns den Vorgang der Evolution oder den Gewinn von Erkenntnis erklären, so wird man sogleich die Begriffe „Evolutionstheorie“ und „Erkenntnistheorie“ vor Augen haben.

Wie wir wissen, verbirgt sich hinter solcher Wortwahl weniger eine Unterscheidung von theoretischen und konkreten oder praktischen Begriffen; denn jeglicher Begriff hat eine theoretische Komponente. Vielmehr scheint dies die Vorstellung von einem besonders umfassenden Konzept auszuzeichnen.

Wenn nun der Biologe Lorenz feststellt: „Evolution ist ein erkenntnisgewinnender Prozeß“<sup>1)</sup>, besser: Informationsgewinnprozeß, dann kann dies als der Versuch verstanden werden, zwei bereits umfassende Konzepte in ein noch umfassenderes einzureihen. Man sagt auch: über zwei Theorien eine Über- oder Metatheorie zu bilden. Und wir erwarten dann die Vorgänge oder Zustände im Evolutions- wie im Erkenntnisprozeß mittels jener Metatheorie gemeinsam prognostizieren, oder, wie wir uns ausdrücken: aus ihr erklären zu können.

### Die Methode,

welche wir Biologen dabei verwenden, ist zunächst die der vergleichenden Anatomie. Wir bilden aus den Körper- und Verhaltensstrukturen der Organismen Reihen, Verzweigungen, letztlich ein hierarchisches System von Feldern von Wesensähnlichkeiten, den Homologien; und deuten diesen Baum von etwa zehn Millionen Homologien als natürliche Verwandtschaft.<sup>2)</sup>

Bezogen auf die Interpretation der Evolution als einen Prozeß, welcher stets jene Formen ausliest, die durch verbesserte Anpassung (gleich Milieu-Entsprechung, gleich Kenntnis vom Milieu im weitesten Sinne), ihre Prognostik und damit ihre Überlebenschancen verbessern – bezogen also auf diesen Wissensgewinn über die Welt, bedeutet dies eine Einsicht in die Vorbedingungen der Vorbedingungen und so fort eines jeden möglichen Gewinns von Wissen.<sup>3)</sup>

Dies hat Ähnlichkeit mit dem Rationalismus, nach welchem jeder Wissensgewinn des Vorwissens bedarf, aber ebenso mit dem Empirismus, nach welchem Erfahrung nur durch Erfahrung zu gewinnen ist. Wir werden aber entsprechend, dies sei vorweggenommen, bald Langzeiterfahrung von Kurzeiterfahrung zu unterscheiden haben.

Freilich darf nicht übersehen werden, daß unser Erkenntnisapparat, mit welchem wir uns an diese Untersuchung machen, selbst das Produkt des erkenntnisgewinnenden Prozesses ist, welchen wir untersuchen. Wir legen gewissermaßen die uns vorgegebenen Erkenntniskategorien den Phänomenen evolutiven Erkenntnisgewinns an. Dabei stellen wir eine Gleichstrukturierung oder Isomorphie fest. Zunächst durch den Umstand, daß sich diese Entwicklung mittels unserer Denkkategorien verstehend verfolgen läßt. Aber mehr noch: Unsere Denkmuster erweisen sich in einem solchen Maße in Übereinstimmung mit den von der Evolution geschaffenen Naturmustern, daß der Zufall als Erklärung ausscheidet. Beide müssen dieselbe Ursache haben; und das ältere Muster, das Naturmuster, muß die Ursache des jüngeren, unseres Denkmusters sein.<sup>4)</sup> Wir verstehen diese Iso-

morphie also als ein Selektionsprodukt unserer Denkmuster an den Evolutionsmustern und diese als ein Selektionsprodukt an den Grundstrukturen der anorganischen Natur.

Dies, so vermuten manche, hat wieder Ähnlichkeit mit dem Problem der Transzendenz im Sinne eines Hinübersteigens oder Hinüberreichens in weitere, hinter dem Gegenstand liegende Bereiche. Jedoch nun in einem gänzlich unmetaphysischen, nämlich einem rein naturwissenschaftlichen Sinne, nach welchem wir erwarten, daß sich die Kette dieser Isomorphien von unseren Denkstrukturen bis auf die Grundstrukturen dieser Welt empirisch bestätigen lasse.

Nun noch ein Wort zu dem, was wir biologisch als einen Informations- oder Kenntnisgewinn betrachten. Nehmen wir ein Sinnesorgan: unser Auge. Dann stellen wir fest, daß hier alle für einen Organismus relevanten Gesetze der Optik demselben seinem Erbmaterial, in der Form von Aufbau- und Betriebsanleitungen eingebaut worden sind. Wir können auch sagen: der Evolutionsprozeß hat die für das Überleben jeweils entscheidenden Naturgesetze dem Milieu extrahiert und dem Organismus als Entscheidungshilfen erblich appliziert. Und zwar in dem Sinne in unverlierbarer Weise, als alle Mutanten mit irgendwelcher Sehuntüchtigkeit aus dem Strom genetischer Weitergabe stets wieder ausgeschlossen werden.

Solcherlei Gewinn von Kenntnis zählen wir zur Langzeiterfahrung.<sup>5)</sup> Denn sie bleibt bei aller Flut von Kurzeiterfahrung, welche wir mit Hilfe unserer Augen ständig machen, erhalten. Einmal, weil sie von jedem optischen Erfahrungsgewinn vorausgesetzt und fortlaufend selektiv kontrolliert wird; ein andermal, weil es sich um das isomorphe Widerbild eben der grundlegenden Gesetze der Optik handelt. Dies ist ein Punkt von Interesse.

Das, so wird man vor Augen haben, hat nun wieder Ähnlichkeit mit dem Produkt sozialen oder wissenschaftlichen Kenntnisgewinns. Denn was dort durch den wissens- oder erfahrungsgewinnenden Prozeß des Keimmaterials erlernt wurde, das ist hier nunmehr von den Physikern gewissermaßen wiederentdeckt worden und nun im Wissen einer Kultur durch Tradierung ihren Populationen unverlierbar geworden.

### Die Erklärung

dieser Prozesse, nämlich des Wissensgewinns in der Evolution der biologischen wie der sozialen Strukturen, meinen wir Biologen, mit Oeser<sup>6)</sup>, in einem „allgemeinen Algorithmus schöpferischen Lernens“ gefunden zu haben. Ich verwende das Wort „Lernen“ hier der Kürze halber, habe aber das originale Gewinnen von Erkenntnis im Auge; also von Wissen oder Einsicht, wo vordem keine Kreatur eine solche besaß. Wenn ich also nun vom Lernen spreche, so in einem weiteren wie engeren Sinne. Erweitert, weil wir das genetische oder mutative Lernen gleich wie das individuelle (besser: somatische) oder assoziative Lernen behandeln; denn es erweist sich auch das eine als die Voraussetzung des anderen. Verengt, weil nur vom schöpferischen, originalen Wissensgewinn die Rede ist; und nicht von der Wissensverbreitung, für welche im genetischen Lernprozeß Kreuzung und Rekombination der Gene die Verbreitung in der Population bewerkstelligt, für den somatischen Lernprozeß das, was wir Nachahmung, Anleitung oder Unterricht nennen.

Denn gewiß ist die Verbreitung gewonnenen Wissens in der Population, sei es durch Kreuzung oder Nachahmung, die Voraussetzung jedes evolutiven Erfolgs. Weil jedes nicht verbreitete Wissen, ob einer Mutation oder Entdeckung und Erfindung von seinem Besitzer mit in sein Grab genommen wird. Der schöpferische Akt aber bleibt stets ein individueller, sei es eine genetische Mutante oder eine kulturelle, die wir dann das Schöpferische in einem Menschen nennen.

Ein Algorithmus ist es in dem Sinne, wie (vereinfacht) eine Division mit wenigen, aber beliebig oft wiederholbaren Operationen, Umlauf für Umlauf das Resultat optimiert oder ge-

\*) Univ.-Prof. Dr. Rupert Riedl, Institut für Zoologie der Universität Wien, 1090 Wien, Althanstraße 4.

nauer macht.<sup>7)</sup> Dieser Algorithmus schöpferischen Lernens kann als ein Schraubenprozeß vorgestellt werden. Und jeder Umlauf enthält zwei Hälften (Abb. 1).

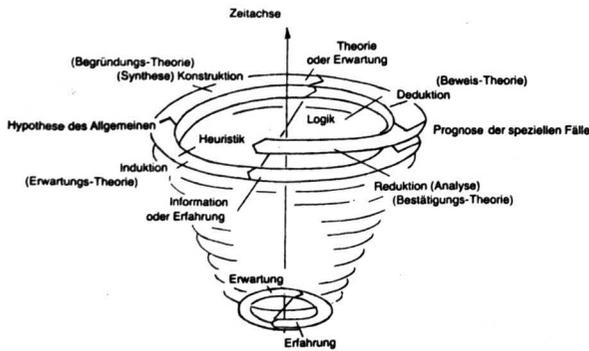


Abb. 1. Der Algorithmus schöpferischen Kennntis-Gewinns. Hervorgehoben sind die Merkmale der obersten Schichte, der rationalen Wissenschafts-Dynamik (nach E. Oeser, 1976, aus R. Riedl, 1980).

Die eine Hälfte enthält eine genetische, in späterer Evolution eine physiologische bis psychologische Dimension. Man kann sie in unserer Ausdrucksweise als eine Erwartung beschreiben. Als Prozeß ist sie der Induktion verwandt<sup>8)</sup>, wenn man darunter die Erwartung versteht, von den Fällen ein Gesetz, vom Speziellen das Allgemeine vorhersehen zu können. Mit logischem Schließen hat dies nichts zu tun.<sup>9)</sup>

In dieser Hälfte des Kreislaufs gibt es zwei Alternativen. Entweder die Re-Etablierung des Etablierten, die Wiedererwartung des Bekannten, oder als Alternative den schöpferischen Versuch (Abb. 2). Ersterem entspricht im genetischen Lernprozeß die identische Replikation, die originalgetreue Vermehrung, im somatischen die Erwartung, mit dem bisher erfolgreichen Handeln oder Urteilen wieder Erfolg haben zu können. – Die zweite Alternative enthält den schöpferischen Versuch, die Sache etwas anders zu probieren. Genetisch entspricht dem die Mutation, somatisch das Fassen irgendeiner noch unerprobten Assoziation oder Idee. Beides enthält – neben aller Entscheidungshilfe aus allem bisherigen Wissen – eine Zufallskomponente, einen Schritt ins Ungewisse (Metaphysische?). Das ist für die blinde Mutation wohl bekannt, gilt aber auch für die schöpferische Assoziation oder Idee. Denn bekanntlich geht keine Erfindung oder Entdeckung restlos auf ihre Prämissen zurück. Denn wäre dies so, wir könnten alle noch möglichen Erfindungen oder Entdeckungen heute schon machen.

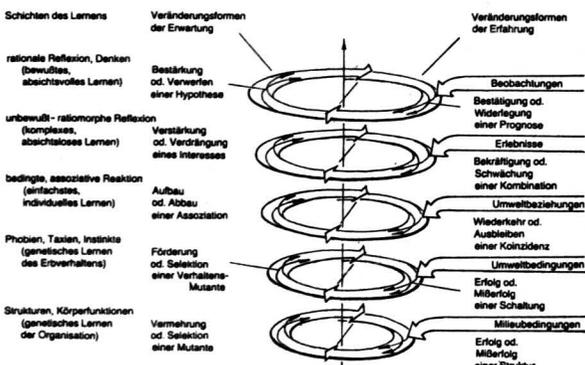


Abb. 2. Der kennntisgewinnende Algorithmus. Hervorgehoben sind die Alternativen in den beiden Hälften des Schraubenprozesses, dargestellt zum Beispiel von fünf Schichten (aus R. Riedl, 1980).

Die andere Hälfte des Kreislaufs enthält das Korrektiv. Im genetischen Bereich spricht man von Auslese, weiters von natürlicher und künstlicher Zuchtwahl, im somatischen von Wahl- oder Entscheidungsweise, und mit dem Hinzutreten von Reflexion und Bewußtsein von Urteil und Vernunft. All das hat mit dem zu tun, was wir als Gewinn von Erfahrung erleben. Als Prozeß ist dies nun der Deduktion verwandt, und

zwar durchaus im Sinne logischen Schließens, gemäß unserer (auch formalisierbaren) Erwartung, das Gesetz an seinen Fällen prüfen zu können, wie den Obersatz an seinen Sätzen oder das Allgemeine am Speziellen.

Auch in dieser Hälfte des Kreislaufs harren zwei Alternativen: Erfolg und Mißerfolg. Im genetischen Bereich spricht man von Selektion, von Förderung oder Verhinderung der Weitergabe des Erbguts. Im somatischen von Verstärkung und Minderung, Bekräftigung und Frustration, Bestätigung und Widerlegung, von Verifikation und Falsifikation.

Mit jeder gemachten Erfahrung ändert sich die darauffolgende Erwartung. So, wie auch jede neue Erwartung neue Möglichkeiten des Erfahrungsgewinns eröffnet. Damit schließen sich die Kreishälften nur im gewinnlosen Totgang zum Zirkel. Jeder erfolgreich veränderte Umlauf kehrt hingegen nicht in sich zurück. Vielmehr enthält er eine Steigerung der Schraube, die bildlich dem Wissens- oder Erfahrungsgewinn entspricht.

Aus diesem Schraubenprozeß, den wir freilich schon viel differenzierter sehen, will ich hier nur noch einen Sektor näher darlegen (Abb. 3). Dies ist der Sektor der erwähnten Entscheidungshilfen. Er gehört in die induktive Kreishälfte, in die der Erwartungen und blinden Versuche.

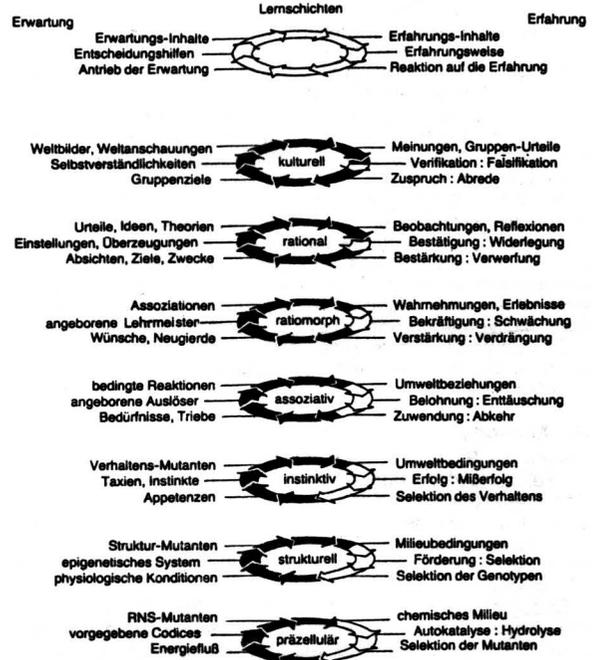


Abb. 3. Der Lern-Algorithmus. Hervorgehoben sind jeweils drei charakteristische Abschnitte der beiden Hälften des Schraubenprozesses, dargestellt am Beispiel von sieben Schichten (aus R. Riedl, 1980).

Der Mechanismus der Evolution unterliegt selbst der Evolution. Und diese Evolution des Evolutionsmechanismus beruht in erster Linie darauf, keine bisher bewährte Langzeiterfahrung preiszugeben, sondern sie sämtlich und Schicht auf Schicht, als Entscheidungshilfen einzusetzen; alles als Unsinn „erkannte“ auszuschließen. Wir können auch sagen: um das Suchfeld des schöpferischen Zufalls, das sich mit der Komplexität weitet, immer wieder einzugrenzen. Denn eine Evolution, die darauf angewiesen ist, mit Hilfe des Zufalls schöpferisch zu sein, kann es sich nicht leisten, die Möglichkeiten des Zufalls ausseren zu lassen. Die Chance des Haupttreffers entspricht ja dem Kehrwert der Zahl der Lose.

Schichtenweise wurden in der Evolution zunächst die genetischen Codices optimiert und unverbrüchlich festgehalten. Auf ihnen aufbauend geschieht dasselbe wie mit dem System der Gen-Wechselwirkungen (dem sogenannten epigenetischen System). Auf diesem bauen die Taxien und Instinkte, die angeborenen Auslösemechanismen und die Lehrmeister unserer Vernunft (darauf komme ich zurück). Und auch im folgenden bewußten und kulturellen Lernen entwickeln sich stets soziale Wahrheiten, wie Einstellungen, Überzeugungen und Selbstverständlichkeiten, um uns eine Flut von Alltagsentscheidungen abzunehmen.<sup>10)</sup>

Schichtweise absteigend werden nun all jene Vorbedingungen und die Vorbedingungen der Vorbedingungen des Kenntniserwerbs deutlich, von welchen wir ausgegangen sind. Sie haben alle mit einer Qualität zu tun, die wir rational als Erwartungsinhalte erleben. Da steht es nun außer Frage, daß z. B. unsere Fähigkeit, Ideen zu entwickeln, die psychologische Fähigkeit der Assoziation voraussetzt. Diese wieder setzt die Physiologie der bedingten Reaktion voraus, die selbst wieder auf einer Kombination, also dem Vorbesitz von unbedingten Reaktionen, Regelkreisen, Reflexen und Taxien beruht, welche weiter ein Nervensystem, Nervenzellen, diese Reizleitung und weiter das genetische Gedächtnis zur Voraussetzung haben.

In diesem Kontinuum gibt es allerdings einen charakteristischen Knick. Er befindet sich an der Stelle, an welcher das genetisch-schöpferische Lernen in jene Phase übergeht, welche wir bislang das somatische oder assoziative Lernen genannt haben. Der Wendepunkt liegt also dort, wo der genetische Wissensspeicher von dem der sozialen oder kulturellen Tradierung überbaut wird; eigentlich überrannt wird, denn der Wissenserwerb erfolgt nun um das etwa Milliardenfache schneller. Man kann darum von einer ersten, genetischen, und einer zweiten, kulturellen, Phase der Evolution sprechen.

Und da wir kulturelle Lernfortschritte höchstens in Jahrhunderten, maximal in Jahrtausenden messen, die genetischen aber in Jahrmillionen und hundert Jahrmillionen, so können wir für unsere Kultur allen genetischen Lernerfolg getrost zur Langzeiterfahrung rechnen.

### Von den Erfolgen der Langzeiterfahrung

interessieren uns naturgemäß am meisten die höchsten oder komplexesten Schichten, da sie die unmittelbaren Vorbedingungen unserer Vernunft enthalten. Brunswick hat schon von einem „ratiomorphen Apparat“ gesprochen, Lorenz von den angeborenen Lehrmeistern der Vernunft.<sup>11)</sup>

Ich will jedoch wenigstens mit einigen Beispielen aus tieferen Schichten zeigen, wie alt die wesentlichsten Errungenschaften dieses Lernalgorithmus sind. Auf seine Grenzen und Mängel werde ich am Schluß zurückkommen.

Ein Einzeller, z. B. das Pantoffeltier, besitzt ein Programm, welches beim Auftreffen des Vorderendes auf ein festes Objekt den Wimpernschlag umkehrt, dann kurz einseitig bewegt, um darauf wieder auf das Vorwärts zu schalten. Der Erfolg ist eine Rückwärtsbewegung und die Fortsetzung der Fahrt nach einer kurzen Wendung. Schon in dieser Schichte erkennt man die Abstraktionsleistung. Das Programm schält alle Eigenschaften dessen heraus, was wir ein Hindernis nennen: Undurchdringlichkeit, begrenzte Ausdehnung und die Erwartung, daß es dem neuen Kurs nicht folgen werde, also umgangen werden könne.

Aus einer nächsten Schicht erwähne ich die Zecke. Sie bedarf zur Reifung Säugetierblut. Und sie enthält ein Programm, nach welchem sie sich bei Geruch von Buttersäure aus dem Gesträuch fallen läßt und beim Berühren eines Objekts von 37 °C den Saugstachel einbohrt. Ein verlässlicheres Programm mit dem Sensorium einer Zecke zu definieren, was ein Landsäuger wäre, ist schlechthin nicht denkbar. Hier fällt neben der Abstraktionsleistung noch auf, mit welcher hohen Wahrscheinlichkeiten operiert wird.

Beispielsweise haben alle Bodenorganismen, Fadenwürmer, Urinsekten, Milben, unabhängig voneinander ein Programm erworben, welches sie bei zunehmender Trockenheit in die Tiefe steuert. Aus dem einfachen Grund, weil es am wahrscheinlichsten ist, daß es dort (und nur dort) feuchter werde.

In einer dritten Schichte finden wir z. B. bei einem Küken das Programm, sich bei Wahrnehmung eines langsam kreisenden Punktes am Himmel sofort in eine Deckung zu drücken. Grund: Eine Erscheinung von solcher Art wird sehr wahrscheinlich ein Raubvogel sein.

Dasselbe Küken besitzt auch ein Programm, das ihm jene Erscheinung, welche in frühen Lebensstunden am Nestrand auftaucht, zeitlebens als das Bild seiner Eltern einprägt. Denn jede andere Erscheinung am Nestrand ist unwahrscheinlich, ein Wissen um die Eltern aber von lebenserhaltender Bedeutung.

Selbst das explorative Lernverhalten ist voll der vernünftigen Programme oder Entscheidungshilfen. Eine Jungdohle wird einen ihr unbekanntem Gegenstand, z. B. einen Diwanpolster, zuerst als Feind attackieren. Erweist sich diese Hypothese als widerlegt, wird der Polster als Futter geprüft. Erweisen sich auch seine Teile als ungenießbar, dann wird auf eine

dritte Hypothese weitergeschaltet, die Teile als Nistmaterial einzutragen. Die Reihenfolge entspricht deutlich der Gefahr- und Nutzen-Relation.

Daß viele, vielleicht Hunderte solcher Entscheidungshilfen das Verhalten eines höheren Organismus lenken, hebt alle Überlebenschance, ja ist dafür die Voraussetzung. Auch sind sie zweckgemäß hierarchisch ineinander verschachtelt, was aber hier besonders interessiert, ist ihr gemeinsamer Charakter von Urteilen im Voraus. Es sind alles Voraus- oder Vorurteile über die Zustands- oder Ereignisfolgen in der Umwelt des Organismus.

Das aber hat, so urteilen manche, Ähnlichkeit mit den „synthetischen Urteilen **a priori**“, welche seit langem ein Gegenstand des Interesses der Philosophen sind. Denn zweifellos enthalten sie „die Einigung mehrerer Erkenntnisinhalte zu einem Ganzen“. Selbst im Sinne Kants mögen sie dies sein, da bei ihnen „das Prädikat nicht im Subjekt enthalten ist, sondern ihm durch das Urteil neu hinzugefügt wird.“<sup>12)</sup>

Daß sie jeder Kreatur **a priori**, also vorgegeben, sein müssen, liegt auf der Hand, denn keine Möglichkeit solcher Entscheidungsfindung durch individuelle Erfahrung ist auch nur denkbar. Zugleich sind sie aber alle **aposteriori** Lernprodukte aus den Ketten ihrer stammesgeschichtlich vorauslaufenden Populationen.

Und will man die erkenntnistheoretische Position solcher Art von Wissensgewinn angeben, so kann man, mit Campbell, die Organismen bei den „hypothetischen Realisten“ einreihen.<sup>13)</sup>

### Die Grundlagen unserer Vernunft

stammen aus derselben Quelle, demselben Algorithmus schöpferischen Lernens des Erbmaterials unserer Vorfahren; aus einer Kette von einer Million bis wohl hundert Millionen Generationen.

Es liegt ohne Zweifel ein Kontinuum vor. Und wenn ich hier mit der Reihe der Beispiele abbrach, um sie wieder aufzunehmen, so hat dies seine Berechtigung lediglich darin, daß wir nun jenen vorausurteilenden Entscheidungen begegnen, welche wir selbst als unsere Anschauungsformen miterleben und rational zu reflektieren vermögen. Wobei sich diese unsere angeborenen Lehrmeister als rational unbelehrbar erweisen; jedenfalls was die Möglichkeiten unserer erlebbaren Anschauung betrifft. Dies ist von einigem Interesse.

Dies ist aber auch der Ort, wo die Frage angebracht ist, was an diesem ratiomorphen, also vernunftähnlichen Apparat, welchen wir als die stammesgeschichtliche Grundlage der Vernunft betrachten, das Vernünftige wäre. Im Bereich aller erblichen Anleitungen (wir haben den Bereich des Biologischen ja noch nicht verlassen) betrachtet der Biologe jene Entscheidungshilfen als vernunftverwandt, welche zunächst dazu beitragen, die Überlebenschancen eines Organismus zu vergrößern, Schmerz und Unheil zu vermeiden sowie Enttäuschung und Frustration zu reduzieren; kurz, lebensfördernd, erfolgs- und befindlichkeitsfördernd zu wirken. Und dies tun jene Programme alle.

Freilich steht außer Frage, daß von einer menschlichen Vernunft ungleich mehr zu fordern ist. Aber wir sind noch im Bereich der Biologie. Und man erkennt leicht, daß die Umkehrung einer jeden dieser Entscheidungsziele auch in unserem Sinne höchst unvernünftig erschiene. Und wäre Lebenserhaltung ganz allgemein keine Grundaufgabe aller Vernunft, so wäre unser Stamm längst ausgestorben, was uns auch die Gelegenheit genommen hätte, hier über Vernunft zu reden.

Nun aber zu unseren angeborenen Anschauungsformen. Von ihnen sagte Lorenz schon 1941, daß sie wohl aus demselben Grund in diese Welt passen, aus welchem die Flosse des Fisches ins Wasser paßt, noch bevor er aus dem Ei geschlüpft.<sup>14)</sup> Schon damals wurde die Beziehung zu den Kantischen **A priori** gesehen; aber erst heute ist die Diskussion darüber in Gang gekommen.

Ein Urteil über den Ablauf und damit über die Existenz der Zeit liefert ein Netzwerk unserer Lebensprozesse, welches vereinfacht „physiologische Uhr“ genannt wird. Wir erleben sie als eindimensional, wie einen laufenden Wasserfaden. Und da unsere erbliche Anschauungsform keine Vorstellung von ihrem Beginn oder ihrem Ende enthält, sind im kulturellen Überbau die unterschiedlichsten Mythen über den Zeit-schöpfer oder über zyklische oder kreisförmige Zeitläufe entstanden.

Unser Vorausurteil über die Struktur des erwarteten Raumes hingegen enthält drei Dimensionen. Schon die Anordnung der Bogengänge in unserem Gleichgewichtsorgan, die

Nervenleitung aus dem Auge und aus unserem Geh- und Greifraum schreibt dies vor. Diese sind wieder Konsequenzen unseres bilateralsymmetrischen Bauplans; welcher selbst wieder eine Konsequenz aus der Gravitationsachse und den Bewegungsachsen ist. Der rational unbelehrbare Zwang zur dreidimensionalen Deutung aller Figuren ist bekannt. Man denke nur an das „Umspringen“ des Necker'schen Würfels, weil seine Zeichnung Drauf- und Druntersicht gleichwertig konkurrierend interpretieren läßt. Die Notwendigkeit solchen Programms beleuchtete G. G. Simpson mit der Bemerkung, daß ein Affe ohne ein solches Programm ein toter Affe ist und daher nicht zu unseren Vorfahren zählt.<sup>15)</sup>

Bei Kant finden sich diese beiden Vorbedingungen in seiner „transzendentalen Aesthetik“. Und was den Raum betrifft, so erlaubt unsere erbliche Anschauungsform wieder keine Vorstellung von seinem Ende oder von einem vierdimensionalen Raum-Zeit-Kontinuum, welches der Realität, wie Einstein zeigt, näherkommt. Aber für unseren im Kosmos mikroskopischen Lebensbereich konnte das Programm genügen.

Ein weiteres Programm erleben wir wie eine **„Hypothese vom anscheinend Wahren“**. Sie enthält die Erwartung, daß ähnliche Ereignisse unter ähnlichen Bedingungen wiederkehren würden, sich daher wieder erwarten und vorhersehen ließen. Wir erwarten sogar, daß beim Würfeln, sagen wir die Sechs, umso eher wieder zu erwarten wäre, je länger sie ausgeblieben ist. Und wir erwarten zu alledem, daß mit der Zunahme bestätigter Prognosen die Wahrscheinlichkeit der Folgeprognose steigen werde. – Ähnlich dem Huhn, welchem die tägliche Fütterung, sagte Russell, die Gewißheit über seinen Wohltäter erhöht, ohne zu ahnen, daß es jede Fütterung dem Tage näherbringt, an welchem ihm dieser Wohltäter den Kragen umdrehen wird. – Dennoch enthält dieses Programm den uns möglichen Zugang zur Gewißheit, der sogenannten empirischen Wahrheit.

In der Hypothese vom anscheinend Wahren spiegelt sich die Redundanz der Zustände und Ereignisse in dieser Welt und ihre nicht völlige Determiniertheit. Ohne Wiederholung und experimentelle Wiederholbarkeit wäre mit dem uns gegebenen Algorithmus schöpferischen Lernens tatsächlich nichts zu lernen. Und dies gilt für Tier und Mensch in gleicher Weise. Nun ist aus identischer Wiederholung zwar wieder nichts zu lernen. Aber in dieser Welt wiederholen sich die Dinge eben in nur sehr ähnlicher Weise.

Ein viertes Programm wird als **„Hypothese vom Ver-Gleichbaren“** erlebt. Es steuert unsere Haltung, das Ungleiche ähnlicher Dinge einfach auszugleichen, von ihm glattweg abzusehen. Die vorbewußte Begriffsbildung schreitet sogar von den weitesten zu den engen, den sogenannten konkreten Begriffen vor; um sich im System der sozialen oder kulturellen Begriffsbildung wieder zur Synthesenbildung umzukehren. So können Kleinkinder alles handlich-runde als „Apf!“ bezeichnen, alle Säugetiere zunächst als „Wauwau“. Viel verdanken wir bereits Piaget<sup>16)</sup>. Das Ergebnis dieser Anleitung spiegeln unsere erkenntnistheoretisch gesehen primitiven, von ganz oberflächlichen Analogien durchsetzten Sprachen. – Aber noch eines enthält dieses Programm. Es leitet uns zur Ergänzung an, dem Wahrgenommenen das Erwartbare gewissermaßen unbesehen hinzuzufügen. So wird jedermann, der einen Apfel kennenlernte beim Anblick eines gelbroten Gegenstandes bestimmter Größe und Form, so gleich das Fruchtfleisch mit all seinen Eigenschaften hinzuerwarten. Ja, dem Durstenden wird reflektorisch das Wasser im Munde zusammenlaufen. Die ganze, komplexe Gestaltwahrnehmung wird wohl über dieses Programm gesteuert.

In dieser „Hypothese vom Ver-Gleichbaren“ spiegelt sich die nicht beliebige Kombinierbarkeit der Merkmale in den Gegenständen und Zuständen dieser Welt sowie deren hierarchische Ordnung. Ein Organismus ohne dieselbe würde nicht überleben. Ein Mensch, dem sie abgeht, überlebte nur unter Hospitalisierung.

Das fünfte Programm erleben wir wie eine **„Hypothese von den Ur-Sachen“**; mit der Erwartung, daß gleiche Dinge dieselbe Ursache haben werden. Obwohl niemand bei der Befruchtung der Heringseier dabeigewesen ist, auch nicht beim Eierlegen einer Meise, nicht einmal bei der Fertigung seiner Zündhölzer, sind wir doch davon überzeugt, daß alle Fische in der Dose von derselben Spezies, alle Eier in einem Nest, alle Hölzchen in der Schachtel von derselben Vogel-mutter und von derselben Maschine stammen. Das Merkwürdige an dieser erblichen Erwartung ist, daß sie uns einen Ursachen-Zusammenhang in Kettenform vorspiegelt. Seine

Vernetzung und die Rückwirkung der Wirkungen auf ihre Ursachen ist in der unmittelbaren Anschauungsform nicht vorgehen. Folglich sieht es so aus, als ob die Ursachenketten auf eine Ur-Ursache zusammenliefen. Die griechischen Philosophen meinten sie im „unbewegten Bewegter“ zu finden, die heutigen Physiker suchen sie im Urknall.

In dieser „Hypothese von den Ur-Sachen“ spiegelt sich die nicht beliebige Abfolge der Gegenstände und Zustände in dieser Welt. Und wieder ist sie eine entscheidende Überlebenshilfe, da ihre Prognose in den allgemeinsten Fällen zutreffen wird. Man braucht die Erwartung, welche sie enthält, nur umzukehren, um zu einem völlig unbewältigbaren Weltbild zu gelangen.

Die bisher angeführten Hypothesen haben Ähnlichkeit mit den Kantschen **A priori** der Zufälligkeit (oder Modalität), der Qualität (und Quantität) sowie der Causalität (oder Relation), wie sie sich vollzählig in der „Kritik der reinen Vernunft“ finden. Ein **A priori** der Zwecke hingegen findet sich in der „Kritik der Urteilskraft“<sup>17)</sup>.

Eine **„Hypothese vom Zweckvollen“** steht nun auch aus biologischer Sicht am Ende dieser aufeinander bauenden und stammesgeschichtlich nacheinander entstandenen Formen der angeborenen Lehrmeister unserer Vernunft. Diese Hypothese suggeriert die Erwartung, daß gleiche Dinge, wie wir uns ausdrücken, denselben Zwecken dienen werden. So wird jedermann, der die Funktion eines Schnabels, einer Schere, eines Motors erlebt hat, in allen Schnäbeln, Scheren und Motoren denselben Zweck vermuten. Als meine Kinder erstmals eines Nashorns ansichtig wurden, einem hinter Glas verstaubten Stopfpräparat, waren sie nur einen Augenblick verduzt und sogleich einig: „Das böse Tier stößt mit der Nase!“ – Dieses Programm ist besonders eigentümlich. Einmal suggeriert es wieder die Zusammenhänge in Kettenform; Zweck in Zweck, mit einem letzten Zweck aller Dinge am Ende. Dies ist der Ort, wohin die Endzwecke der Weltschöpfer projiziert werden. Ein andermal läßt es vermuten, daß die Zwecke aus der Zukunft in die Gegenwart wirkten, in umgekehrter Weise zu unseren Anschauungen von den Ursachen.

In dieser „Hypothese vom Zweckvollen“ spiegelt sich der Funktionsbezug aller Systeme auf ihr Obersystem, man kann auch sagen: die selektive Wirkung aller Systeme auf ihre Untersysteme. Man sieht, nach unserer Ausdrucksweise, wozu etwas gut ist. Es ist wieder die nicht beliebige Selektivität der Bauteile in dieser Welt. Und so oft uns dieses Programm auch irreleitet, es ist doch wieder die überwiegende Zahl der Fälle, in welcher diese Entscheidungshilfe die richtige Prognose suggeriert; und es ist nicht minder von lebenserhaltender Bedeutung, Zweck und Absichten sofort und richtig zu prognostizieren.

All das gehört in den Bereich der staunenswerten Errungenschaften der Anpassung; in den Erfolgsbereich schöpferisch genetischen Lernens. Das ganze System ratiomorpher Hypothesen zählt zu solchen Langzeit-Erfahrungen, wie sie von der steten Flut der Kurzzeit-Erfahrungen fortgesetzt auf ihren Erfolg oder Mißerfolg hin kontrolliert werden.

## Die Grenzen und Mängel

dieses Lernalgorithmus werden erst an den Grenzen der Adaptierung sichtbar. Dieser Mechanismus schöpferischen Lernens ist von rigoroser Kontrolle, von Selektion und Falsifikation abhängig. Ganz im Sinne Poppers. An den Grenzen des Selektionsbereichs werden seine Prognosen unsicher, jenseits desselben werden sie rundwegs falsch.<sup>18)</sup>

Dieselben Bodenorganismen, welche eine positive Geotaxis bei Trockenheit, wie weise, zum Feuchten steuert, fallen im Berlesetrichter (dem Sammelgerät des Bodenbiologen) auf Grund eben derselben Taxie mit Sicherheit in die Tötungsschale. – Dasselbe Küken, das angesichts eines kreisenden Punktes am Himmel dank seines Instinkts klüglich in die sichere Deckung läuft, tut dasselbe, wenn eine große Fliege an der Käfigdecke kriecht. Oder bewegt man ihm in der Prägephase eine Spielzeug-Lokomotive vor Augen, so wird es dieselbe ein Leben lang und unbelehrbar für seine Mutter halten.

Grund: Berlesetrichter, Käfigdecken und Spielzeuglokomotiven sind im Selektionsbereich weder in der Stammesgeschichte der Bodenorganismen noch des Federviehs je vorgekommen oder vorherzusehen gewesen. Wo keine Herausforderung und keine Kontrolle wirkt, kann dieser Algorithmus ein Wissen eben nicht gewinnen.

Nicht anders steht es mit unseren Anschauungsformen. Die Vereinfachung, welche sie enthalten, müssen wir aus den bescheidenen Umwelten unserer weit zurückliegenden Vor-

fahren verstehen. Für Simpsons Affen mußte ein lineares Zeitprogramm und ein davon unabhängiges dreidimensionales, des Raumes, die optimale Lösung sein. Selbst wir müßten fast mit Lichtgeschwindigkeit reisen, um den Irrtum unseres Programms mit unserer angeborenen Anschauung in Widerspruch zu sehen. Für unsere mikroskopische Erdenwelt genügt es. Das ist anders mit den weiteren Hypothesen; denn sie sind dimensionslos. Wir rechnen mit dem „Gesetz des Zufalls“; also mit Kausalität, wo keine existiert. Wir sehen Gestalten, wo es keine gibt. Man denke an die Sternbilder. Wir suchen die ersten Ursachen und die letzten Zwecke dort wo man sie nicht finden kann. Wir haben Kausalität und Finalität getrennt, weil sie sich im Zeitlauf zu widersprechen scheinen. Und all dies hat tief hineingewirkt in die Verwirrungen unserer Kulturgeschichte und wirkt hinein in das Dilemma unserer Tage.

Grund: Wir haben unsere Umwelt weit über die Grenzen unserer bewährten Anschauungsformen ausgedehnt. Wir machten uns mit einer Anpassung für gestern die Welt von morgen untertan. So lange die Welt noch nicht aufgeteilt war, wurden die seltsamsten Weltbilder toleriert. Aber da sie nun aufgeteilt ist, kommen wir mit ihr nicht mehr zurecht.

Angeführt aber wird das Schlamassel, das wir anrichten, von dem Dilemma des Menschen selbst. Dieses entstand mit dem Bewußtsein, welches als der unmittelbarste Erlebnisinhalt, eine Überlegenheit der rationalen vor der empirischen Kontrolle versprach. Die Kontrolle der Ideenhälfte des Kreislaufs konnte von der Realität abheben und ins Innere menschlichen Vorstellens verlegt werden. Hier sind aber wieder die alten, unangepaßten Lehrmeister das Maß der Erwartung. Und die Extrapolation eines unangepaßten Ansatzes muß nur umso irriger werden, je weiter sie geht.

Unsere angeborenen Anschauungsformen werden sich nicht mehr ändern. Wir vermögen aber durch Forschung ein Urteil über sie zu gewinnen, indem wir die Widersprüche zwischen ihnen und der Erfahrung nicht vertuschen, sondern systematisch aufsuchen und untersuchen. So wie Einstein unsere Anschauung von Raum und Zeit überstieg, mögen auch wir die übrigen Hypothesen prüfen können. Freilich ist dies noch Utopie. Praktisch besitzen wir aber eine Theorie, die auf empirischem Wege widerlegt werden oder aber zur Vertiefung unseres Verständnisses des Menschen beitragen kann. Mit dem Ziel, auch einem Milieu nach dem Maß des Menschen näherzukommen.

## Anmerkungen

- <sup>1)</sup> Bei K. Lorenz, 1971.
- <sup>2)</sup> Man vergleiche K. Lorenz 1973 und R. Riedl 1975.
- <sup>3)</sup> Ausführlich in R. Riedl 1980.
- <sup>4)</sup> Die Monographie zu diesem Thema von R. Riedl 1975.
- <sup>5)</sup> Die Unterscheidung von Kurzzeit- und Langzeiterfahrung wurde vor allem von K. Lorenz (1973) ausgeführt.
- <sup>6)</sup> Parallel und wieder unabhängig von K. Lorenz und vom Autor hat E. Oeser (1976) denselben Lernalgorithmus für die Vorgänge in der Wissenschaftsdynamik dargelegt.
- <sup>7)</sup> R. Riedl 1980.
- <sup>8)</sup> Man vergleiche E. Oeser 1976 und R. Riedl 1980.
- <sup>9)</sup> Wie dies besonders K. Popper (1973) ausgeführt hat.
- <sup>10)</sup> Z. B. schon bei H. Rohrer 1965.
- <sup>11)</sup> Bei E. Brunswik zuletzt 1955, bei K. Lorenz zusammenfassend 1973.
- <sup>12)</sup> I. Kant 1781; die Wortwahl stammt aus Brockhaus-Enzyklopädie.
- <sup>13)</sup> Man vergleiche D. Campbell 1974 und G. Vollmer 1975.
- <sup>14)</sup> Dies aus der frühen Studie von K. Lorenz (1941).
- <sup>15)</sup> Aus G. G. Simpson 1963 (p. 84).
- <sup>16)</sup> Unter den vielen Studien von J. Piaget verwende man z. B. das Werk von 1973.
- <sup>17)</sup> I. Kant 1790.
- <sup>18)</sup> In diesem Sinne eines Falsifikationismus steht meine Auffassung (R. Riedl, 1980) jener K. Poppers (1973) besonders nahe.

## LITERATUR:

- Brunswik, E. (1955): „Ratiomorphic“ models of perception and thinking. *Acta psychol.* (11): 108–109.
- Campbell, D. (1974): Evolutionary epistemology. In: P. Schilpp (Ed.), 1974: *The library of living philosophers. Vol. 14 I and II: The philosophy of Karl Popper*, Vol. 1:413–463. Lasalle: Open Court.
- Kant, I. (1781): *Kritik der reinen Vernunft*. Abgedruckt in: I. Kant, *Werksausgabe*, Bd. III und IV. Frankfurt/M. (1977): Suhrkamp.
- Kant, I. (1790): *Kritik der Urteilskraft*. Abgedruckt in: I. Kant, *Werksausgabe*, Bd. X. Frankfurt/M. (1977): Suhrkamp.
- Lorenz, K. (1971): Knowledge, beliefs and freedom. In: P. Weiss, (Ed.): *Hierarchically organized systems in theory and practice*. New York: Hafner.
- Lorenz, K. (1973): *Die Rückseite des Spiegels. Versuch einer Naturgeschichte menschlichen Erkennens*. München-Zürich: Piper.
- Lorenz, K. (1978): *Vergleichende Verhaltensforschung. Grundlagen der Ethologie*. Wien-New York: Springer.
- Oeser, E. (1976): *Wissenschaft und Information. Systematische Grundlagen einer Theorie der Wissenschaftsentwicklung* (3. Band) Wien-München: Oldenbourg.
- Piaget, J. (1973): *Einführung in die genetische Erkenntnistheorie*. Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- Popper, K. (1973): *Logik der Forschung*. Tübingen: Mohr (Siebeck).
- Riedl, R. (1975): *Die Ordnung des Lebendigen. Systembedingungen der Evolution*. Hamburg-Berlin: Parey.
- Riedl, R. (1976): *Die Strategie der Genesis. Naturgeschichte der realen Welt*. München-Zürich: Piper.

- Riedl, R. (1980): *Die Biologie der Erkenntnis. Die stammesgeschichtlichen Grundlagen der Vernunft*. Hamburg-Berlin: Parey.
- Rohrer, H. (1965): *Steuerung des Verhaltens durch Einstellung*. In: H. Hekhausen (Ed.): *Bericht über den 24. Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Psychologie*. 1–9.
- Simpson, G. (1963): *Biology and the nature of science*. *Science* (139): p. 84.
- Vollmer, G. (1975): *Evolutionäre Erkenntnistheorie*. Stuttgart: Hirzel.

## Sonderstellung der antarktischen Lebensgemeinschaft

Sie wurde erst klar erkannt, als nach dem ersten Weltkrieg die deutsche „Meteor“ und vor allem die britische „Discovery“ systematisch dort Plankton sammelten. Es wurde der Reichtum des antarktischen Planktons gegenüber den nördlich anschließenden Regionen deutlich. Seit 1950 wurden Norwegen, Japan, die Sowjetunion und die USA aktiv, aber auch die Länder der Südhalbkugel, vor allem Argentinien, Chile und Südafrika. Als in den sechziger Jahren das Interesse am Walfang bei den meisten Ländern einschloß, ging auch die antarktische Meeresforschung stark zurück. Dann aber suchte die schnell wachsende sowjetische Fischereiflotte nach neuen Ressourcen, weil die traditionellen Fangplätze der nördlichen Halbkugel immer weniger ergiebig wurden und das neue Seerecht mit seinen Fangbeschränkungen für fremde Flotten seinen Schatten vorauswarf. Nach 1974 wurden die Bemühungen um die Krillforschung intensiver. Zu den russischen und japanischen Untersuchungen gesellten sich Expeditionen der Polen und Deutschen. Sie verbanden Versuche zum Fang und zur Verarbeitung des Krills mit gründlichen biologischen Arbeiten. Es wurde klar, daß man mit vertretbarem technischen Aufwand große Mengen Krill fangen kann. Für die Verarbeitung zu menschlichen Nahrungsmitteln und Tierfutter wurden brauchbare, wenn auch noch nicht zur Massenproduktion geeignete Verfahren entwickelt. Die Furcht vor einer übermäßigen Expansion der Krillfischerei gab 1976 den Anstoß zur Entwicklung eines großen internationalen Forschungsprogrammes, das den Namen Biomass erhielt (= Biological investigations of Marine Antarctic Systems and Stocks). Es wird eine bessere Kenntnis der größten marinen Lebensgemeinschaft angestrebt und darauf aufbauend eine solide, ökologisch fundierte Strategie für die Nutzung ihrer Ressourcen und für den antarktischen Naturschutz. Der Krillforschung wurde eine zentrale Stellung im Programm eingeräumt.

Der Krill ist eine etwa 6 cm lange Leuchtgarnele, die gewichtsmäßig wohl die häufigste Tierart der Erde darstellt, obwohl jedes einzelne Tierchen nur 1 g wiegt. Das Krebschen wird 3 bis 4 Jahre alt und nährt sich von Phytoplankton. Es steht also am Fuß der Nahrungspyramide, und seine Schwärme bilden auf engstem Raume auch für große Verwerter entsprechende Reservoirs. Es bestehen aber große quantitative Unterschiede in zeitlicher und räumlicher Hinsicht, so daß für das größte Unternehmen in der biologischen Meeresforschung (Fibex = First international Biomass Experiment), das vor allem eine Volkszählung des Krills, die Untersuchung der Struktur der Schwärme u. a. durch Echolotaufnahmen durchführen soll, viel Arbeit vorliegt.

Die Feststellung, daß Krill in großen Mengen Fluor speichert, bedeutete für die Fischerei eine große Enttäuschung. Jetzt weiß man aber, daß im lebenden Krill nur der Panzer stark fluorhaltig ist. Nach dem Tode des Tieres tritt Fluor in das Muskelfleisch über, so daß nun die Verarbeitungstechnologie sich vor allem um eine schnelle Abtrennung des großen Schwanzmuskels vom übrigen Körper bemühen muß. Es stellt sich natürlich die Frage nach dem Mechanismus und der ökologischen Bedeutung der Fluoranreicherung, die in dieser Höhe bisher nur für den Krill und seine nächsten Verwandten beschrieben wurde. Ferner wissen wir nicht, wieso sich Wale, Robben und Pinguine zeitlebens von Krill ernähren können. Erste Untersuchungen an krillfressenden Tieren haben sehr hohe Fluorkonzentrationen in den Knochen, nicht aber in der Muskulatur erbracht. (Umschau 13/81)

## Aktuelle Probleme im Pflanzenschutz

Die Landwirtschaft hat sich in den Jahren nach dem Kriege drastisch verändert. Die fortschreitende Industrialisierung, höhere Einkommenserwartungen und leichtere Arbeitsbedingungen im nicht-landwirtschaftlichen Bereich führten zu einer starken Abwanderung von Arbeitskräften. Bei ständig steigenden Lohnkosten mußten die Anbaumethoden in der Landwirtschaft technisiert und rationalisiert werden. Ein Einkommen, das anderen Berufsgruppen vergleichbar sein soll,

kann der Landwirt in der Regel nur dann erzielen, wenn er auf der zur Verfügung stehenden Fläche mit wenig Arbeitskräften, aber relativ hohem technischen Aufwand möglichst hohe Erträge erwirtschaftet. Dies kann er besonders dann erreichen, wenn er sich auf Kulturen, wie Getreide, Raps, Zuckerrüben u. dgl. konzentriert, die gut mechanisierungsfähig sind. Die notwendige Vereinfachung der Fruchtfolge auf Betrieben, die vollkommen ohne Vieh wirtschaften und daher weder Futterbau betreiben noch Stallmist zur organischen Düngung zur Verfügung haben, kann zu einer hohen Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Schaderregern führen, die durch hohe Mineraldüngung vor allem mit Stickstoff noch verstärkt wird. Um Schaden zu vermeiden, wird der Landwirt gezwungen, in verstärktem Maße Pflanzenschutz zu betreiben, um nicht nur die Erträge zu sichern, sondern auch das genetische Potential der Pflanzen voll auszuschöpfen. Dabei steht derzeit zweifellos der chemische Pflanzenschutz im Vordergrund, d. h. die Anwendung von Fungiziden, Insektiziden usw. Herbizide dienen nicht nur der Ertragssicherung, sondern ersetzen oder erhöhen gleichzeitig die Effektivität der teuren menschlichen Arbeitskraft bei der Unkrautbekämpfung.

In letzter Zeit mehren sich die Stimmen, die dieser Entwicklung sehr kritisch gegenüberstehen. Das Spektrum der Meinungen reicht hin bis zur radikalen Ablehnung chemischer Pflanzenschutzmittel und zu der Forderung, auf „biologische“ Anbaumethoden überzugehen. Abgesehen davon, daß die Pflanzenproduktion, gleichgültig ob mit mineralischer oder organischer Düngung, auf biologischen Vorgängen beruht, ist der Übergang auf biologisch „alternative“ Wirtschaftsweisen mit Sicherheit nicht generell möglich, wenn nicht Verknappung oder Verteuerung der Lebensmittel in Kauf genommen werden soll, ganz abgesehen von der Notwendigkeit, für eine ständig zunehmende Weltbevölkerung die Ernährung in ausreichendem Umfang auch in Zukunft sicherzustellen.

Trotzdem bestätigt die allgemein stärkere Rückbesinnung auf biologisch-ökologische Aspekte eine Entwicklung, die in einigen Bereichen der Phytomedizin schon vor etwa 20 Jahren eingesetzt hat, als man erkannte, daß der chemische Pflanzenschutz allein in eine Sackgasse führt. Vielmehr ist es notwendig, zu Systemen des „integrierten Pflanzenschutzes“ zu kommen, in dem alle wirtschaftlich, ökologisch und toxikologisch vertretbaren Methoden in möglichst guter Abstimmung aufeinander angewandt werden, um Schadorganismen unter der wirtschaftlichen Schadensschwelle zu halten, wobei die bewußte Ausnutzung natürlicher Begrenzungsfaktoren im Vordergrund stehen soll.

Im letzten Satz dieser von einer Kommission der FAO konzipierten Definition werden nicht nur die Methoden der biologischen Bekämpfung angesprochen, mit denen in einigen Fällen bereits große Erfolge erzielt wurden. So z. B. bei den in Australien eingeschleppten Feigenkakteen (*Opuntia*), die um 1920 Millionen von Hektar Weideland unbrauchbar gemacht hatten und nur durch die gezielte Einbürgerung eines Kleinschmetterlings, dessen Larven durch Fraß und Begünstigung von Bakterieninfektionen die Opuntien schädigen, wieder zurückgedrängt werden konnte. Im Obst- und im Maisanbau können die Larven schädlicher Schmetterlinge erfolgreich durch ein biologisches Präparat auf der Basis von *Bacillus thuringiensis* bekämpft werden. Im Anbau von Saat- und Süßmais hat sich in den letzten Jahren der Masseneinsatz der Schlupfwespe *Tichogramma evanescens* als Eiparasit des schädlichen Maiszünslers bewährt. Trotz dieser Einzelerfolge ist der große Durchbruch biologischer Bekämpfungsverfahren jedoch bisher ausgeblieben und auch nur in relativ wenigen Bereichen zu erwarten. Vielmehr wird auf die Schonung und Förderung nützlicher, als Begrenzungsfaktoren wirksamer Organismen in verstärktem Maße Wert zu legen sein. Dem kommt auch das Konzept der wirtschaftlichen Schadensschwellen entgegen. Danach ist eine direkte chemische Bekämpfung von Schaderregern nur dann notwendig, wenn der zu erwartende Ertragsverlust höher als die Kosten für eine wirksame Bekämpfung liegen. Eine totale Vernichtung der Schädlinge ist weder notwendig noch erwünscht. Allerdings ist auch die Anwendung dieses Konzeptes mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden und nicht in allen Fällen möglich. Es gibt aber auch andere Wege, stärker auf die gezielte, nur nach der aktuellen Notwendigkeit durchgeführte Anwendung von Pflanzenbehandlungsmitteln überzugehen. Große Aufmerksamkeit muß z. B. der Entwicklung nützlingsschonender, selektiver Pflanzenschutzmittel und deren sachgerechten Einsatz zugemessen werden. Die Umweltbelastung ist so gering wie möglich zu halten, der Ver-

braucher darf durch Rückstände nicht gefährdet werden, eine Forderung, die bei Beachtung der einschlägigen Gesetze und Verordnungen durchaus zu erfüllen ist.

**Phytomedizin** ist die Wissenschaft von den Krankheiten und Beschädigungen der Pflanzen, von den Mitteln und Maßnahmen zur Gesunderhaltung von Pflanzen und Pflanzenbeständen. Unter dem Pflanzenschutz verstehen wir die Gesamtheit der Bemühungen, Schäden und Leistungsminderungen von Nutzpflanzen unter Anwendung aller einschlägigen wissenschaftlichen Erkenntnisse in einer ökonomisch und ökologisch angemessenen Weise zu verhindern oder zu mildern. Mehr denn je ist es heute notwendig, die Belange der Ökonomie und der Ökologie in Einklang zu bringen. (Mitteilung des Verbandes Deutscher Biologen, März 1982)

## Stickstoffbindung

Ungefähr 20 Mio. Tonnen Luft-Stickstoff werden pro Jahr den Pflanzen durch die Symbiose mit den Knöllchenbakterien (Rhizobien) zur Verfügung gestellt. Schmetterlingsblütler, Alnus und noch einige andere Pflanzen besitzen diese Fähigkeit der Bindung von Stickstoff. Zur Herstellung der Symbiose verkleben frei im Boden lebende Rhizobienzellen mit der Zellwand eines kurzen, noch wachsenden Wurzelhärchens. Diese Verbindung hemmt das Wachstum an der Kontaktstelle, so daß das sich streckende Wurzelhaar allmählich die sich weiter teilende Bakterienkolonie einschließt. Durch Enzyme verdauen die Rhizobien nun die pflanzliche Zellwand, aber nicht die Zellmembran. Die Bakterien wachsen in die Wurzelhaare hinein, indem sie die Zellmembran nach innen stülpen. Dieser wachsende Infektionsschlauch ist von zelluloseartigen Stoffen umgeben. Während des Vordringens sind die Bakterien also nie in direktem Kontakt mit den Pflanzenmembranen. Die eigentliche Infektion der Knöllenzellen wird durch die Verdauung der Infektionsschlauchwand ermöglicht: Die Bakterien dringen in Massen in die inneren Zellen der Pflanze ein. Dort wandelt sich die Rhizobienzelle zur Stickstoff-fixierenden Bakterioide um. Zwei besonders wichtige Schritte sind dabei die Synthese der Nitrogenase und des Leghämoglobins. Die Nitrogenase ist der Enzymkomplex, an dem sich im Bakterium die Reduktion atmosphärischen Stickstoffs zu Ammoniak vollzieht. Leghämoglobin dient der Sauerstoffversorgung der Bakterien.

Die Rhizobien erhalten von der Pflanze Kohlenhydrate und geben im Tausch dafür Ammoniak. Allerdings kann nur eine bestimmte Art von Rhizobien jeweils eine spezifische Art von Leguminosen infizieren. So wird die Sojabohne nur von *Rhizobium japonicum* noduliert, während Weißklee nur in Verbindung mit *Rh. trifolii* Knöllchen entwickelt.

In den vergangenen Jahren gelang der Nachweis, daß in Erbsen- und Klee rhizobien viele Kontrollgene für die Knöllchenbildung und auch Gene für die Nitrogenasebildung auf Plasmiden lokalisiert sind, von denen der jeweilige Wirt bestimmt wird. Bei erhöhter Temperatur geht das Plasmid verloren; von diesen Mutanten können weder Wurzelknöllchen gebildet noch Nitrogenase entwickelt werden. Durch Konjugation mit einer anderen, funktionsfähigen Rhizobienzelle kann jedoch wieder ein Plasmid aufgenommen werden, mit dem auch eine Wirtsspezifität festgelegt wird.

Wie bereits berichtet, können zellwandlose Protoplasten miteinander verschmolzen werden. Solche somatische Hybridpflanzen wurden nicht nur von Tabak, Petunie, Stechapfel, Tomate und Kartoffel regeneriert. Man kann auch Protoplasten von Tomate und Kartoffel miteinander kombinieren und eine Hybridpflanze mit Merkmalen beider Elternpflanzen zur Ausprägung bringen. Bei der Verschmelzung einer Leguminose mit einer anderen Pflanzenart, etwa einer Getreidepflanze, müßte es gelingen, dieser wichtigen Kulturpflanze die Fähigkeit der Stickstoffbindung zu vermitteln.

(Umschau 15/81)

## Gentechnologie — Marktreife Produkte

Die Gentechnologie hat ihr erstes kommerzielles Produkt hervorgebracht. Diese Nachricht mag als selbstverständlich hingenommen werden — werden wir doch seit einiger Zeit regelmäßig über die Möglichkeiten dieser Technik informiert. Und doch kommt diese Nachricht für den Fachmann überraschend. Die anfängliche Euphorie ist auch bei Spezialisten

einer gesunden Skepsis gewichen, da trotz anfänglicher Erfolge heute hinsichtlich der Reinigung bzw. bei der Prüfung der Immunogenität der jeweiligen Produkte Probleme aufgetreten sind, die noch weitere Entwicklungsarbeiten erfordern.

Die Mitteilung, daß Piliantigene K 88 und K 99 von Kolibakterien gentechnologisch für die Impfstoffproduktion gewonnen werden, und daß der Impfstoff gegen die Kolienteritis bei Kalb und Schwein bisherigen Präparaten überlegen ist, weist auf die Richtigkeit dieser neuen Entwicklungen hin. Derartige marktreife Produkte sind gleichermaßen wichtig für die Tiermedizin wie für die Humanmedizin, werden jedoch nur dann Eingang in die Impfpraxis finden, wenn sie im Vergleich zu heutigen Vakzinen billiger, wirksamer und frei von Nebenwirkungen sind.

Die Tiermedizin hat bei Impfstoffentwicklungen von jeher eine wichtige Promotorrolle gespielt. Dies ist nun in der Gentechnik nicht anders: Nicht nur die Produktion von Piliantigenen der Kolibakterien, sondern auch die von Virusproteinen für Impfstoffe gegen Erkrankungen bei Tieren ist bisher am weitesten gediehen. Besonderes Interesse findet dabei das immunisierende Protein (VP1) des Maul- und Klauenseuche-Virus, dessen Darstellung vor etwa einem Jahr gelang. Am Erfolg der Arbeiten mit gentechnologisch produzierten Maul- und Klauenseuche-Virusproteinen bei der Bekämpfung der weltweit auftretenden Tierseuchen jedoch werden die realistischen Möglichkeiten dieses neuen Zweiges der Biotechnologie gemessen werden müssen.

(Die Umschau – Wissenschaftsmagazin 12/82)

## Kurznachrichten

Den Hauptteil der **fossilen Brennstoffe**, die durch die Photosynthese in annähernd 400 Millionen Jahren gespeichert wurden, verbrennt der Mensch heute in einem Zeitraum von wenigen 100 Jahren. Dadurch wird natürlich auch die Zusammensetzung und der Strahlungshaushalt der Atmosphäre entscheidend geändert.

Wenn **Löwenmännchen** einen Harem übernehmen und darin Babys vorfinden, bringen sie diese um. Sie wenden sich damit gegen Jungen, die ihrem eigenen Nachwuchs im Wege stehen, denn solange ein Weibchen säugt – etwa zwei bis zweieinhalb Jahre –, ist es nicht zu einer neuen Befruchtung bereit. Da die Männchen auch nur etwa zweieinhalb Jahre im Durchschnitt einen Harem halten können, stünden die Chancen für eine Fortpflanzung äußerst schlecht. Wenn die Jungen des Vorgängers dagegen wegfallen, kommen die weiblichen Tiere in wenigen Wochen wieder in Brunst. Die Mütter suchen zwar ihre Jungen zu verteidigen, haben aber meist keine Chancen. Diese Kindertötung findet man übrigens auch bei Schimpansen.

(Umschau 7/82)

Bei den **Hausmäusen** hat man festgestellt, daß die Weibchen keine Jungen bekommen, wenn sie nach der Paarung mit fremden Männchen oder auch nur mit deren Geruch konfrontiert werden. Ein Pheromon im Urin der fremden Männchen wirkt hemmend auf die Funktion der Adenohypophyse der gerade befruchteten Weibchen. Dadurch wird die Einnistung des Eies in die Uteruswand verhindert.

(Umschau 7/82)

Immer wieder wissen Atombeglückter uns ganz verlässlich zu berichten, daß die **Entsorgung des radioaktiven Abfalls** längst gelöst und überhaupt kein Problem mehr darstelle. Im Umschau-Wissenschaftsmagazin wird nun wieder die Frage gestellt, ob man diesen Müll nicht doch ins Meer versenken soll. Gerade das aber wurde selbst von Teller als „schlampig“ bezeichnet. Übrigens haben die europäischen Länder im Jahre 1981 12 407 Tonnen davon in der Nähe der spanischen Küste versenkt. Nach einem Gutachten fallen in Deutschland bis zum Jahre 2000 etwa eine halbe Million 400-Liter-Fässer mit schwach- und mittelaktivem Material an und etwa 4600 Glasblöcke von je 150-Liter-Volumen mit eingeschmolzenem hochaktivem Abfall, der außer Strahlung auch Nachzerfallswärme abgibt. Von seiten der Entsorger stellt man nun fest, daß die Entsorgung zu Lande allein nicht lösbar ist, andererseits warnt die Internationale Atomenergie-Agentur: „Um die Verbreitung von Radionukliden im Meerwasser exakt beurteilen zu können, fehlen eine Menge dringend benötigter Informationen.“ Auch das Deutsche Hydrographische

Institut in Hamburg, das von der Bundesregierung getragene Zentrum für Meeresforschung, steht der Versenkung von Nuklearmüll sehr distanziert gegenüber.

(Umschau 7/82)

**Richard Leakey** und seine Mitarbeiter sind jetzt zu dem Schluß gekommen, daß der Evolutionsprozeß in Richtung „Homo“, die Teilung Affe–Mensch nicht vor 20 Millionen Jahren, sondern vor 5 Millionen oder nur vor 4½ Millionen Jahren begonnen hat. Sie kommen zu diesem Ergebnis auf Grund der „Molekularen Uhr“, die den immunologischen oder auch genetischen Verwandtschaftsgrad zwischen den heute lebenden Primaten aufzeigt. Leakey bezeichnet das Wesen, dessen Fußspur seine Mutter Mary Leakey in Laetoli, Kenia, ausgegraben hat, als den frühesten Beleg für das Auftauchen des Menschen.

(„Furche“ 18. V. 82)

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) hat im Mai 1980 die Erde für **pockenfrei** erklärt. Lediglich in fünf Laboratorien werden noch solche Viren gehalten.

(Rundschau 4/82)

Von den etwa 2000 bekannten **Antibiotika** werden heute rund 30 mit Erfolg in der Humanmedizin eingesetzt.

Als **Tannensterben** bezeichnet man im forstlichen Schrifttum eine Nadelholzerkrankung, die seit ca. 100 Jahren bekannt ist und heute immer stärker um sich greift und besonders im ostbayerischen Grenzraum und in Baden-Württemberg schon großen Schaden anrichtet. Die eigentliche Ursache ist noch nicht klar erkannt; gewiß haben dabei auch die immer wieder auftretenden Dürreperioden eine große Bedeutung. Es scheint, daß dabei der zunehmenden Versauerung der Böden als Folge (SO<sub>2</sub>-sauren Regens besonderes Gewicht zukommt. Dieser hat eine Anreicherung von Aluminium-Ionen zur Folge, die bereits in geringen Konzentrationen auf Pflanzengewebe wirken. Beweist dieses Tannensterben, daß bereits allen Waldbäumen eine Umweltkatastrophe droht, schleichender Zusammenbruch ganzer Waldökosysteme nicht nur in den Ballungsräumen? Seit dem Spätsommer 1980 haben die Schäden auch bei Fichten, Douglasien und Kiefern sichtbare Formen angenommen. Nach einer Kronenverlichtung von oben nach unten und Stauchung des Jahrestriebes sterben bisher vitale Bäume oft innerhalb weniger Wochen, auch in zahlreichen Beständen außerhalb industriell belasteter Gebiete.

Seit 1950 hat sich der Schwefeldioxidausstoß in der Bundesrepublik auf nunmehr 3,5 Mio. Tonnen pro Jahr verdoppelt. Durch höhere Schornsteine wird die Gefährdung unserer Natur nicht beseitigt.

(Natur und Umwelt, 61. Jg., Nov. 81)

Auch kleinere **Ameisennester** beherbergen schon mehrere hunderttausend Arbeiterinnen, in größeren können es mehrere Millionen sein. Nimmt man ein durchschnittliches Lebewgewicht von 10 mg pro Arbeiterin, so enthält ein Großbau der Waldameisen ca. 10 kg Biomasse. Übrigens findet sich auch bei diesen Tieren eine Arbeitsabfolge ähnlich wie bei den Bienen, nur daß die Arbeiterinnen hier gegen sechs Jahre, die weiblichen Geschlechtstiere über 20 Jahre alt werden können. (Diese verbringen fast ihr ganzes Leben in der Nesttiefe.) Männchen spielen nur in der kurzen Schwarmphase eine Rolle.

Die Tätigkeit der Ameisen wirkt sich intensiv und regulativ in der Lebensgemeinschaft des Waldes aus. Der Lebensraum um das Nest wird bis 100 m im Umkreis systematisch nach Nahrung und Baumaterial durchstöbert. Die Funktion des Staates in seinem Biotop ist unglaublich vielfältig: Als Primärkonsumenten haben die Tiere über den Honigtau der Pflanzenläuse Anteil an den Pflanzensäften und ihrem Nährstoffreichtum. Als Beutejäger wirken sie auf zahllose andere Insektenpopulationen ein. Raupen und Blattwespenlarven stehen dabei an erster Stelle. Als Sammler von Nadeln, Laub und Knospenschuppen, Chitinskeletten und Erdklümpchen schaffen sie dort und da Komposthaufen im Wald, sind also in die Zersetzkette eingeschaltet. Umgekehrt stehen die Waldameisen im Nahrungskomplex vieler insektenfressender Vogelarten (Spechte u. v. a.). Die große Zahl und Mannigfaltigkeit der Formen zeigt die Vielfalt der Anpassung an verschiedene ökologische Bedingungen. Noch sind in den Wäldern

unserer Heimat die Ameisenhügel nicht so selten geworden, wie das anscheinend in weiten Teilen der deutschen Bundesrepublik der Fall ist. (Siehe: Zeitschrift für Ökologie und Umweltpolitik, Ausgabe Bayern, 4/81.) Aber wir wissen ja, wie das mit den Maikäfern war.

(Natur und Umwelt, 61. Jg., Nov. 81)

Die **Äpfel** stellen mit rund 21 Mrd. kg im Jahr rund 80 % der gesamten Obsternte. Die Pomologen kennen ca. 20 000 verschiedene Sorten, die in nur 4000 Jahren aus dem kastaniengroßen und sauren Holzapfel (*Malus sylvestris*) und dem Zwergapfel (*Malus pumila*) gezüchtet wurden. Wenn wir allerdings nach den bedeutungsvollsten Sorten fragen, nennt man uns einige zehn. Man arbeitet aber dauernd daran, neue Sorten mit besonderen Vorzügen in bezug auf Geschmack, Aussehen, Resistenz usw. zu züchten. In manchen Instituten werden künstlich Mutationen durch Bestrahlung oder auch durch Behandlung mit Colchizin hervorgerufen. Die derart erzielten Pflänzchen werden dann jahrelang getestet auf ihre Resistenz gegen Pilzkrankheiten. Apfelschorf ist eine der häufigsten und gefährlichsten Obstkrankheiten. Die Bäume verlieren vorzeitig ihre Blätter, die Früchte bekommen Flecken und Risse und können nicht gelagert werden. Mehltau zerstört Blätter, Jungtriebe und Früchte. Unter dem Einfluß von Blattläusen erreichen die Früchte nicht ihre volle Größe, sie sind oft seltsam verformt, die Blätter rollen sich kräuselnd ein. Die Obstbauern bekämpfen diese Schädlinge mit zum Teil sehr gefährlichen Giften. Die Züchter haben aber auch den Wunsch, möglichst große Ernten zu erzielen. Den Rekordtrag (300 kg pro Baum) erreichen natürlich nur wenige Apfelbäume. Nicht selten leidet dabei übrigens der Geschmack.

Die Medizin erwähnt vom Apfel als besondere Positiva: die Vitamine, große Mengen an Pektinen, Gerüststoffen mit hoher Quellbarkeit, die sich günstig auf den Bakterienhaushalt des Darmes auswirken, ein besonderer Einfluß auf die Körperentwässerung, Senkung des Cholesteringehaltes und eine entzündungshemmende Wirkung des Gerbstoffes.

**Krebs** ist heute bei allen zivilisierten Völkern nach den Herz-Kreislauf-Krankheiten die zweithäufigste Todesursache. Die mit dem Sammelnamen „Krebs“ zusammengefaßte Gruppe der bösartigen Tumoren wird nach dem derzeitigen Stand wissenschaftlicher Kenntnisse durch ein Zusammenwirken zahlreicher Einzelfaktoren und Ursachenbündel geprägt. Die multikausale Entstehung und die in der Regel langjährige Entwicklung im Verborgenen erschweren die Aufklärung des Krebsgeschehens im besonderen Maße. Eine Menge von Ursachen kommen in Frage. Bis heute sind mehr als 700 Substanzen mit karzinogener Wirkung bei irgendeiner Tierart ermittelt worden, rund 30 von ihnen kommen auch für eine Krebsauslösung beim Menschen in Betracht. Nach den Todesfallstatistiken nehmen einige häufige Krebsformen in der letzten Zeit stark zu, z. B. Lungenkrebs, dagegen geht die Häufigkeit des Magenkrebses zurück. Über die Ursachen kann man nur Vermutungen anstellen.

(Umschau 13/81)

**Igel** zählen zu den ältesten Säugetieren; Knochenfunde beweisen, daß es wohl schon vor 60 Millionen Jahren diese Tiere gegeben hat. Trotz der scheinbaren Plumpeheit kann er durch enge Spalten schlüpfen. Der Stachelpanzer bietet mit ca. 16 000 Stacheln einen ausgezeichneten Schutz gegen viele Feinde, nicht aber gegen verschiedene Greifvögel, Wildschweine u. a. Der Schutz gegen Kälte ist nur gering, daher suchen die Tiere in den Sommernächten auch gerne die von der Sonne aufgeheizten Straßen, wo sie dann nicht selten den Autos zum Opfer fallen. Erwachsene Igel sind sehr unverträglich; Revier- und Brunntkämpfe verlaufen oft tödlich. Die Jungen kommen (bis zu 7 Stück) im Mai bzw. September zur Welt; sie sind zunächst blind, ihre Stacheln weich, ca. 2 mm lang und weiß. Die Babystacheln erreichen eine Länge von 12 mm, sie werden nach sechs Wochen allmählich von den bleibenden, bis zu 18 mm langen, festen und bräunlichen Spießen ersetzt. Der Geruchssinn hat für das Tier die größte Bedeutung, er hat seinen Sitz in der Nase und im Rachen. Wenn ein Geruchsreiz aufgenommen wurde, reinigt das Tier seine Mundhöhle vom Speichel, streicht ihn auf die Stacheln, um die Rezeptoren für neue Sinneseindrücke aufnahmefähig zu machen. Die Tiere lassen bei ihren Wanderungen neben einem lauten Grunzen und Schmatzen vor allem ein stößweises Schnaufen hören. Es gibt Hinweise dafür, daß darin vielleicht eine Echolotung zu sehen ist.

**Kamele** kamen bei einer Untersuchung in der Negev-Wüste bei über 40 °C im Schatten 16 Tage ohne Wasser aus. Wissenschaftler stellten fest, daß die Nasenschleimhaut, die beim Menschen ca. 10 cm<sup>2</sup> Oberfläche hat, beim Kamel ca. die hundertfache Fläche aufweist. Diese Schleimhaut kann 66 % der Feuchtigkeit aus der ausgeatmeten Luft zurückgewinnen.

**Clostridium botulinum**, ein anaerobes, grampositives Stäbchenbakterium ist Verursacher einer folgenschweren Lebensmittelvergiftung, des Botulismus. Sporen des Bakteriums finden sich im Boden und im Wasser. In ungenügend sterilisierten Fleisch- und Gemüsekonserven können sich die Clostridiumsporen entwickeln und die Nahrungsmittel vergiften. Beim Verzehr solcher gifthaltiger Speisen kommt es zu Erbrechen, Magenkrämpfen, Durchfall, Schluckbeschwerden, Sehstörungen und dann Lähmungserscheinungen, die nach wenigen Tagen zum Tod durch die Lähmung des Atemzentrums führen können. Das Gift ist ein Protein, das durch Kochen zerstört wird. Die für den Menschen tödliche Dosis bei Aufnahme mit der Nahrung liegt bei 0,1 µg.

Pro Jahr werden im Wiener Stadtgebiet bis zu 25 Rehe von frei herumlaufenden Hunden gerissen oder in Zäune und Autos gehetzt. Zumeist sind Hundebesitzer der Überzeugung, daß wohl alle anderen Hunde so etwas tun, aber sicher nicht der eigene.

Der **Marderhund** (*Nyctereutes procyonoides*) ist ca. 60 cm lang, sein Schwanz 16 cm. Die Beine sind kurz und dünn, der Pelz aber langhaarig graubraun, die Kopfzeichnung ähnlich dem Waschbären. Sein Pelz wird als „Ussuri-Waschbär“ gehandelt. Die eigentliche Heimat ist Ostasien. Als Pelztier wurde er in die Sowjetunion eingeführt. Von dort aus dringt er anscheinend in Mitteleuropa ein. Das Tier bevorzugt feuchtes Gelände mit Gebüsch und ist besonders nachts und in der Dämmerung aktiv. Als Nahrung liebt er besonders Fische, Vögel und deren Eier, Weichtiere, Aas und Beeren und Obst. Über seine ökologische Einstufung sind sich die Fachleute nicht einig. Im Donaudeelta wurde er jedenfalls als Eindringling in Vogelkolonien beobachtet.

(Rundschau 1/82)

Wie Mensch und Tier können **auch Pflanzen gegen Infektionskrankheiten immunisiert** werden. In den Laboratorien der Abteilung für Pflanzenkrankheiten der Universität Kentucky wurden Bohnen, Gurken u. a. in ihrem Verhalten gegen parasitische Pilze (*Colletotrichum lindemuthianum* u. C. lag.) untersucht. Eine Infektion eines Keimblattes schützte die sich entwickelnde Pflanze. Gesah die Infektion am Keimblatt erst dann, wenn sich das zweite Blatt schon zu etwa einem Drittel entwickelt hatte, so dauerte die Immunisierung etwa 3 bis 4 Wochen. Eine zweite oder unterstützende Inokulation drei Wochen nach der ersten verlängerte den Schutz bis zur Ernte. Die Immunisierung war systematisch und gegen ein breites Krankheitsspektrum (Pilze, Bakterien und Viren) wirksam. Auch Tabakpflanzen wurden gegen Virose, bakterielle und pilzliche Krankheiten immunisiert. Aus immunisierten Gurken wurde eine wirksame Substanz gewonnen. Die Struktur dieses Stoffes wird derzeit untersucht, ebenso die Möglichkeiten ihres Einsatzes als Sprüh- und Beizmittel. Die Immunisierung von Pflanzen ist der Beweis für das Vorhandensein hochwirksamer Krankheitsresistenz-Mechanismen in Pflanzen, deren Existenz bisher bezweifelt wurde.

(Umschau 13/81)

**Zellen können** durch kurze lokale Stromstöße von einigen Volt **reversibel aufgebrochen werden**. Es gelang durch derart gezielten Membrandurchbruch Protoplasten der Saubohne (*Vicia faba*) miteinander zu verschmelzen. Dazu mußten die Protoplasten zunächst miteinander in Kontakt gebracht werden. Im elektrischen Feld stoßen sich die Zellen auf Grund ihrer gleichnamigen Oberflächenladungen zunächst gegenseitig ab. Man setzte nun die Protoplasten einem alternierenden elektrischen Feld mit Spitzenspannungen von 5 bis 10 Volt aus und machte sie so zu kleinen Dipolen. In einem inhomogenen Feld wandert jeder Dipol in Richtung höherer Feldstärke und ordnet sich den Feldlinien entsprechend ein. Bei diesem Prozeß, den man Dielektrophorese nennt, kommen die Zellen in Kontakt. Die Fusion erfolgt durch einen 50 Mikrosekunden dauernden Stromstoß bei 15 Volt, der die Zellmembran aufbricht. Schädigungen der

Zellen, die zu 90 Prozent fusionieren, treten kaum auf. Auf diese Weise können auch Zellen verschiedener Arten (pflanzliche, tierische und sogar Bakterienzellen) fusionieren, also miteinander kombiniert werden. Die großen Fusionsprodukte eignen sich natürlich hervorragend als Studienobjekte. (Umschau 20/81)

Bei Untersuchungen an Tausenden von Haifischen konnte man so gut wie keine einzige Erkrankung an einem **bösartigen Tumor** feststellen. Man untersucht daher jetzt intensiv diese Tiere und hofft, vielleicht eine Substanz zu bekommen, die sich etwa bei Krebserkrankungen einsetzen ließe. Es könnten aber auch die großen Vitamin-A-Mengen, die ein Hai bildet, oder der hohe Fettgehalt (bes. der Leber) eine krebsverhütende Wirkung haben. (Rundschau 4/82)

Die **Sonnenblume** (*Helianthus annuus* L.) wird auch bei uns heute stärker angebaut als früher. Wer die betreffenden Felder in der Ukraine erlebt hat, wird sie nie mehr vergessen. Der Nutzen dieser Pflanze liegt in den eiweiß- und ölhaltigen Früchten. In den Keimblättern findet sich zu 20 bis 40% Eiweiß und 40 bis 60% fettes Öl. Als Heimat sieht man heute Nordamerika an, wo die Kultivierung wohl schon um 3000 v. Chr. begann. Eine Pflanze kann 250 bis 1500 Früchte (Achäne) hervorbringen, was einem Ertrag von bis zu 3000 kg/ha entspricht. Durch Hybridisierung konnte man (wie bei Mais) die Erträge beachtlich erhöhen. 80 Prozent der amerikanischen Ernte stammt von Hybriden. Zwei auffällig verschiedene Sorten (grau-weiße und kleinere schwarze Früchte) haben wirtschaftliche Bedeutung. Die schwarzen Kerne werden ausschließlich für die Ölgewinnung verwendet (40% Ölgehalt). Das Öl enthält einen großen Anteil an ungesättigten Fettsäuren und eignet sich hervorragend zur Herstellung von Margarine und Mayonnaise. Das Öl wird heute in der Preisklasse des Sojaöls gehandelt, wird aber ohne Zweifel in der Wertschätzung noch steigen. Die Preßrückstände bilden ein eiweißreiches Viehfutter, die unreife Pflanze wird gerne einsiliert. (Rundschau 3/82)

**Perlenfischer.** Verschiedene Arten von Meeresmuscheln (*Melagrina margaritifera*, die „Echte Seeperlmuschel“ u. a.), dazu die Flußperlmuschel, *Margaritana margaritifera*, auch diverse Schnecken haben die Fähigkeit, Perlen zu bilden. Diese werden zu den edelsten Juwelen gerechnet, ihr Wert hängt von der Größe, der Schönheit des Glanzes und der Vollkommenheit ihrer Ausbildung ab. Gefärbte Perlen sind meist teurer als weiße, am wertvollsten sind schwarze und rosarote. Künstliche Perlen sind hohle Glaskugeln, die mit Fischschuppen oder Wachs ausgekleidet sind. Da normalerweise nur in jeder 40. Muschel etwa eine Perle zu finden ist, sind vor allem die Japaner dazu übergegangen, Perlen zu züchten. Sie schieben zu diesem Zwecke ein kleines Stück der Perlmutter in den Körper des Tieres und sorgen dafür, daß ein Stück der Mantelhaut diesem Fremdkörper aufliegt. Die so „geimpften“ Muscheln hängen in einem Drahtkorb an einem Floß und werden nach etwa drei Jahren geerntet. Pro Jahr wird die abgelagerte Schicht um 0,15 mm verstärkt. „Zucht- oder Kulturperlen“ sind weniger wertvoll als Naturperlen; sie lassen sich durch Röntgenstrahlen voneinander unterscheiden. Als Kalziumkarbonatgebilde sind Perlen natürlich empfindlich gegen Säuren, außerdem enthalten sie auch etwa Wasser, das sie bei zu trockener Lagerung verlieren können — „die Perle schält sich“. (P. Moosleitners Magazin 7/81)

Als **Streusalz** gilt Natriumchlorid auch heute noch als billigstes und wirkungsvollstes Mittel im Winterdienst auf den Straßen. Aber die dadurch bedingten Schäden gehen in die Milliarden. Das große Sterben der Alleebäume ist allenthalben sichtbar; Straßenbrücken mußten abgetragen werden, weil das viele Salz den Beton mürbe gemacht hat. Die salzbedingten Schäden an den Alleebäumen schätzt für Berlin der Wirtschaftssenator auf 750 Mio. Mark. Auf 2,5 Milliarden Mark wird in der Bundesrepublik der durch Rost an den Autos verursachte Schaden beziffert. Trotz Unterbodenschutz gehen die Hälfte der Rostschäden an den Autos auf das Streusalz zurück. Inwieweit die Verkehrssicherheit bei einem totalen Streusalzverzicht nicht mehr gegeben ist, erscheint heute gänzlich umstritten. Statistiken aus dem Katastrophenwinter 1978/79 zeigen zwar eine höhere Zahl von Sachschäden im Straßenverkehr, doch in dieser Zeit passierten auch bedeutend weniger schwere Unfälle, bei denen Menschen verletzt oder gar getötet wurden. (Umschau in Wiss. u. Technik 23/81)

Die **Chagas-Krankheit** ist in Südamerika weit verbreitet, etwa 10 Mio. Menschen, vor allem der ärmeren Bevölkerung, leiden darunter. Die derzeit unheilbare Krankheit wird verursacht durch einen Flagellaten *Trypanosoma cruzi*, der mit dem Kot von Raubwanzen über die Stichverletzungen dieser Blutsauger von Mensch zu Mensch oder auch von Tieren (Opossum) übertragen wird. Die Erreger finden sich vor allem im Herzmuskel des Wirtes, sie bleiben dort viele Jahre. Zuerst ist nur Fieber zu beobachten, später aber wird Muskulatur und Nervensystem zerstört. Die Todesursache ist meist in Herzversagen gelegen. Fachleute glauben, daß nur eine Verbesserung der Lebens- und Wohnverhältnisse wirklich Hilfe bringen kann. Durch Initiative privater Kreise sind bereits beachtliche und erfolgversprechende Projekte in Angriff genommen worden, die Bewirtschaftung des Landes zu gesunden und den Lebensstandard der Bevölkerung zu heben.

Es ist heute unbestritten, daß in Australien gefundene 3,5 Mio. Jahre alte **Mikrofossilien** die Existenz von so alten Lebewesen beweisen, dagegen sind die 3,8 Mio. Jahre alten „Mikrofossilien“ aus den in Issua (Westgrönland) gefundenen Quarzen neuerdings wieder umstritten. (Naturwiss. Rundschau 7/82)

Ungefähr jeder 8. Erwachsene in unserer Heimat leidet an **Krampfadern**. Frauen sind von diesem Leiden häufiger und schwerer betroffen als Männer.

Heute spricht leider kein Mensch mehr davon, daß man im Jahre 2000 nur noch mit **Elektrofahrzeugen** fahren werde. Schnelligkeit und Komfort ist vor allem gefragt. Vor gut 20 Jahren nahm die Deutsche Lufthansa den ersten Düsenjet in den Linienbetrieb. Das englisch-französische Überschallflugzeug entpuppte sich freilich als Prestigeobjekt; wie auch sonst ein gewisses Sterben unter den Flugfirmen zu zeichnen ist.

Annähernd 23 Millionen Personenkraftwagen sind allein in der Bundesrepublik zum Verkehr zugelassen. Für die Gesamtwelt (ohne VR China) werden für 1980 313,8 Mio. angegeben, und man nimmt an, daß die Zahl bis 1990 auf 438,3 Mio. ansteigen werde. (Umschau 13/81)

Das **Karakulschaf** ist ein mittelgroßes, ramsnasiges Fellschwanzschaf, dessen Fell zum Statussymbol geworden ist. Es stammt aus Westturkistan und bevorzugt ausgesprochene Trockengebiete. Das Vlies des Lammes setzt sich aus festgeschlossenen, tiefschwarzen, glänzenden Locken zusammen. Durch Überfärben mit Blauholz wird eine gleichmäßige tiefschwarze Färbung und ein seidig schimmernder Glanz erreicht. Zur Fellgewinnung dienen 1 bis 3 Tage alte Lämmer, die so früh geschlachtet werden müssen, weil sich später die Lockenspiralen aufrollen. Die Tiere werden in Turkmenistan, Usbekistan, Afghanistan, bes. auch in Südwestafrika und auch in manchen Spezialbetrieben Europas gezüchtet. In Südwestafrika wurden vor dem ersten Weltkrieg zwei Haarschafassen („Somalia“ u. „Schwarzkopfperser“), die beide rezessiv weißhaarig sind, eingekreuzt. Die Haare dieser Tiere sind viel kürzer und seidiger als die vom echten Karakul-Breitschwanz. Das Kreuzungsprodukt wird als Swakara bezeichnet (= Südwestafrikanisches Karakul). (Naturwiss. Rundschau 9/82)

Der **Neandertaler** wird heute nicht mehr als gesonderte Art, sondern nur als Menschenrasse, die der Kälte vortrefflich angepaßt war, betrachtet. Es steht durchaus nicht fest, ob er ausgestorben ist oder ob er auch, an der Erfindung der Aurignac-Kultur beteiligt, in den übrigen damaligen Rassen aufgegangen ist. Besonders die Variante der Mousterien-Kultur konnte niemals mit Skelettfunden identifiziert werden. Bei Bordeaux wurden kürzlich typische Neandertalfunde (bes. grobe Backenzähne!) in Ablagerungen gemacht, die mit ihren Kulturzeugnissen dem oberen Paläolithikum (Chatelperron) zugeordnet werden. In den gleichen Schichten fand man bei Combe Capelle das Skelett eines typischen *Homo sapiens*. Man tut also gut, wenn man mit Erklärungen zurückhaltend ist, daß der Neandertaler ausgestorben oder gar vom *Homo sap. foss.* ausgerottet worden sei. (Naturwiss. Rundschau 3/82)

Die bisher ältesten Spuren vom **Gebrauch des Feuers** wurden nun bei Ausgrabungen am See Baringo in Kenia festgestellt; ihr Alter wurde mit rund 1,42 Mio. Jahren bestimmt. Unmittelbar neben der Feuerstelle wurden Feuersteinwerkzeuge und in geringer Entfernung Fragmente von Skeletten des *Australopithecus boisei* gefunden. (Nature, Vol. 294, S. 124, Nov. 1981)

Ad **pränatale Diagnostik:** Unter rund 6500 Fällen, in denen im Rahmen eines Schwerpunktprogrammes der DFG zwischen 1973 und 1978 eine vorgeburtliche genetische Untersuchung angezeigt schien, wurden 169 Schwangerschaften aus genetischer Indikation abgebrochen. Im langfristigen Schnitt liegen pathologische Befunde bei knapp 3% aller untersuchten Fälle vor, ein Anteil, der nach bisheriger Erfahrung als relativ konstant angesehen werden kann. In rund 4/5 der 1587 Fälle, die in München (Abt. f. pädiatrische Genetik und pränatale Diagnostik an der Kinderpoliklinik) untersucht wurden, hat man auf Grund eines erhöhten Alters der Mutter eine Chromosomen-Analyse durchgeführt. 37 Fälle zeigten einen krankhaft veränderten Chromosomensatz. Bei Verdacht auf genetisch bedingte Defekte beim werdenden Kind muß man aber nicht nur von einer kritischen Altersgrenze der Mutter (etwa 38 Jahre), sondern auch des Vaters (etwa 45 Jahre) ausgehen.

(Naturwiss. Rundschau 3/82)

**Orchideen sind Umweltindikatoren;** ihr Vorkommen läßt auf weitgehend ungestörte Bodenverhältnisse schließen. Wo diese Pflanzen auf bisherigen Standorten ausbleiben, signalisiert das Umweltbelastungen, die zu Veränderungen, d. h. in der Regel Verarmung von Flora und Fauna geführt haben.

Zum „Jahrzehnt des Wassers“ wurden die achtziger Jahre von der Unesco proklamiert, mit dem Ziel, das Bewußtsein für den Wert dieses weltweit knappen, lebensnotwendigen

Gutes der Menschheit zu schärfen. Bei uns gibt es derzeit wohl noch ausreichend Wasser; seine zunehmende Verschmutzung aber muß uns bereits ernste Sorgen bereiten.

In Wohnräumen, die **zu wenig belüftet** oder im Winter gar zu ängstlich abgedichtet werden, können sich eine Reihe von Schadstoffen in beängstigendem Maße anreichern. Im Klebstoff von Holzspanplatten ist z. B. Formaldehyd reichlich enthalten, das im Verdacht steht, Krebs auszulösen. Pentachlorphenol (PCP), ein Bestandteil in Holzschutzmitteln, der gegen Pilzbefall wirkt, wurde bisher wohl allzu sorglos angewendet. In den handelsüblichen Lacken und Anstrichfarben finden sich verschiedene hochgiftige Lösungsmittel. Im Gips findet sich Radon, ein radioaktives Zerfallsprodukt, das unter Umständen die Strahlenbelastung in Innenräumen ansteigen lassen könnte. Und nicht zuletzt kommt etwa noch die besondere Belastung durch den **Tabakrauch**. Es gibt immer weniger Zweifel daran, daß die Luftverschmutzung durch die Raucher in starkem Maße gesundheitsgefährdend ist. Untersuchungen vom Züricher Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie haben neue Ergebnisse gebracht, die die Beeinträchtigung der Luftqualität durch das Rauchen eindeutig belegen. Bestimmte Schadstoffe, Kohlenmonoxid, Stickoxide und Formaldehyd steigen mit zunehmender Rauchkonzentration auf gefährliche Werte an: Sie erreichen die für Arbeitsplätze verbindlichen MAK-Werte (höchstzulässig) schnell oder übertreffen sie sogar.

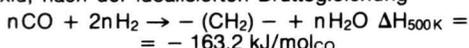
(Umschau i. Wiss. u. Techn. 24/81)

# CHEMIE

Dr. Edith Jarisch

## Katalyse-Modelle zur Fischer-Tropsch-Synthese

Heute bietet die Fischer-Tropsch-Synthese (F-T-S) wohl das attraktivste Verfahren zur Gewinnung von Kohlenwasserstoffen aus Kohle, d. h. zur Gewinnung von flüssigen Heiz- und Treibstoffen. Das eigentlich sehr einfache anmutende Reaktionsprinzip, die katalytische Hydrierung von Kohlenmonoxid, nach der idealisierten Bruttogleichung



führt zu einer bunten Palette von Produkten: geradkettige Alkane, Alkene, Alkohole, Aldehyde, Säuren, Ester und Aromaten. Dies ist bereits ein Hinweis auf die sehr geringe Selektivität der eingesetzten Katalysatoren, die nur in Ausnahmefällen zu bestimmten Produkten führen. Dazu gehört z. B. das Union-Carbide-Verfahren zur Gewinnung von Ethylenglycol an Rhodium-Ruthenium-Katalysatoren, oder die Nickel-katalysierte Methan-Bildung aus Synthesegas. Üblicherweise werden alkalisierte Eisen- und Cobalt-Katalysatoren verwendet, bei denen Alkane und Alkene der  $\alpha$ -Olefin-Reihe die Hauptprodukte sind, aber bereits geringfügige Modifikationen der Druck- und Temperaturparameter, des Katalysators und seiner Vorbehandlung (!), lassen die Produktverteilung in weiten Grenzen variieren. So kann man z. B. mit speziellen Ruthenium-Katalysatoren bei hohem Druck (2000 bar) und relativ niedriger Temperatur hochschmelzende geradkettige, mit Ziegler-Polyethylen weitgehend identische, Paraffine (Polymethylene) mit einer mittleren Molekülmasse von 240 000 erhalten, während an Rhodium-Katalysatoren vor allem niedermolekulare, sauerstoffhaltige Produkte entstehen.

Der Mobil-Prozeß nutzt die Synthesegas-Reaktion an  $\text{ZnO/Cr}_2\text{O}_3$ -Katalysatoren (Hochdruck) oder an Cu-Katalysatoren (Mitteldruck) zur Methanolvergewinnung aus, wobei das Methanol anschließend an zeolithischen Trägerkontakten in Kohlenwasserstoffe aus dem Bereich von Benzin-Fractionen umgewandelt wird.

Neben dem Einfluß des jeweils eingesetzten Katalysators spielt auch das Wassergasgleichgewicht



über welches die Zusammensetzung des aus der Kohle erhaltenen Synthesegas gesteuert wird, sowohl auf die Art als auch auf die Molekülmasse der Produkte eine nicht unerhebliche Rolle.

Bereits diese Beispiele zeigen, daß es das Ziel der Forschung sein muß, nicht allein eine Optimierung altbewährter Katalysatoren zu erreichen, sondern auch neue Katalysatoren zu entwickeln, die sich vor allem durch viel höhere Produkt-Selektivität auszeichnen. Dazu sind aber grundlegende Kenntnisse über die Wirkungsmechanismen der Katalysatoren notwendig. Als Modelle dazu bieten sich metallorganische Verbindungen an, denn an ihnen lassen sich in gut reproduzierbarer Weise Teilschritte der „katalytischen Hydrierung“ von CO untersuchen.

Heute werden einige prinzipielle unterschiedliche Mechanismen der F-T-S diskutiert, die aber alle den folgenden Randbedingungen genügen müssen:

1. Die F-T-S gehorcht dem Formalismus einer Polymerisationskinetik mit Schulz-Flory-Verteilung der Molekülmassen.
2.  $\alpha$ -Olefine und Alkohole treten als Primärprodukte auf (sie können auch in wachsende Ketten inkorporiert werden, ebenso Aldehyde).
3. Alkane entstehen durch Hydrierung der  $\alpha$ -Olefine.
4. Kettenabbruchreaktionen inaktivieren den Katalysator nicht.
5. Die F-T-S stellt eine Reduktion von CO- zu  $\text{CH}_2$ -Bausteinen dar, wobei  $\text{H}_2\text{O}$  gebildet wird.

Die heute als wahrscheinlich angenommenen F-T-Mechanismen sind die bereits im Prinzip von Fischer und Tropsch in ihrer ersten Veröffentlichung erfolgte Annahme einer Polymerisation von  $\text{CH}_2$ -Gruppen, bei denen Carbide-Species als unmittelbare Vorläufer auftreten (Carbid/Methylen-Mechanismus). Sie führen zu Aliphaten. Ein anderer Mechanismus, der wohl bestenfalls den Aufbau der sauerstoffhaltigen Produkte deutet, beruht auf der „CO-Insertion“ in eine Metall-Kohlenstoff-Bindung. Anderen Vorschlägen zur Deutung des F-T-Mechanismus mangelt es jedoch an Beispielen aus analogen metallorganischen Verbindungen, sie sind also heute durch Modellsysteme noch nicht gestützt und daher weitgehend spekulativ (z. B. Hydroxycarben-Mechanismus, Oxid-Mechanismus).

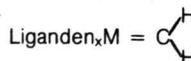
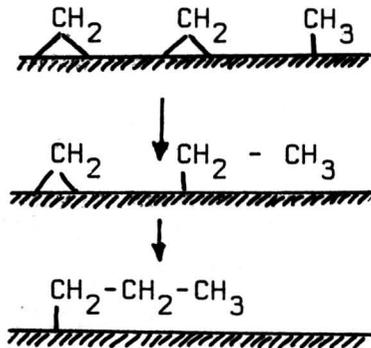


Abb. 1: Liganden sind meist Cyclopentadienyl-Anionen, CO oder  $\text{CH}_3$ ; M sind Zwischengruppenmetalle (z. B. Ta, Mn, W)

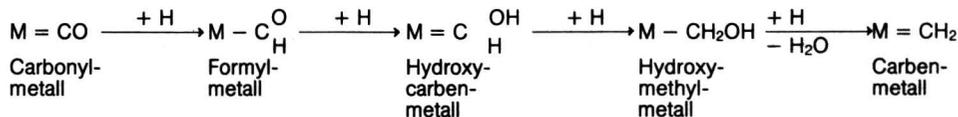
### Der Carbid/Methylen-Mechanismus

Seit Mitte der siebziger Jahre stabile Zwischengruppenmetall-Komplexe mit CH<sub>2</sub>-Gruppen entdeckt und charakterisiert wurden (Abb. 1), ist der von Fischer und Tropsch bereits 1926 gemachte Vorschlag zum Reaktionsmechanismus neu belebt und aktualisiert worden. Das Grundprinzip der Reaktion sollte demnach sein, daß CO an den typischen F-T-Katalysatoren in einem raschen Reaktionsschritt durch dissoziative Chemisorption ein Carbid-Spezies ergibt, das mit H<sub>2</sub> zu sauerstofffreien CH<sub>2</sub>-Bausteinen reagiert, die sich zu Ketten zusammenschließen. Diese Vorstellung wird auch durch folgende Markierungsexperimente gestützt: setzt man <sup>13</sup>CO einem Gemisch <sup>12</sup>CO/H<sub>2</sub> unter F-T-Bedingungen zu, so erhält man ein Produktgemisch aus überwiegend <sup>13</sup>CH<sub>4</sub> und solchen Kohlenwasserstoffen, bei denen mehrere (!) <sup>13</sup>C-Atome im gleichen Molekül enthalten sind.



Schema 1: Polymerisation von CH<sub>2</sub> an der Katalysatoroberfläche.

Dies führt zur Vorstellung über die an der Katalysatoroberfläche erfolgende Polymerisation von CH<sub>2</sub>-Einheiten (Schema 1). Daß tatsächlich metallorganische Verbindungen existieren, die eine CH<sub>2</sub>-Polymerisation ermöglichen, ist an Thermolyse-Produkten von zweikernigen Komplexverbindungen des Rheniums sehr eindrucksvoll bewiesen worden. Es ist daher bemerkenswert, daß mehr Propan als Propan erhalten wird, also tatsächlich Alkene die Primärprodukte der F-T-S sind. Neben der Knüpfung von C-C-Bindungen (CH<sub>2</sub>-Insertion) zeigt die Thermolyse dieses Komplexes auch den wichtigen Terminierungsschritt der F-T-S, nämlich die besonders begünstigte β-Wasserstoffeliminierung, die zu α-Alkenen führt, und die Alkyl/Wasserstoff-Eliminierung, die zu Alkanen führt.



Schema 2: Schrittweise Hydrierung von metall-koordiniertem CO.

Der Koordinationstyp von CH<sub>2</sub>-Einheiten an Oberflächen ist jedoch immer noch unklar. Neueste HMO-Rechnungen weisen auf eine planare Struktur und nicht, wie in den Komplexverbindungen, auf eine verzerrt tetraedrische Struktur hin.

Eine sehr überzeugende Stütze der Modellvorstellung über die CH<sub>2</sub>-Polymerisation lieferten detaillierte Untersuchungen über die an F-T-Katalysatoren erfolgende Zersetzung von gasförmigem Diazomethan.

Läßt man Diazomethan bei Temperaturen zwischen 25 und 200 °C an Ni-, Pd-, Fe-, C-, Ru- oder Cu-Oberflächen unter Normaldruck zersetzen, so erhält man ausschließlich Ethen und N<sub>2</sub>. Es erfolgt hier also nur eine Dimerisierung der CH<sub>2</sub>-Einheiten, nicht aber ihre Polymerisation.

Anders verhält sich ein Gemisch H<sub>2</sub>/CH<sub>2</sub>N<sub>2</sub>. An Co-, Fe- und Ru-Katalysatoren entsteht eine Vielzahl linearer Kohlenwasserstoffe, vor allem Alkane und Alkene, deren Molmassenverteilung der bei der F-T-S beobachteten entspricht. Voraussetzung für dieses Ergebnis ist die Aktivierung von CO an der Katalysatoroberfläche, die wohl über eine Carbidbildung erfolgen muß, denn Katalysatoren, die keine Carbide bilden, wie z. B. Cu, sind zu diesem Reaktionsablauf nicht

fähig. Erwartungsgemäß führt auch die Zersetzung eines H<sub>2</sub>/CH<sub>2</sub>N<sub>2</sub>-Gemisches an solchen Katalysatoren allein zur Dimerisierung, also zur Bildung von Ethen.

Diese Befunde führen nunmehr zur Frage, wie eigentlich die Aktivierung des CO erfolgt bzw. wie die Bildung des reaktiven Carbid stattfindet, das offenbar sofort mit H<sub>2</sub> zu den CH<sub>2</sub>-Einheiten an der Katalysatoroberfläche reagiert.

Der Zerfall von Kohlenmonoxid unter Bildung von „nackten“ C-Atomen in Cluster-Komplexen ist heute in der Chemie der metallorganischen Verbindungen keine Kuriosität mehr. Man kennt eine ganze Reihe von Verbindungen, wie z. B. Mehrkernkomplexe des V, Nb, Mo und Ti (Abb. 2), in denen der C-O-Abstand ganz extrem vergrößert ist und damit auch deutlich geschwächt ist. Besonders auffallend ist der oxophile (sauerstoffliebende) Charakter von Lanthanoid-Elementen, der zur Komplexierung des O-Atoms im CO führt und somit große Bedeutung für die Schwächung der C-O-Bindung besitzt.

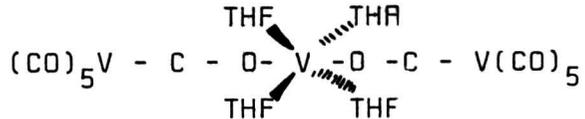


Abb. 2: Mehrkernkomplex mit stark gedehnter C-O-Bindung, THF = Tetrahydrofuran.

Neben der O-Komplexierung ist auch der aktivierende Einfluß von Lewis-Säuren untersucht worden, der auch röntgenstrukturanalytisch bestätigt, daß die C-O-Bindung gedehnt wird.

Alle diese Befunde weisen darauf hin, daß oxophile Zentren die Bildung von Carbiden begünstigen. Doch damit ergibt sich die nächste Frage: Wie bilden sich aus Carbiden die CH<sub>2</sub>-Spezies? Experimentelle Untersuchungen an Carbid-Komplexen, für die es seit kurzem auch übersichtliche Synthesemethoden gibt, zeigen, daß strukturell exponierte, vielfach koordinierte anionische Carbid-C-Atome mit H<sub>2</sub> unter oxidierenden Bedingungen komplexierte CH-Gruppen bilden, also durchaus als Vorstufen der Bildung von CH-Einheiten auftreten können. Alternativ dazu kann auch eine Protonierung des C-Atoms erfolgen. Auch die Beobachtung einer CH-Dreizentrenbildung an einem CH-Fe-Cluster, dessen dreidimensionale Struktur bekannt ist, läßt darauf schließen, daß an Metalloberflächen solche CH- und CH<sub>2</sub>-Einheiten existenzfähig sind.

Eine ganz andere Modellvorstellung über die „schrittweise Hydrierung“ des CO an Metalloberflächen geht von der intermediären Bildung von Formyl-Komplexen aus. Das Reaktionsschema 2 ist ebenfalls durch Untersuchung an ein- und mehrkernigen Komplexen sowie durch Spektroskopie und <sup>2</sup>H-Markierung plausibel gemacht worden. Für die stufenwei-

se Reduktion von CO ist die Knüpfung der ersten C-H-Bindung von entscheidender Bedeutung. Als Modellreaktion wird das Gleichgewicht zwischen dem metallorganischen Komplex einer Hydrido-(Carbonyl-)Verbindung und dem durch Umlagerung entstehenden Formylkomplex zu betrachten sein. Hier stellt sich jedoch heraus, daß die Reaktion irreversibel zuungunsten des Formylkomplexes verläuft (Abb. 3). Thermodynamische Daten ergeben, daß die Metall-H-Bindung doch recht stabil ist. Es ist allerdings dabei nicht auszuschließen, daß eine zusätzliche Koordination des Formyl-Sauerstoff-Atoms an Heterogen-Katalysatoren die Formylbindung begünstigt. Die weitere Reduktion des Formylkomplexes zu Hydromethyl-Derivaten kann ebenfalls an Modellverbindungen untersucht werden. Hier werden Methylen-Komplexe M<sup>+</sup>=CH oder auch Hydrocarben-Komplexe diskutiert.

### Der CO-Insertionsmechanismus

Eine weitverbreitete, aber nach dem heutigen Wissensstand höchstens an der Bildung von O-hältigen Produkten der F-T-S beteiligte Modellvorstellung geht davon aus, daß die erste Metall-CH<sub>3</sub>-Gruppierung, die aus einer M=CH<sub>2</sub>-Ein-

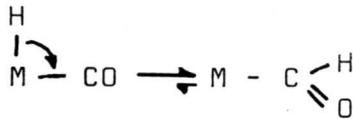
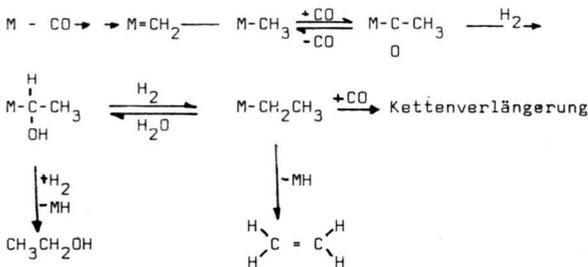


Abb. 3: Formyl/Hydrido(carbonyl)-Gleichgewicht. Aus thermodynamischen Gründen lagert sich die Formylform fast gar nicht in die Hydrido(carbonyl)-Form um.

heit hervorgeht, ein CO-Molekül zwischen die M-C-Bindung einschieben läßt (dabei wird angenommen, daß die M=CH<sub>2</sub>-Gruppierung aus der Reduktion einer Formylgruppe hervorgeht). So bildet sich eine Acetyl-Gruppe, die zur Alkylgruppe reduziert wird, worauf wiederum die CO-Insertion als Reaktion zur Kettenverlängerung erfolgt (Schema 3). Tatsächlich läßt sich an strukturell wohlcharakterisierten Kettenkomplexen die Insertion von CO beobachten, wobei Aldehyde und Alkohole gebildet werden.



Schema 3: CO-Insertion als Mechanismus der Kettenverlängerung, als Nebenprodukte bilden sich Alkohole und Alkene.

### Ausblick

Metallorganische Modellreaktionen haben zahlreiche, teils völlig neuartige Elementarschritte der Synthesegas-Chemie ans Licht gebracht. Dabei scheint die detaillierte Kenntnis über das Verhalten von bestimmten Komplexspezies, insbesondere der Formyl-, Methylen-, Carbid-, Hydroxymethyl- und Hydroxycarben-Komplexe, darauf hinzuweisen, daß das Konzept des Carbid/Methylen-Mechanismus die Bildung von sauerstofffreien Produkten bei der F-T-S am besten beschreibt. In der Praxis ist man zum gegenwärtigen Zeitpunkt vor allem an der Verbesserung der Selektivität interessiert. So wünscht man vor allem Produkte mit möglichst enger Bandbreite, z. B. kurzkettige Alkene als Syntheserohstoffe, C<sub>5</sub>- bis C<sub>11</sub>-Alkene zur Herstellung von Weichmacheralkoholen oder C<sub>9</sub>-C<sub>10</sub>-Aliphaten für Waschmittelrohstoffe. Wenn daneben noch Kraft- und Heizstoffe aus Synthesegas gewonnen werden sollen, müßten die Mengen der geförderten Kohle auf das Mehrfache ansteigen.

Soll die F-T-S tatsächlich der heutigen Petrolchemie erfolgreich konkurrieren, so müßte Rohöl weiterhin knapp bleiben und sein Preis entsprechend hoch. Aber vor allem müßte die Erforschung der Elementarreaktionen der F-T-S auch dazu führen, daß die Entwicklung löslicher Katalysatoren mit ihrer Fähigkeit zu hoher Selektivität möglich wird.

### LITERATUR:

Metallorganische Aspekte der Fischer-Tropsch-Synthese, W. A. Herrmann, Angew. Chem. 94 (1982), 118-131.

## Membranstrukturen: Zellfusionierung und Einschleusung impermeabler Substanzen

Die allgemein akzeptierte Modellvorstellung über die Struktur einer biologischen Membran ist die eines Flüssig-Mosaiks. Hier sind Phospholipide als planare Doppelschicht so angeordnet, daß die hydrophilen „Köpfe“ die Außen- bzw.

Innenseite der Membran bilden, während die langen Ketten der Fettsäurereste, die „Schwänze“, im Inneren der Membran selbst liegen. In dieser Doppelschicht liegen, mosaikartig angeordnet, asymmetrisch periphere oder integrale Struktur- und Transportproteine eingebettet. Die seitliche (laterale) Beweglichkeit (Fluidität) der Phospholipide ist sehr hoch, während ihre Beweglichkeit senkrecht zur Membranfläche stark limitiert ist. Ähnliches gilt auch für die Beweglichkeit der eingebetteten Proteine. Man kann daher sagen, daß eine Drehung der Membranbausteine um eine Achse, die in der Membranfläche liegt – dieser Vorgang wird als „Flip-Flop“ bezeichnet –, sehr unwahrscheinlich ist.

Die elektrischen Eigenschaften einer solchen Membran lassen sich durch ein elektrisches Ersatzschaltbild beschreiben: Die wäßrige Außenlösung und die polaren „Köpfe“ der Membranlipide können als Platten eines Kondensators aufgefaßt werden, wobei das Membraninnere als Dielektrikum mit einer relativen Dielektrizitätskonstante von 2-3 wirkt. Die spezifische Kapazität der Membran C<sub>m</sub> liegt bei künstlichen Lipidmembranen bei 0,3-0,7 μFcm<sup>-2</sup>, bei biologischen bei 0,3-1 μFcm<sup>-2</sup>. diesem „Kondensator“ ist parallel ein Widerstand R<sub>m</sub> geschaltet, wobei die spezifischen Widerstände von Membranen zwischen 10<sup>2</sup>-10<sup>4</sup> Ω cm<sup>-2</sup> liegen. In Serie zu dem Kondensator mit C<sub>m</sub> und dem Widerstand mit R<sub>m</sub> ist der Widerstand R<sub>E</sub>, der das wäßrige Außenmedium repräsentiert, geschaltet (Abb. 1).

- C<sub>m</sub> = spez. Kapazität der Membran (0,3-1 μF/cm<sup>2</sup>)
- R<sub>m</sub> = spez. Widerstand der Membran (biolog. Membran: 10<sup>2</sup>-10<sup>4</sup> Ω/cm<sup>2</sup>; künstl. Membran: 10<sup>5</sup>-10<sup>8</sup> Ω/cm<sup>2</sup>)
- V<sub>0</sub> = variable Spannungsquelle (1-100 V)
- S = Schalter für die Pulsschaltung von ns bis μs
- R<sub>E</sub> = Widerstand des wäßrigen Außenmediums
- V<sub>m</sub> = Messung der Durchbruchspannung

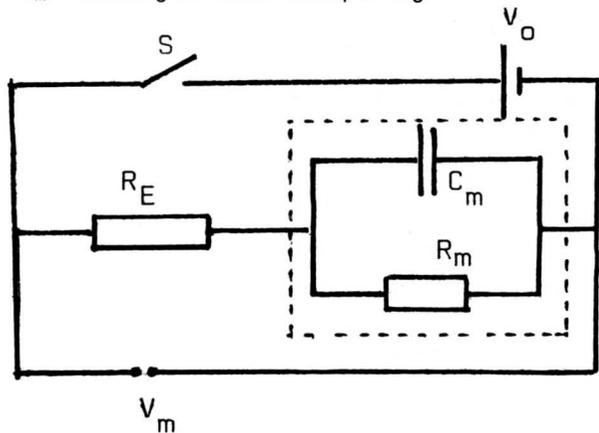


Abb. 1: Schaltung für die Ladungspulsmethode. Die elektrischen Eigenschaften einer Membran lassen sich durch ein elektronisches Ersatzschaltbild (innerhalb des punktierten Bereiches) darstellen.

Bekanntlich kann man Kondensatoren nur bis zu einer gewissen Höchstspannung aufladen, denn oberhalb dieses Spannungswertes, der vom Plattenabstand und dem Dielektrikum abhängt, kommt es zu einem elektrischen Durchbruch. Dieser Durchbruch ist mit einer extremen Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit des Kondensators verbunden und führt in der Regel zu seiner Zerstörung. Es sind jedoch auch in der Technik „selbstheilende“ Kondensatoren bekannt, und unter bestimmten Bedingungen verhalten sich biologische Membranen ebenso wie künstliche Lipidmembranen analog den selbstheilenden Kondensatoren. Voraussetzung für so einen reversiblen elektrischen Durchbruch bei Zellmembranen ist, daß die kritische Membranspannung innerhalb von ns bis μs erreicht wird. Je nach Temperatur und Ladezeit beobachtet man Durchbruchsspannungen von 0,5-2 V. Die elektrische Leitfähigkeit der Membran steigt dabei beträchtlich an, was gleichzeitig eine stark erhöhte Permeabilität der Membran anzeigt. So können Membranen menschlicher Erythrocyten nach einem elektrischen Durchbruch für Proteine, DNA und sogar Latexteilchen von 0,2 μm passierbar werden. Bei relativ kurzen Polarisierungszeiten der Membran sind die elektrisch induzierten Struktur- und Permeabilitätsänderungen reversibel. So brauchen die Regenerierungsprozesse bei 37 °C nur wenige Sekunden bis Minuten, bei etwa 4 °C aber oft mehre-

re Stunden. Irreversible Schädigungen der Membranen erfolgen bei zu hohen Durchbruchspannungen oder aber auch, wenn der Feldpuls 20–100  $\mu$ s dauert.

Ladungsexperimente an künstlichen Lipidmembranen haben in den letzten Jahren wichtige Einblicke in die Prozesse ermöglicht, die beim Durchbruch ablaufen. Die Studien an diesen Phänomenen haben dann aber auch gezeigt, wie mittels des elektrischen Durchbruchs es gelingt, Stoffe und Partikel in eine Zelle einzuschleusen, die ansonsten die Zellmembran nicht durchdringen können. Darüber hinaus haben aber diese Experimente gezeigt, wie man auch recht unterschiedliche Zellen miteinander fusionieren kann und so zu ganz neuartigen Spezies gelangen könnte.

Der elektrische Durchbruch der Membran kann durch lokale elektromechanische Kompression der Membran erklärt werden. Es läßt sich theoretisch zeigen, daß oberhalb einer bestimmten Kompression die Membran instabil wird. Dabei entstehen möglicherweise auch mit Elektrolyt gefüllte Poren, etwa  $10^7$  pro  $\text{cm}^2$ .

Die experimentelle Untersuchung der elektrischen Durchbruchereignisse und zugleich auch des dabei stattfindenden Stoffaustausches erfolgt in Entladungskammern. In ihnen sind zwei Elektroden an einen Hochspannungskondensator über einen Hochspannungsschalter verbunden. In der Entladungskammer befindet sich eine Zellsuspension, z. B. in phosphatgepufferter Elektrolytlösung. Nun wird der Kondensator bis zur gewünschten Spannung aufgeladen und dann über die Entladungskammer entladen (Abb. 2). Die Entladung erfolgt exponentiell, wobei die Länge des applizierten Entladungspulses durch den Widerstand der Lösung und die Kapazität des Kondensators bestimmt ist. So beobachtet man z. B. bei einer Pulslänge von 40  $\mu$ s und einer Feldstärke von 2 kV/cm einen reversiblen  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -Austausch zwischen Erythrocyten und Medium. Diese Feldstärke entspricht einer Spannung von 1 V über der Erythrocytenmembran. Auch läßt sich beobachten, daß die Membran für Saccharose durchlässig wird.

- V = Hochspannungsquelle
- R = Begrenzungswiderstand
- C = Hochspannungskondensator
- S = Hochspannungsschalter
- Z = Entladungskammer mit Zellsuspension

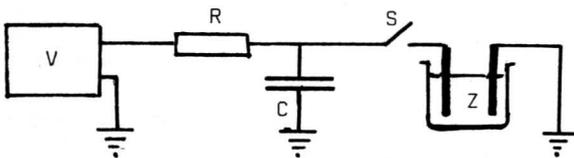


Abb. 2: Schaltschema für eine Entladungskammer.

Experimente mit verschiedenen Zelltypen, wie z. B. große Algenzellen, Bakterien, Lymphozyten und auch Tumorzellen, zeigen, daß wohl artspezifische Unterschiede bestehen – so sind in Pflanzenzellen zwei Membranen (die Tonoplasten- und die Plasmamembran) hintereinander angeordnet –, aber der reversible elektrische Durchbruch prinzipiell gleiche Erscheinungen auslöst: er führt zu einer Störung der Zellmembranstruktur, so daß ein Stoffaustausch zwischen Zelle und Umgebung möglich wird.

Dieses Prinzip führt zu einer interessanten Überlegung: Was geschieht, wenn die „Umgebung“ durch eine zweite Zelle dargestellt wird? Dazu betrachten wir zwei aneinanderhaftende Zellen, die mit ihrer Längsachse in Feldrichtung orientiert sind. In diesem Falle findet der elektrische Durchbruch an den Polen und in den Kontaktzonen der beiden Zellen statt. Jetzt ist ein Stoffaustausch nicht nur mit der umgebenden Lösung, sondern auch zwischen den beiden Zellen an der Kontaktzone möglich. Ist dabei der Membrankontakt eng genug, d. h. sind die Lipidmoleküle der beiden Membranen nur etwa 2 nm voneinander entfernt, besteht die Möglichkeit, daß Lipidmoleküle der einen Membran und vielleicht auch sogar in die Membran eingebettete Proteinmoleküle in die andere Membran hineindiffundieren. Während des Ausheilprozesses können sich sogar Lipidbrücken zwischen den beiden Zellen ausbilden. In diesen Brücken zonen besitzt die Membran einen sehr starken Krümmungsradius (Abb. 3), was zu einer stark erhöhten Oberflächenspannung in der Membran führt. Dadurch ist der folgende Schritt, nämlich die Fu-

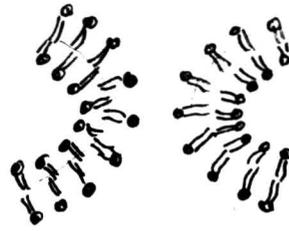


Abb. 3: Brücken zonen bei Membranen mit hohem Krümmungsradius fördern die Fusionierung.

sionierung der beiden Zellen, energetisch begünstigt. Diese Überlegungen zeigen, daß der elektrische Durchbruch zu einer Zellfusion ausgenutzt werden kann.

Tatsächlich wurde diese Fusion von Zellen bereits 1978 beobachtet, doch war die Ausbeute an fusionierten Zellen recht gering, auch wenn sehr dichte Zellsuspensionen in einer Entladungskammer herrschten. Die Ursache dafür war einerseits die Brownsche Bewegung, andererseits die negative Oberflächenladung der Zellen, die eine Ausbildung von Zweieraggregaten von Zellen verhinderte.

Zellfusionen wurden bereits seit Beginn der siebziger Jahre beobachtet, wenn „fusogen“ wirkende Substanzen (hohe  $\text{Ca}^{2+}$ -Konzentration, Polyethylenglykol, bestimmte, inaktivierende Viren) bei hohen oder auch niedrigen pH-Werten einwirken. Alle diese Fusionen laufen jedoch unter nichtphysiologischen Bedingungen ab, die zu einer starken Störung der Membranstruktur führen, daß die Lebensfähigkeit der fusionierten Zellen auch gestört wird. Auch Versuche zu einer Zellfusion, wobei ein Feldpuls zwei durch Mikroelektroden aneinandergelagerte Protoplasten fusioniert, wurden unternommen. Alle diese Versuche haben einen entscheidenden Nachteil: die Ausbeute ist sehr gering.

Die Entwicklung eines neuartigen Verfahrens (Zimmermann und Scheurich) geht von rein physikalischen Prinzipien aus und besteht aus zwei Schritten: Im ersten Schritt werden die Zellen durch Dielektrophorese aneinandergereicht, im zweiten wird mittels des elektrischen Durchbruchs die Fusion ausgelöst.

Die Dielektrophorese ist im Prinzip schon lange bekannt. Sie wird benutzt, um den Verlauf der elektrischen Feldlinien in einem elektrostatischen Feld zu demonstrieren, wobei z. B. Grießkörnerchen in Öl suspendiert werden. Die Orientierung der Grießkörner im Feld beruht auf einer Polarisierung der Materie.

Im Prinzip geschieht das gleiche auch mit einer lebenden Zelle, die sich in einem elektrischen Feld befindet. Auf Grund ihrer Netto-Oberflächenladung – in der Regel ist wegen der polaren Köpfe der Membranlipide die Oberfläche wegen geladen – beginnen die Zellen im homogenen elektrischen Feld zu wandern (= Elektrophorese), meist in Richtung zur Anode. Zusätzlich aber wird in den Zellen über Ladungstrennung ionischer Bestandteile, Orientierung von eingeschlossenen Dipolmolekülen oder Membrandipolen ein zusätzliches Dipolelement induziert. Dieses trägt zwar zur Bewegung der Zellen nichts bei, da die Summe der Ladungen in der Zelle konstant ist und auch auf den, den Polen zugewendeten Seiten der Zelle gleich ist. Wäre die Zelle nicht geladen, so würde sie zwar polarisiert, würde aber wie jedes andere elektrisch neutrale Teilchen nicht wandern.

In einem inhomogenen elektrischen Feld wandern geladene Teilchen ebenfalls, d. h. die Zelle zeigt Elektrophorese, aber man beobachtet, daß auch elektrisch neutrale Teilchen wandern, meist in Richtung höherer Feldstärke. Dieses Wandern von Neutraltelchen beruht darauf, daß die Feldstärke im inhomogenen Feld auf den beiden Seiten des polarisierten Teilchens (induziertes Dipolelement!) verschieden groß ist. Die resultierende Kraft zieht die Teilchen in Richtung höherer Feldstärke. Diesen Vorgang nennt man Dielektrophorese. Befinden sich Zellen in einem inhomogenen elektrostatischen Feld, so zeigen sie Elektrophorese und Dielektrophorese. Beide Erscheinungen kann man jedoch voneinander trennen, wenn man ein inhomogenes Wechselfeld benutzt. Infolge der raschen Umpolung des Feldes können geladene Teilchen, eben Zellen, nur um eine Mittellage oszillieren, denn die Elektrophoreserichtungen wechseln zu rasch. Da jedoch die inhomogene Feldstruktur auch in einem Wechselfeld erhalten bleibt, wandern geladene Teilchen in Richtung höherer Feldstärke, da auf jeden Fall Dielektrophorese stattfindet.

Wenn Zellen sich unter den Bedingungen einer Dielektrophorese entlang der Feldlinien anordnen, so führt dies zu einer Bildung von Zweier-, Dreier- und Viererketten, die sich schließlich zu ganzen „Perlenschnüren“ längs der Feldlinien orientieren. Diese Konfigurationen bleiben so lange stabil, wie das externe Wechselfeld anliegt. Wird das Feld abgeschaltet, so zerfallen diese Ketten auf Grund der Brownschen Bewegung, da sich die Zellen infolge ihrer negativen Oberflächenladung abstoßen. Die Dielektrophorese ist also ein reversibler Vorgang, der es ermöglicht, einen sehr engen Membrankontakt zwischen Zellen herbeizuführen. Wichtig und gleichzeitig auch limitierender Faktor ist dabei die elektrische Leitfähigkeit des Mediums. Ist diese zu hoch, so fließt ein zu großer Strom durch die Lösung, sie erwärmt sich, und die dabei entstehenden Turbulenzen sind so stark, daß sie die Bildung von „Perlenketten“ verhindern. Daher muß möglichst in nichtionischen Lösungen gearbeitet werden, deren Osmolarität (= Konzentration der osmotisch wirksamen Teilchen) über Nichtelektrolyte, wie Mannit, Saccharose, Glucose oder neutrale Aminosäuren, eingestellt werden muß, um eine Schädigung der Zellen durch Osmoseerscheinungen zu verhindern.

Um Dielektrophorese zu erreichen, arbeitet man mit einem externen Wechselfeld im Frequenzbereich zwischen 1 kHz und 10 MHz, die Feldstärken des Durchbruchpulses für Fusion schwanken je nach Zellenart zwischen 500 und 2200 V/cm, die Pulsdauer zwischen 1–50 µs, die Fusion erfolgt dann innerhalb von 0,1 bis 60 Minuten.

Fusionsexperimente wurden bereits an einer Vielzahl von Zelltypen und auch künstlichen Lipidvesikeln durchgeführt. Damit stellt die elektrische Fusion ein generelles Verfahren dar, mit dem Zellen auch sehr unterschiedlicher Art, z. B. auch Chloroplasten mit Mitochondrien, oder auch mit künstlichen Liposomen, verschmolzen werden können. Die Methode zeichnet sich durch hohe Ausbeuten aus und ist zudem sehr schonend, wie auf Grund der Lebensfähigkeit und Stoffwechselfvorgängen fusionierter Zellen nachgewiesen werden konnte.

### Potentielle Anwendungen des elektrischen Membrandurchbruchs

#### 1. Membranstruktur und Durchbruchsspannung

Die Membrandurchbruchsspannung läßt sich als Kriterium für die Membranstruktur heranziehen. So hängt die Spannung z. B. von der Wachstumsphase einer Zellpopulation ab. Auch Änderungen der Durchbruchsspannung als Folge von Differenzierungsvorgängen sind bekannt. Diese Befunde könnten medizinisch und zellbiologisch ausgenutzt werden, um bestimmte Entwicklungsphasen von Zellen festzustellen, was bis jetzt nur durch bestimmte Färbemethoden möglich ist. Dies würde auch dem heutigen Trend in der medizinischen Technik entsprechen, wo durch Multiparameter-Analysegeräte eine Vielzahl von Daten aus einer Probe erhalten werden. So könnte diese Methode das Zellvolumen, die Zellaktivität, den Proteingehalt usw. bestimmen lassen.

#### 2. Feldinduzierte Einschleusung von membran-impermeablen Substanzen

Durch gezielte Einschleusung bestimmter Stoffe könnte man viele Stoffwechselfvorgänge genauer untersuchen. Ein Vorschlag geht dahin, das System Luciferin/Luciferase (es ist für die Lichterzeugung in manchen Insekten zuständig) in Zellen einzuschleusen, um so den ATP-Umsatz direkt zu bestimmen.

Auch die medizinische Diagnostik und Therapeutik könnte die Methode ausnützen. So wirken viele Arzneimittel nicht zell-, gewebe- oder organspezifisch. Die Entwicklung von geeigneten Trägersystemen, die Pharmaka spezifisch an den Ort der Wirkung zu transportieren, wäre denkbar. So konnte z. B. bei Mäusen die gezielte Freisetzung eines Cytostaticums in der Leber beobachtet werden, wenn Mäuseerythrocyten mit diesem Cytostaticum beladen worden waren.

#### 3. Fusion von Zellen

Hier bieten sich vielerlei Möglichkeiten an. So könnte man z. B. künstliche Liposomen mit bestimmten Substanzen beladen (z. B. Proteinen, DNA usw.) und sie mit Erythrocyten oder Lymphocyten fusionieren. Dadurch wäre es möglich, biologisch wirksames Material in einen Organismus einzuschleusen.

Diese Methode könnte aber auch insbesondere pflanzenzüchterisch verwendet werden, um z. B. die Fixierung von Luftstickstoff zu erreichen, Pflanzen unempfindlich gegen

über Salzwasser zu machen und somit viele Trockengebiete der Erde dem Anbau von Nutzpflanzen zugänglich zu machen.

Eine Fusion von Protoplasten aus Hefezellen mit pflanzlichen Protoplasten könnte dazu ausgenutzt werden, um aus Sonnenenergie, CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O direkt den Rohstoff und Energieträger Ethanol zu erhalten. Viele solcher Vorschläge klingen heute noch utopisch, aber war die Vorstellung einer Zellfusionierung nicht auch einmal utopisch?

#### LITERATUR:

Zellen mit manipulierten Funktionen: Neue Perspektiven für Zellbiologie, Medizin und Technik, U. Zimmermann, P. Scheurich, G. Piwat, R. Benz. Angew. Chem. 93 (1981), 332–351.

## Kurznachrichten

**Künstliche Photosynthese?** Tensidmoleküle zeigen, ähnlich den Bausteinen natürlicher Membranen, die Fähigkeit, sich zu Micellen und sogar Vesikeln mit eingeschlossenem Hohlraum zusammenzulagern. Die Synthese eines unsymmetrisch gebauten Tensidmoleküls mit Redoxaktivität geht von einem unsymmetrisch alkylierten Bipyridin aus, an dessen einer Alkylgruppe sich eine OH-A-Gruppe befindet. Diese wird mit einer Carbonsäure des Typs R<sub>2</sub>N–COCH=CHCOOH verestert, wobei R lange Alkylketten darstellen. Dieses Tensidmolekül trägt an dem N-Atom des Bipyridins eine positive Ladung, ist also ein Bipyridiniumderivat. Diese Moleküle lagern sich zu unsymmetrischen Vesikeln zusammen, wobei die positive Ladung an der Außenseite liegt. Die Vesikeln wurden elektronenmikroskopisch, durch <sup>1</sup>H-NMR-Spektroskopie und durch Substrateinschluß charakterisiert. Tris(2,2'-bipyridin)rutheniumperchlorat lagert sich an die Außenseite der Vesikeln an. Bei Photoanregung erfolgt ein Elektronentransfer vom Rutheniumkomplexion durch die Doppelschicht des Vesikels, wobei eine langlebige reduzierte Form des Moleküls entsteht. Dieser Vorgang ist für eine der Photosynthese analoge Energieumwandlung von Interesse.

#### LITERATUR:

Angew. Chem. 94 (1982), 1/73.

**Calmodulin** ist ein Enzym, das mit vier Ca<sup>2+</sup>-Ionen in die aktive Form übergeht. Es stellte sich als Schlüsselenzym für alle durch Calciumionen geregelten Prozesse heraus. Erst durch Calmodulin kann die Zelle ihre Aufgaben in Abstimmung mit dem Gesamtorganismus erfüllen. Das aktive Calmodulin scheint sich mit anderen, zunächst inaktiven Proteinen zur aktiven Proteinstruktur zusammenzuschließen. Sinkt der Gehalt an Ca<sup>2+</sup>-Ionen jedoch ab, so gibt auch Calmodulin seine Ca<sup>2+</sup>-Ionen ab und wird inaktiviert. Bis jetzt ist die Bedeutung von Calmodulin bei folgenden Vorgängen aufgeklärt: Stoffwechsel der cyclischen Nucleotide (Adenylcyclase, Guanylcyclase, Phosphodiesterase), Phosphorylierung verschiedener Proteine (calciumabhängige Proteinkinase), Kontraktionsvorgänge (Myosin-Light-Chain-Kinase), Calciumstoffwechsel (Calcium-ATPase), Glykogenstoffwechsel (Phosphorylasekinase, Glykogensynthetasekinase) sowie Stoffwechselfvorgänge, an denen NAD-Kinase beteiligt ist. Besonders gehäuft findet man Calmodulin im mitotischen Apparat während der Zellteilung, wobei die Chromosomensätze auseinandergezogen werden. Im Gehirn befindet sich viel Calmodulin in der Nähe der postsynaptischen Regionen, wo ja Nervenimpulse empfangen werden. Die Aufklärung der Aminosäuresequenz von Calmodulin zeigte, daß es aus 148 Aminosäuren besteht. Es existieren vier sehr ähnliche Domänen, die eine Schleife bilden und Ca<sup>2+</sup>-Ionen sich einlagern. Die Schleife enthält je sechs Aminosäuren, die einen Ca<sup>2+</sup>-Komplex bilden. Zwischen den vier Schleifen befinden sich helicale Bereiche, wie eine Röntgen-Strukturanalyse zeigte. Es ist auffallend, daß Calmodulin keine Disulfidbrücken enthält. Etwa ein Drittel der Kettenglieder sind Glutaminsäure und Asparaginsäure. Es ist gegenüber starken Säuren und kochendem Wasser unempfindlich.

#### LITERATUR:

Spektrum 1982/8/36.

**Botenstoffe.** Noch vor gar nicht allzu langer Zeit unterschied man genau zwischen Hormonen, die von speziellen innersekretorischen Drüsen abgegeben werden, und Neurotransmittern, die Signale von Nervenzellen weiterleiten. Dann wurden „Gewebehormone“, die Prostaglandine, gefunden, deren Produktion nicht in einer eigenen Drüse erfolgt. Es stellte sich heraus, daß die Neurotransmitter auch in sehr einfachen, vielzelligen Tieren vorkommen, aber noch immer gal-

ten die Hormone als Errungenschaften der Wirbeltiere. Neuere Untersuchungen zeigten aber, daß auch Hormone, wie z. B. Insulin, in sehr niedrigen Tieren nachzuweisen sind. Es wurde auch in einem Einzeller und sogar drei Stämmen des Bakteriums *Escherichia coli* entdeckt. Es liegt nunmehr die Annahme nahe, daß alle diese Stoffe zur Zellkommunikation dienen, also generell als Botenstoffe betrachtet werden können. Bei Insekten hat man die Pheromone gefunden, zu denen vor allem Sexuallockstoffe gehören, die ja auch Kommunikationsmittel darstellen. Somit könnte man in einer Begriffserweiterung alle diese Botenstoffe als Pheromone bezeichnen, wie eine Arbeitshypothese von Jesse Roth (USA) vorschlägt.

**LITERATUR:**  
Spektrum, 1982/8/47.

**Kernspintomographie** stellt eine neuartige Anwendung der zur Strukturaufklärung vielseitig einsetzbaren NMR-Spektroskopie dar. Die NMR-Spektroskopie mißt die Resonanzsignale, die bei Einstrahlung eines elektromagnetischen Wechselfeldes auf eine Probe in einem starken Magnetfeld meßbar werden. Die Tomographie ist eine Methode der Röntgenuntersuchung, bei der die verschieden starke Absorption von Röntgenstrahlen durch Gewebe gemessen und mittels eines Rechenprogramms in ein Bild umgesetzt wird. Die Kernspintomographie ist eine Kombination beider Verfahren. Hier wird allerdings das zu untersuchende Objekt, z. B. ein Patient, nicht in ein homogenes Magnetfeld, sondern in verschiedene, räumlich exakt veränderbare Felder gebracht. Dies erreicht man durch Anwenden mehrerer hintereinander angeordneter Magnetspulen, die ein statisches Feld erzeugen. Zusätzlich gibt es noch entsprechend gekrümmte Platten, die einerseits für das magnetische Wechselfeld sorgen, andererseits auch Detektoren für die Resonanzsignale darstellen. Die durch Fouriertransformationen aufbereiteten Signale lassen ein räumliches Bild entstehen. Für manche medizinische Problemstellungen lassen sich dabei bessere Aussagen als

durch Röntgentomographie erzielen. Diese Methode hat zudem den Vorteil, daß es keine Strahlenbelastung für den Patienten gibt.

**LITERATUR:**  
Spektrum, 1982/7/40.

**Photolytische Bortrichloridreinigung.** Das Dotiermaterial Bortrichlorid kann neuerdings von seinem Begleitstoff Phosgen (Kohlenoxidichlorid), der die Halbleiterqualitäten vermindert, erstmals auf elegante Weise abgetrennt werden. Der amerikanische Physiker Allen Hartford vom Los Alamos National Laboratory beschoß das verunreinigte handelsübliche Bortrichlorid mit einem ultravioletten Laserstrahl aus einem Kryptonfluorid-Laser. Fast alle Phosgenmoleküle spalteten sich nach zwei Minuten in Kohlenmonoxid und Chlor auf, während die Bortrichloridmoleküle unverändert blieben. Die Zersetzungsprodukte des Phosgens waren im Gegensatz zu Phosgen selbst leicht abtrennbar. Die Zerstörung des Phosgens gelang auch mit dem Licht aus einer Quecksilberdampfampe nach 37 Minuten. Diese letzte Verfahrensweise dürfte sich am ehesten im großtechnischen Maßstab übertragen lassen.

Petra Schulz

**Hefen produzieren Hepatitis-Impfstoff.** Mit Hilfe eines genchirurgischen Verfahrens ist es gelungen, die Erbinformation zur Bildung des Hüllproteins des Hepatitis-B-Virus in Hefe einzuschleusen. Tatsächlich produzierte die Hefe das Oberflächen-Antigen des Virus. Es entspricht in seinem Aufbau dem HBsAg, das bislang aus menschlichem Blut als Impfstoff isoliert wurde. Im Tierversuch bewies dieses gentechnisch gewonnene Protein schon seine immunologische Aktivität. Es besteht nunmehr die Aussicht, bald genügend Vaccine herstellen zu können, das zusätzlich den Vorteil bietet, nur reines, nicht infektiöses HBsAg zu enthalten. Bei Isolierung des Impfstoffes aus menschlichem Blut besteht immer die Gefahr, daß nicht nur das Hüllprotein, sondern auch intakte Viren enthalten sein können.

**LITERATUR:**  
Umschau, 1982/17/505.

# EXPERIMENTALPHYSIK

Prof. Richard Lederer

## Lichtgeschwindigkeitsmessung als Demonstrationsversuch

Karl Hagenbuchner,  
BG Traun

Als eine der fundamentalen Größen spielt die Lichtgeschwindigkeit im Unterrichtsablauf eine merkwürdige Rolle. Während zur Demonstration weniger grundlegender Größen und Fakten aufwendige Experimente ersonnen werden, wird die Lichtgeschwindigkeit eher als Glaubensfrage als eine im schulischen Rahmen experimentell beweisbare Größe behandelt. Als Beweis für Betrag und Konstanz der Lichtgeschwindigkeit dienen Beschreibungen historischer Versuche, als konkretes Meßproblem schreckt die Dimension von eigenen Versuchen ab. Die Beschäftigung mit dem Laser brachte uns eher zufällig eine ebenso einfache wie einleuchtende Problemlösung, die sich in drei Varianten durchführen läßt, orientiert an den üblichen Ausstattungen von physikalischen Sammlungen. Diese drei Varianten benennen wir nach der Art des optischen Systems.

### 1. Laserpuls-Doppelsensor-Methode

Am Ende eines verdunkelbaren Ganges (Mindestlänge 15 m) werden auf der optischen Bank ein He-Ne-Laser und ein Strichgitter (570 Linien/mm) montiert. Weiters ist zwischen Laser und Gitter ein Zahnrad so anzubringen, daß die Zähne jeweils den Strahl abdecken können. Bei uns hat sich ein zur Demonstration von Brennstoffzellen gedachter 2-V-Motor nebst zugehöriger Scheibe bewährt, wobei in der Scheibe ca. 60 gleichmäßige Ausnehmungen eingeschnitten

wurden, die für die periodische Unterbrechung des Lichtes sorgen. Der Laserstrahl wird durch diese mechanische Unterbrechung gepulst, wenn auch mit äußerst langsamen Pulsflanken, da die Strahlbedeckung ja durch zu- und abnehmende Abschattung erfolgt. Die Drehzahl wird durch Überlastbetrieb mit 2,5 V eingestellt, die Unterbrechungsrate ist prinzipiell beliebig, ihre Aufgabe ist die Erzeugung eines periodischen Signals zur Triggerng des Oszillographen.

Das Beugungsbild nullter Ordnung wird nun die Ganglänge hin und mittels eines Planspiegels zurückgeführt und in Höhe des Gitters mit einer Sammellinse ( $f = +10 \text{ cm}$ ,  $\varnothing = 10 \text{ cm}$ ) auf einen Fototransistor fokussiert. Ein zweiter Fototransistor, hier ist keine Sammellinse notwendig, liegt in unmittelbarer Nähe des Beugungsgitters in einem der Beugungsbilder erster Ordnung. Die Kollektoren beider Transistoren sind an eine stabile Gleichspannung von  $+5 \dots +15 \text{ V}$  angeschlossen, die Signale werden am Emitter an Arbeitswiderständen bis ca. 1 K abgenommen und abgeschirmt einem Zweistrahl-oszillographen mit Triggerverzögerungsmöglichkeit zugeführt. Ab einer Zeitablenkung von etwa  $5 \mu\text{s/cm}$  wird sichtbar, daß die Anstiegsflanken beider Fototransistoren zeitverschoben auftreten. Je nach verfügbarer Ganglänge und der Einstellmöglichkeit am Oszillographen kann dieser Laufzeitunterschied optimal demonstriert werden.

Bei bekannter Laufstrecke des Lichtes und der Zeitablenkung des Oszillographen ist der Abstand zwischen zwei beliebigen Punkten gleicher Amplitude (gleiche Kanalverstärkung vorausgesetzt!) beider Kurven der Lichtgeschwindigkeit direkt proportional. So ergibt sich für die bei uns mögliche maximale Wegstrecke von  $2 \times 30 \text{ m}$  bei einer Zeitablenkung von  $0,2 \mu\text{s/cm}$  das Bild gemäß Abbildung 3, wobei idente Punkte genau 1 cm weit auseinander liegen:

$$0,2 \cdot 10^{-6} \text{ s} / 60 \text{ m} \text{ bedeuten } c = 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

Die Mehrfachbilder kommen durch die nicht absolut periodisch wiederkehrenden Pulsfolgen (händisch geschnittenes Zahnrad) zustande, stören auch nicht weiter, da man die paarweisen Zusatzkurven ebenfalls zur Datengewinnung und Wertmittelung heranziehen kann.

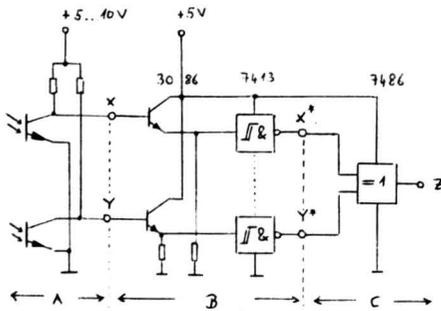


Abb. 1: Meßschaltung

Nach Abbildung 1 wurden die Signale bisher an den Punkten X und Y abgenommen. Die flachen Anstiegsflanken der Signale können nun durch eine einfache Maßnahme „verschönert“ werden. Dies erfolgt im Teil B der Schaltung in Abbildung 1. Die von den Fototransistoren kommenden Signale werden durch zwei Transistoren auf TTL-Pegel angehoben, diese Transistoren stammen aus einem Array CA 3086, um in beiden Kanälen gleiche Laufzeiten sicherzustellen. Nach einem Schmitt-Trigger 7413 erhält man an X\*, Y\* saubere Rechteckflanken, welche die Laufzeitmessung wesentlich vereinfachen. Allerdings wurde die bisher sicher auch in niedrigeren Schulstufen einsichtige Meßanordnung um eine „black-box“ aufgesteckt.

Ein weiterer IC, ein XOR 7486, nach Schaltungsteil C läßt die Methode fast „professional“ werden, als die Signale so verknüpft werden, daß am Ausgang Z Impulse von genau jener Breite anstehen, als es der Laufzeit des Lichtes entspricht. Vorteil: Es kann ein Einstrahlzilloskop eingesetzt werden. Den Signalen an den Punkten X\*, Y\* entspricht die Abbildung 2, vom Punkt Z die Abbildung 4.

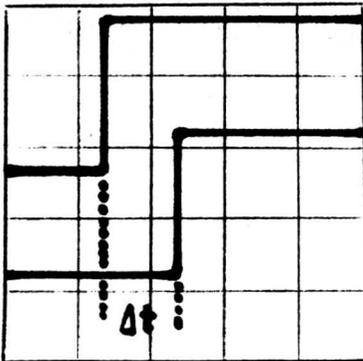


Abb. 2: Signal X\*, Y\* (X = 0,2  $\mu$ s/cm; Y = 1 V/cm)

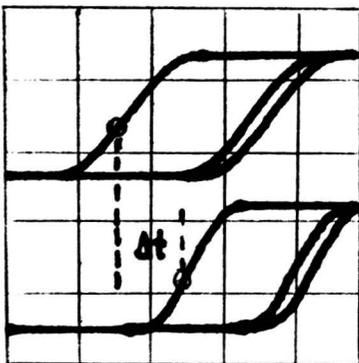


Abb. 3: Signal X, Y (X = 0,2  $\mu$ s/cm; Y = 1 V/cm)

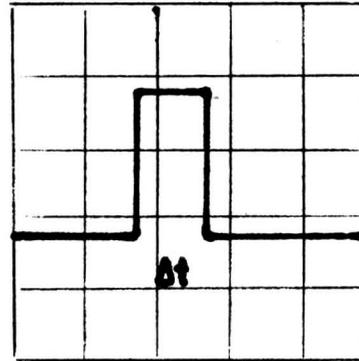


Abb. 4: Signal Z (X = 0,2  $\mu$ s/cm; Y = 1 V/cm)

Die Gatterlaufzeiten im ns-Bereich spielen keine Rolle, da der gesamte Schaltungsaufbau symmetrisch ist und sich die Laufzeiten lediglich in einer Verschiebung des Ausgangssignals relativ zum Eingang ohne Pulsverbreiterung auswirken. Die vom 7413 stammende, durch die Schalthysterese bedingte Verbreiterung liegt bei 5 ns gegenüber einer Meßzeit von 200 ns, ist somit auf dem Schirm nicht merkbar.

Ist die Anlage bei Verdunkelung justiert, ist der Betrieb bei Tageslicht möglich, da das Laserlicht genügend Intensität besitzt. Die Verdunkelung wird lediglich zur Justierung des reflektierten Strahls auf den Fototransistor benötigt.

## 2. Laserpuls-Einfachsensor-Methode

Besitzt man einen modulierbaren Laser, z. B. Halbleiterlaser mit CQX 81 (820 nm) oder C 86022 E (1300 nm), vereinfacht sich der Versuch um wesentliche Teile. Man moduliert den Laser mit einer quartz stabilen Rechteckspannung mit möglichst großem Modulationsgrad und ersetzt damit den mechanischen Unterbrecher. Das Modulationssignal selbst ersetzt das Signal des im Beugungsbild erster Ordnung liegenden Fototransistors, der somit samt Gitter überflüssig wird. Der noch notwendige Sensor wird durch eine im langwelligeren Bereich empfindlichere Pin- oder Lawinendiode (z. B. PD 20 oder GA 1) ausreichender Schnelligkeit und Empfindlichkeit (PD 20 mit 20 ps Anstiegszeit) mit nachfolgender TTL-Anpassung (schneller OP als Komparator geschaltet ersetzt 7413) aufgebaut.

Aus Symmetriegründen kann das Modulationssignal über einen Optokoppler dem XOR zugeführt werden, doch ist der Gangunterschied mit dem Einkanalsensor auch noch unter 10 ns. Die Vereinfachung erkaufte man sich allerdings durch eine erschwerte Justierbarkeit des reflektierten, aber unsichtbaren Strahls, da die modulierbaren Diodenlaser im nahen IR arbeiten. Leicht aufgehoben wird diese Erschwernis durch die hohe Strahlintensität von 10 mW.

## 3. LED-Puls-Einfachsensor-Methode

Eine nochmalige Vereinfachung des optischen Teils bringt die Verwendung von Hochleistungs-Leuchtdioden wie 5082-4658 von HP mit 24 mcd oder HEMT 3300 mit 500  $\mu$ W/sr. Auch sie werden mit einem Rechtecksignal angesteuert. Um eine ausreichende Detektion des reflektierten Signals sicherzustellen, sind als Sender vier Dioden einzusetzen, dem Empfänger muß ein Verstärker nachgeschaltet werden, dessen Laufzeit durch Verzögerungsgatter im anderen Signalzweig ausgeglichen werden muß. Zusätzlich ist bei dieser Methode Dunkelheit auch im Betrieb notwendig.

## Ausblick

Das geschilderte Verfahren müßte grundsätzlich auch in der Lage sein, die Schallgeschwindigkeit zu messen, wenn als Signalgeber mit Bursts angesteuerte Lautsprecher oder Ultraschallwandler verwendet werden. Die Reflexion kann entfallen, ein in entsprechender Distanz montiertes Mikrofon ersetzt den Fototransistor, die X-Verschiebung von Steuer- und Echoburst am Bildschirm ergibt die Schallgeschwindigkeit. Für die XOR-Verknüpfung müssen die Bursts gleichgerichtet und mit Monoflops geformt werden. In dieser Variante könnte die Konstanz der Ausbreitungsgeschwindigkeit bei variabler Frequenz untersucht werden. Vielleicht läßt sich auch eine Version für getackete hochfrequente Schwingungen durchführen?

## Zusammenfassung

Zur Lichtgeschwindigkeitsmessung lassen sich übliche Teile der Lehrmittelsammlung heranziehen. Das Verfahren ist für Schüler durchschaubar und eröffnet Möglichkeiten zur Messung der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schall und Hochfrequenz.

## Kurzfassung

Zur Lichtgeschwindigkeitsmessung wird ein durch eine rotierende Zahnscheibe unterbrochener Laserstrahl durch ein Gitter in zwei Strahlen geteilt, von denen einer über eine Meßstrecke läuft, der andere gleich mit einem Fototransistor empfangen wird. Der Laufzeitunterschied beider Signale wird am Oszilloskop sichtbar gemacht. Je drei Techniken zur Signalerzeugung und Verarbeitung werden geschildert, Möglichkeiten zur Anwendung auf Schallgeschwindigkeitsmessungen angedeutet.

## LITERATUR:

CQX 81, Datenblatt, Telefunken.  
C 86022 E, Datenblatt, RCA.  
Halbleiter für die Optoelektronik 1980, Philips-Valvo.  
Optoelectronics Data Book, Fairchild 1978.  
Optoelectronics Designer's Catalog, Hewlett-Packard 1979.  
Optoelektronik-Halbleiter, Siemens, München 1975.  
TTL-Data-Book, Fairchild 1978.

Prof. Mag. Karl Hagenbuchner, A-4050 Traun, Haidfeldstr. 2.

Karl Hagenbuchner, BG Traun

# Neue Bauteile im Physikunterricht

Die elektronische Bauteilindustrie feiert ihre Erfolge nicht nur am Sektor zunehmender Integrationsdichten bei integrierten Schaltungen, sondern auch passive Bauteile und Hilfsmaterial wird laufend weiterentwickelt. Durch neue Stoffe können auch bisher nur den Theoretiker interessierende Effekte ausnutzbar gemacht werden, bisher gesetzte Grenzwerte von Dimensionierungen werden übersprungen. Dadurch werden auch für den Physikunterricht neue Dimensionen erschlossen, bisher nur in der Theorie erklärbare Effekte können in Demonstrationsexperimenten erläutert werden. Dieser Artikel soll einige Bauteile für Grundsatzexperimente vorstellen, die seit einigen Monaten zu akzeptablen Preisen erhältlich sind.

## „Super-Kondensatoren“

Als große Kapazitätswerte galten lange Zeit Kapazitäten über einigen tausend Mikrofarad, erhältlich in Form großer und teurer, zudem gepolter Aluminiumelektrolytkondensatoren. Mit ihnen konnten bei mit der Kapazität unproportional steigendem Preis Werte bis zu 0,1 F realisiert werden, in Kauf genommen wurde mußte aber bereits ein beachtlicher Leckstrom von etlichen Milliampere, der für Demonstrationsversuche den Kondensator bereits als recht wenig ideales Bauteil erscheinen ließ. Seit jüngster Zeit stellen zwei japanische Konzerne sogenannte „Super-Kondensatoren“ mit Werten zwischen 0,047 und 4,7 F her, deren Spannungsfestigkeit bei den Typen bis 0,1 F 10 V, sonst 5,5 V beträgt. Das Erstaunliche neben den Kapazitätswerten ist die Größe, der 1,0-F-Kondensator von NEC ist eine Scheibe von 4 cm Durchmesser und einer Höhe von 12 mm, selbst der Blockkondensator mit 3,3 F mißt nur 15 × 40 × 45 mm.

Leider schweigen sich beide Hersteller über die angewandte Technologie aus, die Elektrolytbasis der Aluminium- oder Tantal-Elkos scheidet aber aus, da zumindest die NEC-Typen ungepolt sind. Der von den Firmen auch verwendete Name „Gold-Cap“ läßt nur erahnen, daß offenbar extrem dünne Goldfolien für die notwendige Oberfläche sorgen. Selbst sollte den Firmen in der Entwicklung neuer Dielektrika ein sensationeller Durchbruch von bisherigen Werten für  $\epsilon \approx 5000$  um eine Zehnerpotenz gelungen sein, so müßten doch überschlagsweise rund 4000 Doppelschichten mit zwischenliegendem Dielektrikum in rund 1 cm Höhe untergebracht sein, pro Schicht rund 750 nm! Zwar läge diese Foliendicke durchaus im Bereich der literaturbekannten Goldfolien in Stärken von 1/12 500 nm, stimmt die Annahme bezüglich eines neuen Superdielektrikums aber nicht, wären um eine Zehnerpotenz dünnere Folien erforderlich, vieltausendfach geschichtet und kontaktiert, wobei das Dielektrikum Feldern von mehr als 5 MV/m ausgesetzt wäre!

Wie auch immer diese Kondensatoren gebaut sein mögen, die extremen Werte erlauben die bequeme Aufnahme der Lade-/Entladekurven über viele Minuten hinweg mit beliebigen Strom- oder Spannungsmeßgeräten, die Wertepaare können mathematisch analysiert werden die e-Funktion daraus direkt abgeleitet werden. Der Speichereffekt des Kondensators, sonst günstigenfalls als kurzes Aufblitzen eines Lämpchens oder dem Kurzschlußfunken sichtbar, kann durch minutenlangen Betrieb eines Glühlämpchens oder einstündigen Betrieb einer Leuchtdiode eindrucksvoll demonstriert werden, neue Dimensionen der Stromspeicherung, beispielsweise für Solarpaneele, werden eröffnet, da Wandlerysteme für die bisherigen Batterien entfallen.

Leider kann die z. B. im 1-F-Kondensator gespeicherte Energie von 12,5 Ws nicht in einem eindrucksvollen Stromstoß vorgeführt werden, da im Kurzschlußfall eine zwar nicht erklärliche, aber feststellbare Strombegrenzung von einigen Ampere auftritt. Unerklärlich insofern, als beim Aufladen der Kondensator sich absolut ideal verhält und diese Idealität auch beim Entladen bei Lastwiderständen größer 0,5 Ohm beibehält. Sinkt der Lastwiderstand unter diesen Wert, entsteht ein lastabhängiger Innenwiderstand! Am ohmschen Widerstand scheitert auch der Versuch, mit Spulen hoher Induktivität langsamste Schwingungen zu erzeugen, immerhin sind aber die Entladungskurven über rein ohmsche und induktive Widerstände mit ohmscher Komponente gut unterscheidbar und gehorchen den betreffenden Gesetzen.

Wofür sind diese Kondensatoren eigentlich gedacht? Ihr Einsatzfeld ist die Sicherstellung von Computerfunktionen während Stromausfällen, bisheriges Einsatzfeld permanent geladener Ni-Cd-Akkus bzw. Li/SO<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>-Batterien. Gegenüber beiden Systemen ergeben sich Vorteile, da ein Supercapacitor bereits die nötige Betriebsspannung liefert (Ni-Cd-Akku 1,2 V; Li-Batterie 3 V), der Supercap beliebig viele Lade-/Entladezyklen verträgt (Ni-Cd-Akku beschränkt, Li-Batterie gar nicht) und letztlich die Ladezeiten statt Stunden beim Akku hier nur Minuten betragen. Nach Herstellerangaben kann ein Supercap die Pufferung von CMOS-RAMs bis zu einer Woche übernehmen, da dabei die Spannung bis 2 V absinken darf, mehr als ausreichend, um Baueinheiten übers Wochenende ohne Datenverlust vom Netz trennen zu können, ja sogar der Postversand von Informationen in flüchtigen Speichern erscheint möglich. Die Gesamtfunktion eines CMOS-uCOM kann bei einem zulässigen Spannungszusammenbruch auf 4,5 V noch bis zu einer Stunde garantiert werden, so daß praktisch fast alle jemals auftretenden Netzzusammenbrüche übertaucht werden können. Um die Kondensatoren bequemer handhaben zu können, klebten wir sie auf KG-14-Normgehäuse, in deren Inneren wir zwei antiparallele 5V6-Zenerdioden (1 W) als Schutzbeschaltung zusätzlich eingebaut haben, der Anschluß erfolgt über zwei 4-mm-Bananensteckerbuchsen.

## Peltier-Element

Der zwar lange bekannte, wirtschaftlich aber bisher kaum genutzte Peltier-Effekt erlebt derzeit eine kommerzielle Nutzung durch neue Halbleiter-Peltier-Elemente, vielversprechend als Halbleiter-Wärmepumpen angeboten. Abbildung 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau, der Halbleiter ist dotiertes Bismutellurid. Die in zahlreichen Bauformen angebotenen Peltier-Elemente werden hauptsächlich für die Kühlung höchstintegrierter Schaltungen gebaut, dazu werden sie über oder unter den IC gebaut, es gibt sogar schon IC-Sockel mit inte-

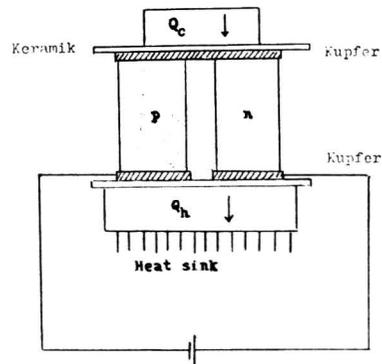


Abb. 1: Aufbau des Halbleiter-Thermoelementes



## Einführung von komplexen und hyperkomplexen Zahlen mittels Matrizen

Seit einigen Jahren ist das Rechnen mit Matrizen in den Lehrstoff der 6. Klasse einiger AHS-Typen aufgenommen worden. Als Begründung wird die Anwendbarkeit des Kalküls in der Wirtschaftsmathematik und damit in einem Gebiet menschlicher Betätigung genannt, dem die meisten Menschen kaum die Möglichkeit zweckmäßigen Gebrauchs abstrakter mathematischer Objekte wie Vektoren und Matrizen zutrauen.

Darüber hinaus stellen Matrizen auch einen beachtlichen Ausgangspunkt beim Einführen komplexer und hyperkomplexer Zahlen dar, den zu nützen durchaus im Oberstufenunterricht empfohlen werden kann, natürlich nur soweit, als davon die komplexen Zahlen betroffen sind.

### Die komplexen Zahlen

Für den verfolgten Zweck genügt die Betrachtung von Matrizen der Bauart

$$(1) \quad M = \begin{pmatrix} a & b \\ -b & a \end{pmatrix}.$$

Wir wollen sie kurz **M-Matrizen** nennen. Ferner mögen Matrizen durch lateinische Großbuchstaben gekennzeichnet werden.

Addition und Multiplikation zweier Matrizen sind den Schülern bereits bekannt, ebenso die Multiplikation von Matrizen mit Zahlen. Die speziellen Matrizen

$$(2) \quad O = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, E = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, I = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}$$

sollen Null-, Eins- bzw. I-Matrizen heißen. O, E sind ja die neutralen Elemente bzgl. der Addition und Multiplikation von Matrizen.

Unmittelbar einzusehen ist, daß Matrizen ganz allgemein bzgl. der Addition die Struktur einer Abelschen Gruppe haben und abgeschlossen sind. Die M-Matrizenmultiplikation ist kommutativ und abgeschlossen,

$$(3) \quad M \cdot N = \begin{pmatrix} a & b \\ -b & a \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} c & d \\ -d & c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} ac - bd & ad + bc \\ -bc - ad & -bd + ac \end{pmatrix} = N \cdot M,$$

weil die simultane Vertauschung von a mit c und von b mit d die Produktmatrix ungeändert läßt und diese wieder eine M-Matrix ist.

Die Assoziativität der Matrizenmultiplikation ist lästiger nachzuweisen, weil drei Matrizen zu multiplizieren sind. Es genügt jedoch die Berechnung von  $(M \cdot N) \cdot P$ , mit

$$P = \begin{pmatrix} e & f \\ -f & e \end{pmatrix}.$$

Nach (3) ergibt sich

$$(M \cdot N) \cdot P = \begin{pmatrix} ac - bd & ad + bc \\ -ad - bc & ac - bd \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} e & f \\ -f & e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v & w \\ -w & v \end{pmatrix},$$

$$(4) \quad v = ace - bde - adf - bcf, \\ w = acf - bdf + ade + bce.$$

Die gleichzeitigen zyklischen Vertauschungen

$$a \rightarrow c \rightarrow e \rightarrow a \\ b \rightarrow d \rightarrow f \rightarrow b$$

ändern weder v noch w, also gilt

$$(N \cdot P) \cdot M = (M \cdot N) \cdot P$$

und wegen der Kommutativität

$$(N \cdot P) \cdot M = M \cdot (N \cdot P).$$

(Wie in ähnlich gelagerten Fällen bei im Unterricht vorangehenden Kapiteln kann der Assoziativitätsnachweis als Hausaufgabe gegeben werden, weil nur sture Multiplikationen von Polynomen auszuführen sind.)

Die Geltung des Distributivitätsgesetzes ist weniger fehleranfällig zu beweisen als das Ass.-Ges.: Einsetzen der Matrixelemente in die Gleichung

$$M \cdot (N + P) = M \cdot N + M \cdot P.$$

Wenn schließlich noch die eindeutige Existenz des zu  $M \neq O$  inversen Elements  $M^{-1}$  bestätigt werden kann, dann steht fest, daß die M-Matrizen eine kommutative multiplikative Gruppe und damit wegen der anderen Eigenschaften einen kommutativen Körper bilden.

Falls der Lehrer die Absicht hat, mittels Matrizen die komplexen Zahlen einzuführen, dann sollte er einige der obigen Überlegungen schon beim Kapitel „Matrizen“ anstellen. Dann reduzieren sich die vor dem Eingehen auf das Komplexe anzustellenden Schlüsse weitgehend auf bloße Stoffwiederholungen. Neu sind höchstens die Nachweise der multiplikativen Assoziativität und der Distributivität.

Bleibt nur noch das inverse Element  $M^{-1}$  zu  $M \neq O$  zu bestimmen. Es soll also genau eine Matrix

$$M^{-1} = \begin{pmatrix} x & y \\ -y & x \end{pmatrix}$$

die Gleichung  $M \cdot M^{-1} = E$  erfüllen, d. h., das Gleichungssystem

$$(5) \quad ax - by = 1 \\ ay + bx = 0$$

ist zu lösen. (5) besitzt stets eine und nur eine Lösung, nämlich

$$L = \left\{ \frac{a}{a^2 + b^2}, \frac{-b}{a^2 + b^2} \right\},$$

da nach Voraussetzung  $a^2 + b^2 \neq 0$ , also  $a = b = 0$  und damit die Nullmatrix ausgeschlossen sind.

Die M-Matrizen sind durchwegs Linearkombinationen von E und I, denn

$$M = a \cdot E + b \cdot I = \begin{pmatrix} a & 0 \\ 0 & a \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & b \\ -b & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ -b & a \end{pmatrix}.$$

Nach diesen Vorbereitungen kann man darangehen, die komplexen Zahlen einzuführen, ohne mehr genötigt zu sein, die algebraische Struktur  $(C, +, \cdot)$  als Zahlkörper auszuweisen.

Beim Rechnen mit den Ausdrücken  $a \cdot E + b \cdot I$  treten die Potenzen von E und I auf. Für die Einsmatrix E gilt wesensgemäß

$$E = E^2 = E^3 = \dots$$

Anders bei I, denn

$$(6) \quad I^2 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} = -E,$$

also

$$(7) \quad I^3 = -I, I^4 = E.$$

Die Teilmenge  $\{a \cdot E\}$ ,  $a \in \mathbb{R}$ , der  $M$ -Matrizen ist zur Menge  $\mathbb{R}$  der reellen Zahlen isomorph, beide Bereiche unterscheiden sich formal nur durch die Bezeichnung. Man darf daher  $E$  durch das Symbol  $1$  ersetzen, daraufhin konsequenterweise auch für  $i$  ein neues Symbol, etwa  $i$ , einführen und dieses – wie das Symbol  $1$  – als **Zahl** ansprechen.

Die Menge

$$C = \{a + bi, a, b \text{ aus } \mathbb{R}\}$$

heißt **Menge C der komplexen Zahlen**, weil sie, da aus den beiden Basiselementen  $1, i$  hervorgehend, komplizierter gebaut ist als die Menge  $\mathbb{R}$  der reellen Zahlen. Der  $M$ -Matrix

$$\begin{pmatrix} a & b \\ -b & a \end{pmatrix}$$

entspricht im Zahlenbild die Zahl  $a + bi$ . Das Produkt

$$(a + bi) \cdot (c + di) = (ac - bd) + i \cdot (ad + bc)$$

entspricht, wie es sein muß, der Produktionsmatrix in Gleichung (3). A posteriori ergibt sich nun für die Schüler die große Überraschung

$$i^2 = -1$$

zusammen mit der Lösbarkeit der Gleichung

$$x^2 + 1 = 0.$$

Damit ist das Problem der Einführung der komplexen Zahlen erledigt. Trotzdem ist dringend anzuraten, nicht auf die anschauliche geometrische Interpretation zu verzichten. Der große Vorteil, beliebig zwischen Zahlen- und Matrizenmodell wechseln zu dürfen, wird hierbei genutzt.

Wie aus der 6. Klasse bekannt, sind die den Matrizen

$$T = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, M = \begin{pmatrix} a & -b \\ b & a \end{pmatrix}, D = \frac{1}{\sqrt{a^2 + b^2}} \cdot \begin{pmatrix} a & -b \\ b & a \end{pmatrix}$$

zugeordneten Koordinatentransformationen

$$x' = 0 + y \quad x' = ax - by \quad x' = (ax - by) / \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$T_1 \dots y' = x + 0 \quad T_M \dots y' = bx + ay \quad T_D \dots y' = (bx + ay) / \sqrt{a^2 + b^2}$$

analytische Beschreibungen folgender Abbildungen:

$T_1$  dreht bzgl.  $0$  als Zentrum um  $90^\circ$  im Uhrzeigersinn;

$T_M$  bedeutet die Drehstreckung bzgl.  $0$  als Zentrum mit dem Drehwinkel  $\alpha$ , ( $\cos \alpha = a/r$ ,  $\sin \alpha = b/r$ ,  $r = \sqrt{a^2 + b^2}$ ) und dem Streckungsfaktor  $r$ ;

$T_D$  bedeutet die reine Drehung bzgl.  $0$  als Zentrum um den Winkel  $\alpha$ .

Komplexe Zahlen lassen sich somit auf drei verschiedene Arten interpretieren:

- $a + bi$  bezeichnet den **Punkt**  $P(a, b)$ ;
- $a + bi$  bezeichnet die **Schiebung**  $\vec{s} = (a + bi)$ , welche den Punkt  $X(x, y)$  in den Punkt  $X'(x + a, y + b)$  überführt; der **Schiebung** entspricht die **Addition**;
- $a + bi$  bedeutet die **Drehstreckung** bgl.  $0$  um den Winkel  $\alpha$  und dem Streckungsfaktor  $r$ , die den Punkt  $E_x(1, 0)$  in den Punkt  $P'(a, b)$  überführt; der **Drehstreckung** entspricht die **Multiplikation**.

Die **reine Drehung**  $T_1$  bringt den Einheitspunkt  $E_x(1, 0)$  der  $X$ -Achse in den Einheitspunkt  $E_y(0, 1)$  der  $Y$ -Achse. Daher führt  $T_1 \cdot T_1 = i^2$  den Punkt  $E_x$  in den Punkt  $E_{-x}(-1, 0) = -1$  über. Eine schöne geometrische Deutung der Lösbarkeit der Gleichung  $x^2 = -1$  in  $\mathbb{C}$ !

## Die Quaternionen

Hamilton führte im vergangenen Jahrhundert mit den **Quaternionen** das erste System **hyperkomplexer Zahlen** (**hkZ**) ein. Die an sie geknüpften hochgespannten Erwartungen – es entstand sogar ein Weltbund zur Förderung der Quaternionenerforschung und -anwendung – wurden nur in bescheidenem Maße erfüllt. Dennoch gibt es einige „praktische“ Anwendungen in der Geometrie und in der Mechanik. So lassen

sich Schraubungen, d. s. die allgemeinsten Bewegungen starrer Körper, mit Hilfe der Quaternionen beschreiben.

Bevor wir uns mit dem neuen Rechenbereich näher befassen, einige Bemerkungen über **hkZ**. Es ist ganz einfach, aus einer beliebigen Gruppe ein **hk-System** herzuleiten. Seien

$$E = A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$$

die  $n$  Elemente einer endlichen Gruppe, gleich, ob sie abelsch oder nichtkommutativ ist.  $E$  bezeichne das neutrale Element bzgl. der in der Gruppe geltenden Verknüpfung, die wir – wie üblich – Multiplikation nennen. Seien ferner  $a_1, a_2, \dots, a_n$  beliebige Elemente eines kommutativen Zahlkörpers  $\mathbb{K}$ , im gegenständlichen Falle der Quaternionen des Körpers  $\mathbb{R}$  der reellen Zahlen. Aus den beiden Objektarten  $A_i, a_i$  werden nun rein formal die **Linearkombinationen**

$$Z = a_1 \cdot E + a_2 \cdot A_2 + \dots + a_n \cdot A_n$$

gebildet und deren Gesamtheit als **Menge L** bezeichnet. Dazu werden zwei Rechenvorschriften, **Addition** und **Multiplikation** genannt, folgendermaßen definiert.

Die **Addition** erfolgt ebenso, als wären die  $A_i$  Basisvektoren. Die so eingeführte algebraische Struktur ist daher eine additive abelsche Gruppe.

Die **Multiplikation** zweier Summanden  $Z, Z'$  erfolgt in gleicher Weise, als wenn es sich um Linearformen der Unbestimmten  $A_i$  handelte, also in Einklang mit dem Distributivgesetz. Allerdings ist auf die Reihenfolge der Faktoren  $A_i$  zu achten, wenn die Gruppe nichtkommutativ ist! Die im Produkt auftretenden Glieder  $a_i a_j A_i A_j$  reduzieren sich nach Befragen der Gruppentafel auf einen Summanden der Form  $a_i a_j A_k$ , falls  $A_i A_j = A_k$  gilt.

Die so gebildete algebraische Struktur  $(L, +, \cdot)$  ist ein **Ring**, aber i. a. kein Körper, weil wohl zu jedem  $A_i$  ein inverses Element  $A_i^{-1}$  in der Gruppe existiert, dasselbe jedoch für die Linearkombinationen der Gruppenelemente gewöhnlich nicht zutrifft.

Zur Illustration werde die zyklische Gruppe  $G = (E, A, A^2, A^3)$  zugrundegelegt und das Produkt der beiden Linearformen

$$Z = 2E - A + 3A^3, Z' = 4A + A^2$$

gebildet.

$$\begin{aligned} Z \cdot Z' &= (2E - A + 3A^3)(4A + A^2) = \\ &= 8A - 4A^2 + 12E + 2A^2 - A^3 + 3A = \\ &= 12E + 11A - 2A^2 - A^3. \end{aligned}$$

Das Ergebnis ist wieder eine Linearform der Menge  $L$ .

Vorläufig wurde das Wort „Zahl“ möglichst vermieden und lieber von Elementen, Gliedern, Summanden gesprochen. Bedenkt man jedoch, daß die Teilmenge  $\{aE\}$  mit  $a$  aus  $\mathbb{K}$  isomorph zum Körper  $\mathbb{K}$  ist, dann wird es nur zu einer Sache der Bezeichnung, wenn man das neutrale Element  $E$  der Gruppe in den Linearkombinationen durch das Einselement  $e$  des Körpers  $\mathbb{K}$  für die formale Darstellung verwendet. Damit ist der Name „Zahl“ für jedes Element der erwähnten Teilmenge erlaubt und gerechtfertigt. Konsequenterweise muß man dann wohl auch die übrigen Linearformen als Zahlen, und zwar als **hyperkomplexe Zahlen** ansprechen. Formal kommt dies dadurch zum Ausdruck, daß man  $E$  durch  $e$  (für  $\mathbb{K} = \mathbb{R}$  durch  $1$ ) und die  $A_i$  durch  $e_i$  ersetzt. Die  $e_i$  sind die Basiszahlen des **hk-Systems**. Doch nun zu den Quaternionen.

Das Rechnen mit Matrizen ist eine durchaus natürliche, gut veranschaulichbare Operation, läßt sie sich doch als aktive oder passive Koordinatentransformation, also als Abbildung, deuten. Unter den vierreihigen quadratischen Matrizen gibt es vier mit interessanten Eigenschaften, nämlich

$$E = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, I = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix},$$

$$J = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, K = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Die Einmatrix  $E$  spielt jetzt dieselbe Rolle wie die zweireihige Matrix  $E$  bei der Einführung der komplexen Zahlen.

Bei  $I, J, K$  überzeugt man sich leicht davon, daß ihre Quadrate  $-E$  ergeben.

$$(9) \quad I^2 = J^2 = K^2 = -E.$$

Hinsichtlich dieser Eigenschaft besteht volle Analogie mit der zweireihigen Matrix  $I$  im Rahmen der  $M$ -Matrizen. Ein Blick auf die Zahlen in den Matrizen  $I, J, K$  lehrt jedoch, daß sie trotz (9) paarweise verschieden sind. Die Produkte mehrerer Linearformen

$$q = a_1 E + a_2 I + a_3 J + a_4 K, \quad q' = a_1' E + a_2' I + a_3' J + a_4' K,$$

in denen die Koeffizienten beliebige reelle Zahlen sein dürfen, sind wegen (9) wieder Linearformen aus der Menge  $L$ .  $M.a.W.$ , die Menge  $L$  ist gegenüber der Multiplikation abgeschlossen. Daß dies auch bezüglich der Addition zutrifft, bedarf nach der Vorbemerkung keiner Begründung mehr.

Nun werde der Schritt von den Matrizen  $E, I, J, K$  zu den Zahlen  $1, i, j, k$  getan. Dadurch entsteht ein  $hk$ -System  $Q$ , das sogenannte System der **Quaternionen**. Die Multiplikation ist, wie wir schon wissen, unbeschränkt ausführbar und assoziativ (den simplen, aber mühsamen Nachweis überlassen wir den Zweifelnden), da außerdem beide Verknüpfungen distributiv verbunden sind, bilden die Quaternionen einen Ring, ob auch einen Körper, bleibt noch zu prüfen.

Der erste Unterschied von  $Q$  gegenüber dem Körper  $C$  der komplexen Zahlen äußert sich in der Nichtvertauschbarkeit der Faktoren. Man überzeugt sich nämlich leicht von den folgenden Multiplikationsregel:

$$(10) \quad i \cdot j = k, \quad j \cdot k = i, \quad k \cdot i = j,$$

$$(10') \quad j \cdot i = -k, \quad k \cdot j = -i, \quad i \cdot k = -j,$$

indem man die beiden Verknüpfungen auf die Matrizen  $I, J, K$  ausübt, was wegen des Isomorphismus zwischen  $L$  und  $Q$  erlaubt ist.

Die algebraische Struktur  $(Q, +, \cdot)$  ist nunmehr als nicht-kommutativer Ring ausgewiesen. Gäbe es zu jeder von Null verschiedenen Quaternion  $q$  eine inverse Quaternion  $q^{-1}$  (natürlich bezüglich der Multiplikation), dann wäre  $Q$  ein nicht-kommutativer Körper (= Schiefkörper). Zwei Quaternionen  $q, \bar{q}$  heißen **konjugiert**, wenn sie die Form

$$q = a + bi + cj + dk, \quad \bar{q} = a - bi - cj - dk$$

haben. Ihr Produkt lautet

$$q \cdot \bar{q} = a^2 + abi + acj + adk - abi + b^2 - bcji - bdki - acj - bcij + c^2 - cdkj - adk - bdik - cdjk + d^2.$$

Nach den Gleichungen (10') fallen alle nicht reellen Summanden weg. Daher ist

$$(11) \quad q \cdot \bar{q} = a^2 + b^2 + c^2 + d^2$$

stets nichtnegativ-reell, und zwar die Summe der Quadrate der vier Koeffizienten.

$q \cdot \bar{q} = N(q) = N(\bar{q})$  heißt **Norm von  $q$** , ebenso Norm von  $\bar{q}$ . Der **Betrag**  $|q|$  von  $q$  ist die Quadratwurzel aus der Norm von  $q$

$$|q| = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2 + d^2} = \sqrt{N(q)}.$$

Ist nun  $q$  irgendeine von Null verschiedene Quaternion, dann folgt aus (11), daß die Quaternion  $q^{-1} = \bar{q}/N(q)$  zu  $q$  invers ist, denn

$$q \cdot q^{-1} = q^{-1} \cdot q = q \cdot \bar{q}/N(q) = N(q)/N(q) = 1.$$

**Ergebnis: Die Quaternionen bilden bezüglich der Addition und der Multiplikation einen nichtkommutativen Körper.**

Die Erweiterung von  $C$  zu  $Q$  ist mit der Einbuße altgewohnter Rechengesetze verbunden. Der Verlust der Vertauschbarkeit von Faktoren wurde bereits festgestellt. Ein weiteres schmerzliches Opfer der Erweiterung ist das Außerkräfttreten des

Hauptsatzes der Algebra. Als Beispiel: Die Gleichung zweiten Grades

$$x^2 = -1$$

hat in  $Q$  nicht nur die sechs Lösungen  $\pm i, \pm j, \pm k$ , sondern noch überabzählbar unendlich viele andere. Es sind dies die Quaternionen

$$q = \pm (b \cdot i + c \cdot j + d \cdot k) / \sqrt{b^2 + c^2 + d^2}$$

mit beliebigen Werten von  $b, c, d$  aus  $R$ , ausgenommen  $b = c = d = 0$ . Zum Beweis quadrieren wir zunächst den Zähler des Bruchterms für  $q$  und erhalten

$$\begin{aligned} (b \cdot i + c \cdot j + d \cdot k)^2 &= \\ &= -b^2 - c^2 - d^2 + bc \cdot ji + bd \cdot ki + bc \cdot ij + cd \cdot kj + bd \cdot ik + cd \cdot jk = \\ &= -b^2 - c^2 - d^2. \end{aligned}$$

Nach (10') heben einander Glieder wie  $bc \cdot ji$  und  $bc \cdot ij$  gegenseitig auf, so daß die negativen Quadrate von  $b, c, d$  übrigbleiben. Daraus folgt weiter

$$q^2 = (-b^2 - c^2 - d^2) / (b^2 + c^2 + d^2) = -1, \quad \text{w.z.b.w.}$$

In der wechselseitigen Zuordnung der Elemente von  $L$  und  $Q$ , also von Matrizen und  $hk$ -Zahlen entsprechen einander

$$a + bi + cj + dk \leftrightarrow \begin{pmatrix} a & -b & c & d \\ b & a & d & -c \\ -c & -d & a & -b \\ -d & c & b & a \end{pmatrix}$$

Was die eingangs erwähnte Interpretation der Quaternionen als Verschraubungen betrifft, so sei nur ganz flüchtig bemerkt, daß der Realteil  $a$  von  $q$  mit der Translation, der übrige Teil mit der Drehung in Zusammenhang stehen. Die Translationsrichtung bei Verschraubungen fällt stets in die Richtung der Drehachse.

### Die Oktaven

Außer  $R, C, Q$  existiert nur noch ein (bis aus Isomorphien) einziges  $hk$ -System  $O$ , in dem die Norm einer Zahl definiert und die Division (außer der durch Null) stets eindeutig ausgeführt werden kann. Das hat Hurwitz im Jahre 1898 bewiesen. Es handelt sich um das System der **Oktaven**, das neben der Zahl 1 noch sieben nicht reelle Basiszahlen  $i_1, i_2, \dots, i_7$  besitzt. Die Zahlen des Systems sind die achtgliedrigen Linearformen

$$a_0 + a_1 \cdot i_1 + a_2 \cdot i_2 + \dots + a_7 \cdot i_7.$$

Die Koeffizienten  $a_i$  sind beliebige reelle Zahlen. Für sämtliche Einheiten  $i_i$  gilt

$$(12) \quad i_i^2 = -1.$$

Wir wollen es mit diesen skizzenhaften Andeutungen bewenden lassen, denn es wäre nötig, neben den 7 Gleichungen (12) noch die 42 anderen von den 49 möglichen Produkten  $i_i \cdot i_k$  als Linearformen der  $i_s$  darzustellen und die zugeordneten Matrizen einzuführen.

Zu bemerken wäre lediglich noch, daß die Oktaven nicht einmal mehr das Assoziativgesetz erfüllen! Es gilt nur in der abgeschwächten Form als **Alternativgesetz**. Das ist eine Art der Assoziativität, bei der von den drei beteiligten Zahlen zwei einander gleich sein müssen. Formelmäßig sieht das so aus:

$$\begin{aligned} (z \cdot w) \cdot w &= z \cdot (w \cdot w), \\ z \cdot (z \cdot w) &= (z \cdot z) \cdot w. \end{aligned}$$

In den Rahmen dieses Artikels würden noch die **Clifford-schen Zahlen** fallen. Ihre Besprechung wird gesondert erfolgen, weil sie physikalisch von fundamentaler Bedeutung sind.

Walter Kranzer

# Binomialkoeffizienten und Partitionen

## I. Das Pascalsche Dreieck

Die Anordnung der Binomialkoeffizienten in Form des Pascalschen Dreieckes ist sehr zweckmäßig, weil damit eine Reihe interessanter Gesetzmäßigkeiten dieser wichtigen Zahlenmenge übersichtlich veranschaulicht werden kann.

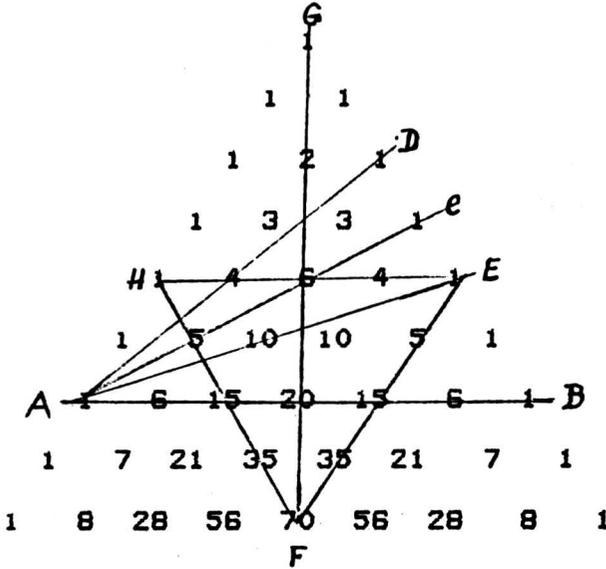


Abb. 1

Dem Dreieck wird am besten eine gleichschenkelige Form gegeben. Dadurch ist es möglich, das ganze Zahlenschema mit Scharen paralleler Geraden zu überziehen, so daß jede Schar alle Zahlen erfaßt. Dazu sind einige Definitionen zweckmäßig: Alle Zahlen, die auf einer Waagrechten liegen, sollen eine Basislinie bilden, z. B.: AB und HE in Abb. 1. Eine solche enthält alle Binomialkoeffizienten  $\binom{n}{k}$  für  $n = \text{const}$ .

Alle Zahlen, die auf einer zu den Schenkeln des Pascalschen Dreiecks parallelen Geraden liegen, sollen Seitenparallelen genannt werden, z. B.: FH und FE. Eine solche wird gebildet von den Binomialkoeffizienten  $\binom{n}{k}$  mit  $k = \text{const}$ . Schließlich gibt es noch Transversalen. Alle Zahlen, die von einer Linie erfaßt werden, entlang der  $n$  um eins zunimmt während  $k$  um eins abnimmt, sollen eine Haupttransversale darstellen. In Abb. 1 beispielsweise AC mit

$$\left\langle \binom{6}{0}, \binom{5}{1}, \binom{4}{2}, \binom{3}{3} \right\rangle.$$

Steiler ansteigende Transversalen z. B. AD sollen obere und schwächer ansteigende z. B. AE sollen untere Transversalen genannt werden.

Alle genannten Geradenscharen gehen durch Spiegelung an der Symmetrale wegen  $\binom{n}{k} = \binom{n}{n-k}$  in Scharen von Linien mit identischen Zahlenfolgen über.

Sätze über das Pascalsche Dreieck.

1. Die bekannteste und wichtigste Beziehung zwischen Binomialkoeffizienten lautet:

$$\binom{n}{k} + \binom{n}{k+1} = \binom{n+1}{k+1}.$$

Sie ergibt sich aus der Definition

$$\binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!}$$

Diese Formel erlaubt die rekursive Erzeugung des Pascalschen Dreieckes und dient zur Ableitung vieler Beziehungen zwischen den Binomialkoeffizienten.

2. Die Summe der auf einer Basislinie liegenden Zahlen ist eine Zweierpotenz:

$$\sum_{k=0}^n \binom{n}{k} = 2^n$$

Diesen Satz erhält man unmittelbar, wenn man  $(1+1)^n$  nach dem Binomischen Lehrsatz entwickelt.

3. Die Summe der alternierenden Folge einer Basislinie ergibt stets Null:

$$\sum_{k=0}^n (-1)^k \binom{n}{k} = 0.$$

Dies folgt aus der Entwicklung von  $(1-1)^n$  nach dem Binomischen Lehrsatz.

4. Für die Summe der Quadrate der Zahlen einer Basislinie gilt folgende Formel:

$$\sum_{k=0}^n \binom{n}{k}^2 = \binom{2n}{n}.$$

Zum Beweis zunächst ein Hilfssatz.

Es sei eine Folge von  $n+1$  Zahlen gegeben:

$$\langle a_0, a_1, a_2, \dots, a_n \rangle.$$

Nun soll daraus eine neue Folge gebildet werden, deren Glieder die Summe zweier benachbarter Glieder der vorhergehenden Folge sind. Die so entstehende Folge hat nun  $n$  Glieder:

$$\langle a'_0, a'_1, a'_2, \dots, a'_{n-1} \rangle$$

Mit dieser Folge soll dasselbe gemacht werden wie mit der vorhergehenden und dieses Verfahren so lange fortgesetzt werden, bis man zu einer Folge mit nur einem Glied gelangt. Dieses Glied hat den Wert:

$$\binom{n}{0} a_0 + \binom{n}{1} a_1 + \binom{n}{2} a_2 + \dots + \binom{n}{n-1} a_{n-1} + \binom{n}{n} a_n,$$

wie man durch vollständige Induktion leicht nachweist.

Mit diesem Hilfssatz kann nun obige Formel bewiesen werden: Man nehme an, die Folge  $\langle a_0, a_1, \dots, a_n \rangle$  sei die Folge der Binomialkoeffizienten einer Basislinie:

$$\left\langle \binom{n}{0}, \binom{n}{1}, \dots, \binom{n}{n} \right\rangle.$$

Verfährt man mit dieser Folge nach der angegebenen Art, dann erhält man eine Teilfolge aus den nächsten Basisparallelen, bis man nach Schritten zu einer einzigen Zahl gelangt. (Für  $n=4$  ist dies der untere Eckpunkt F im Parallelogramm EGHF.)

Allgemein ergibt sich die angegebene Formel, w·z·b·w.

5. Für die Summe der Zahlen einer Seitenparallelen gilt:

$$\binom{n}{0} + \binom{n+1}{1} + \binom{n+2}{2} + \dots + \binom{n+1}{1} = \sum_{i=0}^{n+1} \binom{n+1}{i} = \binom{n+1+1}{1}$$

Zum Beweis verwende man wiederholt Satz 1:

Man hat

$$\binom{n+1+1}{1} = \binom{n+1}{1} + \binom{n+1}{1-1} = \binom{n+1}{1} + \binom{n+1-1}{1-1} + \binom{n+1-2}{1-2}$$

usw.

Setzt man dieses Verfahren fort bis man zu  $\binom{n}{0}$  gelangt, hat man den Satz bewiesen.

6. Satz über die Summe der Binomialkoeffizienten auf einer Haupttransversalen.

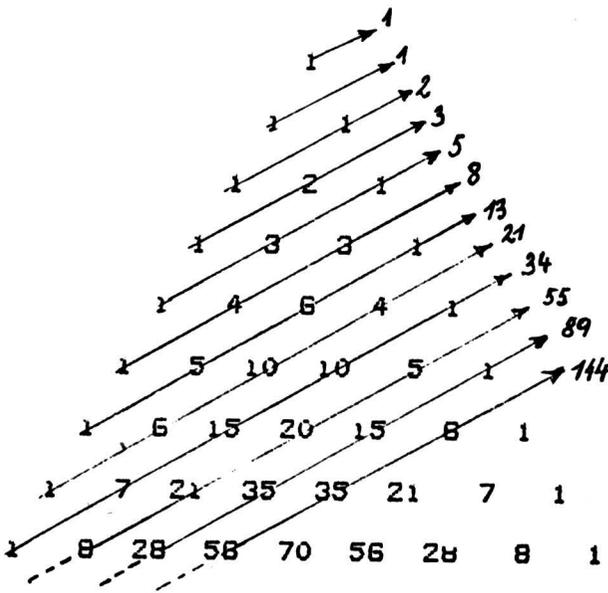


Abb. 2

In Abb. 2 sind an den Pfeilspitzen der Haupttransversalen die Summen der darauf liegenden Binomialkoeffizienten angeschrieben. Es gilt der Satz: Die Summen der Zahlen der Haupttransversalen bilden die Folge der Fibonacci'schen Zahlen. [1], [2].

(Fibonacci'sche Zahlen sind Zahlenfolgen  $\{a_n\}$ , die nach dem rekursiven Bildungsgesetz  $a_n = a_{n-1} + a_{n-2}$  entstehen.  $a_1$  und  $a_2$  sind feste Zahlen. In diesem Fall ist  $a_1 = a_2 = 1$ ).

**Beweis:** Es seien die Summen für drei Haupttransversalen gegeben:

$$a_n = \binom{n}{0} + \binom{n-1}{1} + \binom{n-2}{2} + \binom{n-3}{3} + \dots$$

$$a_{n-1} = \binom{n-1}{0} + \binom{n-2}{1} + \binom{n-3}{2} + \binom{n-4}{3} + \dots$$

$$a_{n-2} = \binom{n-2}{0} + \binom{n-3}{1} + \binom{n-4}{2} + \dots$$

Es gilt

$$\binom{n}{0} = \binom{n-1}{0}, \quad \binom{n-2}{0} + \binom{n-2}{1} = \binom{n-1}{1},$$

$$\binom{n-3}{1} + \binom{n-3}{2} = \binom{n-2}{2} \text{ usw.}$$

Durch Anwendung auf die drei Zeilen findet man:

$$a_n = a_{n-1} + a_{n-2}$$

das rekursive Bildungsgesetz für die Fibonacci'schen Zahlen. Die Fibonacci'schen Zahlen können auch als Funktion ihres Index nach der „Binetschen Formel“ ermittelt werden:

$$a_n = \left( \left( \frac{1+\sqrt{5}}{2} \right)^n - \left( \frac{1-\sqrt{5}}{2} \right)^n \right) / \sqrt{5},$$

wie in [2] ausführlich gezeigt wird.

7. Nun betrachte man die Summen der Zahlen auf der oberen Transversalen:

$$\binom{n}{0} + \binom{n-2}{1} + \binom{n-4}{2} + \binom{n-6}{3} + \dots$$

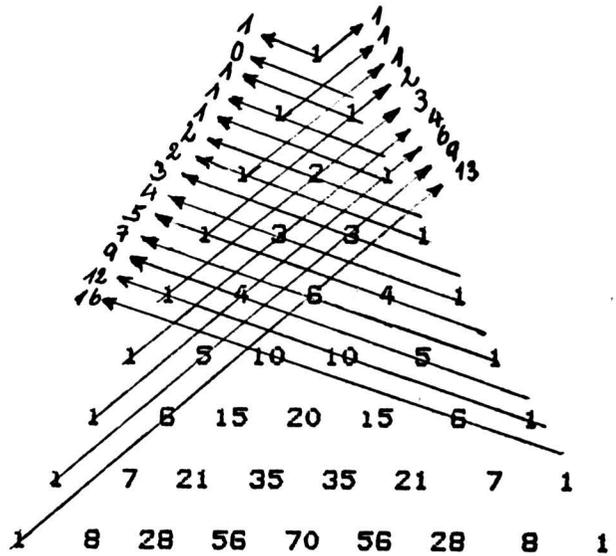


Abb. 3

Die Summen der auf diesen Transversalen (Abb. 3 rechts an den Pfeilspitzen) liegenden Zahlen: 1, 1, 1, 2, 3, 4, 6, 9, 13, 19, 28, ... entstehen durch das rekursive Bildungsgesetz  $a_n = a_{n-2} + a_{n-3} + a_{n-4}$  für  $n > 4$ ,  $a_1 = a_2 = a_3 = 1$  und  $a_4 = 2$ .

**Beweis:** Für ein beliebiges  $n > 4$  sei

$$a_n = \binom{n}{0} + \binom{n-2}{1} + \binom{n-4}{2} + \binom{n-6}{3} + \dots$$

$$a_{n-2} = \binom{n-2}{0} + \binom{n-4}{1} + \binom{n-6}{2} + \binom{n-8}{3} + \dots$$

$$a_{n-3} = \binom{n-3}{0} + \binom{n-5}{1} + \binom{n-7}{2} + \dots$$

$$a_{n-4} = \binom{n-4}{0} + \binom{n-6}{1} + \binom{n-8}{2} + \dots$$

Es gilt  $\binom{n}{0} = \binom{n-2}{0}$ . Wegen Satz 1 hat man:

$$\binom{n-4}{0} + \binom{n-4}{1} + \binom{n-3}{0} = \binom{n-2}{1}$$

$$\binom{n-6}{1} + \binom{n-6}{2} + \binom{n-5}{1} = \binom{n-4}{2}$$

$$\binom{n-8}{2} + \binom{n-8}{3} + \binom{n-7}{2} = \binom{n-6}{3} \text{ usw.,}$$

woraus sich das Bildungsgesetz ergibt.

8. Summen der Binomialkoeffizienten die auf der unteren Transversalen (siehe Abb. 3 links bei den Pfeilspitzen) entstehen nach dem rekursiven Bildungsgesetz:  $a_n = a_{n-2} + a_{n-3}$  für  $n > 3$ .

**Beweis:** Wie aus Abb. 3 zu ersehen ist, gibt es drei Möglichkeiten

a)  $a_n = \binom{n}{0} + \binom{n+1}{3} + \binom{n+2}{6} + \binom{n+3}{9} + \dots$

$a_{n-2} = \binom{n}{2} + \binom{n+1}{5} + \binom{n+2}{8} + \dots$

$a_{n-3} = \binom{n-1}{0} + \binom{n}{3} + \binom{n+1}{6} + \binom{n+2}{8} + \dots$

Wegen 1. hat man:

$$\binom{n}{2} + \binom{n}{3} = \binom{n+1}{3}, \quad \binom{n+1}{5} + \binom{n+1}{6} = \binom{n+2}{6},$$

$$\binom{n+2}{9} + \binom{n+2}{8} = \binom{n+3}{9} \text{ usw.}$$

$$b) \quad a_n = \binom{n}{1} + \binom{n+1}{4} + \binom{n+2}{7} + \dots$$

$$a_{n-2} = \binom{n-1}{0} + \binom{n}{3} + \binom{n+1}{5} + \dots$$

$$a_{n-3} = \binom{n-1}{1} + \binom{n}{4} + \binom{n+1}{7} + \dots$$

$$c) \quad a_n = \binom{n}{2} + \binom{n+1}{5} + \binom{n+2}{8} + \dots$$

$$a_{n-2} = \binom{n-1}{1} + \binom{n}{4} + \binom{n+1}{7} + \dots$$

$$a_{n-3} = \binom{n-1}{2} + \binom{n}{5} + \binom{n+1}{8} + \dots$$

Auch für die Fälle b) und c) gilt wegen Satz 1 die Rekursionsformel  $a_n = a_{n-2} + a_{n-3} \cdot (n)3$ ,  $a_1 = 1$ ,  $a_2 = 0$ ,  $a_3 = 1$ .

### 9. Ein kombinatorisches Problem

Auf der Peripherie eines Kreises werden  $n$  Punkte angenommen und jeder Punkt mit jedem durch eine Gerade verbunden. Wie groß ist die Maximalanzahl der Flächen, in die die Kreisfläche dadurch geteilt wird:

Dazu benötigt man zwei Formeln über das  $n$ -Eck:

a) die Maximalanzahl der Diagonalschnittpunkte erhält man, wenn nicht mehr als zwei Diagonalen sich in einem Punkt schneiden. Sie beträgt  $n_1 = \binom{n}{4}$ .

Je 4 Punkte des Vieleckes ergeben nämlich einen Diagonalschnittpunkt. Daher ist  $n_1$  die Anzahl der Kombinationen von  $n$  Elementen zur 4ten Klasse.

Diese Formel gilt auch für  $1 \leq n < 4$ . In diesen Fällen ist  $\binom{n}{4} = 0$ .

b) die Anzahl der Diagonalen eines  $n$ -Eckes beträgt  $n_2 = n(n-3)/2$ . Zunächst soll die Maximalanzahl der Flächen bestimmt werden, in die das  $n$ -Eck durch seine Diagonalen zerlegt wird. Dazu kann folgende Überlegung dienen: Nimmt man eine Diagonale aus dem Vieleck weg, vermindert sich die Anzahl der Flächen um die Zahl der Schnittpunkte, die auf der weggenommenen Diagonale liegen plus 1 (Abb. 4).

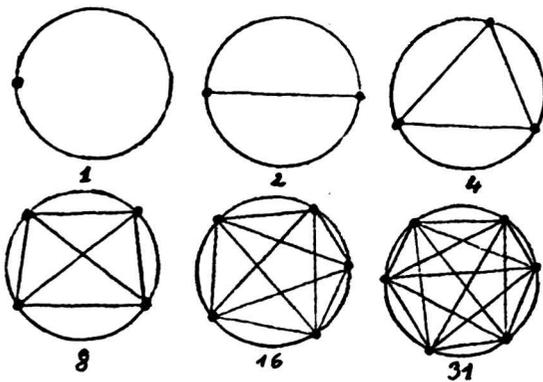


Abb. 4

Daher werden die Flächen am besten so gezählt, daß man alle Diagonalen der Reihe nach entfernt und die jeweiligen Verminderungen der Flächenzahlen summiert. Die Gesamtanzahl der Teilflächen des  $n$ -Eckes ergibt sich somit als Anzahl aller Diagonalschnittpunkte vermehrt um die Anzahl aller Diagonalen plus 1:  $N = n_1 + n_2 + 1$ . Eins muß deswegen noch addiert werden, weil nach Entfernung aller Diagonalen noch eine Fläche, nämlich die  $n$ -Eckfläche, übrig bleibt. Für die Maximalanzahl der Flächen, in die das  $n$ -Eck mit all seinen Diagonalen

den Kreis zerteilt, müssen noch  $n$  Kreissegmente berücksichtigt werden. Dadurch erhält man

$$N = \binom{n}{4} + \frac{n(n-3)}{2} + n + 1$$

$$\text{oder } N = \binom{n}{4} + \binom{n-1}{2} + n.$$

Wie sich leicht zeigen läßt, kann man die Formel auch so schreiben:

$$N = \binom{n-1}{0} + \binom{n-1}{1} + \binom{n-1}{2} + \binom{n-1}{3} + \binom{n-1}{4}.$$

Die mittleren Glieder sind gleich und nach 1. hat man

$$\binom{n-1}{0} + \binom{n-1}{1} = n \text{ und } \binom{n-1}{3} + \binom{n-1}{4} = \binom{n}{4},$$

woraus die Gleichheit der beiden Ausdrücke folgt. Dies ist die Summe der ersten 5 Glieder der  $n-1$ -ten Basislinie im Pascalschen Dreieck.

Da dieser Satz auch für  $1 \leq n \leq 4$  gilt, klärt sich mit Hilfe von 2. auch der seltsame Sachverhalt auf, daß die ersten 5 Glieder der Folge der Maximalanzahl der Teilflächen des Kreises (Abb. 4) die geometrische Folge 1, 2, 4, 8, 16 bilden.

Bei oberflächlicher Betrachtung könnte daraus leicht ein falscher Schluß gezogen werden. [3].

## II. Partitionen

Unter einer Partition einer natürlichen Zahl ist die Zerlegung dieser Zahl in eine Summe einer Anzahl von Summanden unter Berücksichtigung der Reihenfolge zu verstehen, wobei die Summanden nur ganz bestimmte natürliche Zahlen (Grundsummanden) sein dürfen. Im folgenden sollen nur zwei verschiedene Grundsummanden zugelassen werden.

Die Anzahl der Partitionen der natürlichen Zahl  $n$  bei gegebenen Grundsummanden  $a$  und  $b$  sei  $P(n; a, b)$ .

Zur Verdeutlichung sei ein einfaches Beispiel angeführt: Gegeben sei ein 5 Meter langes Seil. Auf wieviel Arten kann dieses in Stücke von 1 m und 2 m unterteilt werden?

Lösung: 11111, 2111, 1211, 1121, 1112, 221, 212, 122. (Das Pluszeichen wurde weggelassen)

Die Partitionen enthalten hier 5 bis 3 Summanden, aber nur die zwei Grundsummanden 1 und 2.

Also ist  $P(5; 1, 2) = 8$

Man könnte diese Aufgabe auch so formulieren: Wieviel Zahlen mit den Ziffern 1 und 2 mit der Ziffersumme 5 gibt es?

1. Die Folge der Anzahl der Partitionen  $\langle P(n; 1, 2) \rangle$ .

Um das Bildungsgesetz dieser Folge zu finden, betrachte man zunächst noch ein spezielles Beispiel.

Es sollen alle Partitionen von 6 mit den Grundsummanden 1 und 2 aufgestellt werden.

Diese Partitionen lassen sich in 4 Gruppen zusammenfassen:

1 1 1 1 1 1	2 1 1 1 1	2 2 1 1	2 2 2
	1 2 1 1 1	2 1 2 1	
	1 1 2 1 1	2 1 1 2	
	1 1 1 2 1	1 2 2 1	
	1 1 1 1 2	1 2 1 2	
		1 1 2 2	

Es fällt auf, daß von Gruppe zu Gruppe die Anzahl der Zweier um eins zunimmt. Die Anzahl aller Möglichkeiten ergibt sich daher als Summe einer Anzahl von Kombinationen:

$$\binom{6}{0} + \binom{5}{1} + \binom{4}{2} + \binom{3}{3}$$

Dieses Ergebnis läßt sich leicht verallgemeinern.

Die erste Partition einer beliebigen natürlichen Zahl  $n$  besteht aus  $n$  Einsern. Dann folgt eine Gruppe mit  $n-1$  Einsern und ein Zweier usw. Die Anzahl aller Möglichkeiten, also die Anzahl der Partitionen ist dann

$$P(n; 1, 2) = \binom{n}{0} + \binom{n-1}{1} + \binom{n-2}{2} + \dots + \binom{n-k}{k}$$

Die Folge wird solange fortgesetzt, als  $k \leq n-k$  bzw.  $k \leq n/2$  ist.

Diese Folge ist aber die unter 1. 6. behandelte Folge der Summen der Zahlen auf der Haupttransversalen des Pascalschen Dreiecks.  $\langle P(n; 1, 2) \rangle$  ist also die Folge der Fibonacci'schen Zahlen.

(Die Erstellung eines Computerprogrammes, mit Hilfe dessen man alle Partitionen einer beliebigen natürlichen Zahl berechnen kann, ist mit den älteren Programmiersprachen sehr umständlich.)

In der modernen Sprache Pascal hingegen läßt sich dieses Problem auf höchst elegante Weise lösen. Diese Sprache bietet nämlich die Möglichkeit der Rekursion, eine Methode, die diesem Problem besonders angepaßt erscheint.) [4].

## 2. Die Folge der Anzahl der Partitionen $\langle P(n; 1, 3) \rangle$ .

Es soll nun die Folge der Anzahl aller Partitionen einer natürlichen Zahl  $n$  mit den Grundsummanden 1 und 3 gefunden werden. Als erste wähle man wieder die aus  $n$  Einern bestehende Partition mit der Anzahl  $\binom{n}{0}$ . Nun folgt eine Gruppe von Partitionen mit einem Dreier. Die Anzahl aller Summanden fällt dabei um 2. Daher enthält diese Gruppe  $\binom{n-2}{1}$  Partitionen. In der nächsten Gruppe sind in jedem Glied 2 Dreier vorhanden und die Summandenanzahl ist wieder um 2 kleiner. Daher gibt es in dieser Gruppe  $\binom{n-4}{2}$  Partitionen usw. Es folgt  $P(n; 1, 3) = \binom{n}{0} + \binom{n-2}{1} + \binom{n-4}{2} + \dots + \binom{n-2k}{k}$  für  $n-2k \geq k$  oder  $k \leq n/3$ .

Man erkennt, daß die Folge  $\langle P(n; 1, 3) \rangle$  mit der in 1. 7. gezeigten Folge der Summen der Glieder einer oberen Transversale des Pascalschen Dreiecks übereinstimmt und das rekursive Bildungsgesetz

$$a_n = a_{n-2} + a_{n-3} + a_{n-4} \quad \text{für } n > 3 \text{ und } a_1 = a_2 = a_3 = 1 \text{ besitzt.}$$

Wenn einer der Grundsummanden  $a$  oder  $b$  gleich 1 ist, lassen sich für alle natürlichen Zahlen Partitionen erzeugen, wobei sich für die Folge ihrer Anzahl  $\langle P(n; 1, b) \rangle$  ähnliche Rekursionsformel ergeben. So ist z. B.

$$\langle P(n; 1, 4) \rangle = \langle 1, 1, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 14, 19, \dots \rangle$$

mit dem Bildungsgesetz:  $a_n = a_{n-3} + a_{n-4} + a_{n-5} + a_{n-6}$ .

$$(n) 6, a_1 = a_2 = a_3 = 1, a_4 = 2, a_5 = 3, a_6 = 4.$$

## 3. Als letzte soll nun die Folge der Anzahl der Partitionen der natürlichen Zahlen $n$ mit den Grundsummanden 2 und 3 untersucht werden.

Es sei  $n$  eine gerade Zahl. In diesem Fall kann als erste Partition  $n/2$ -mal 2 gesetzt werden. Nun muß der Grundsummand 3 eingesetzt werden. Das Einfügen eines einzigen Dreiers ist nicht möglich, da sonst der Rest 1 bliebe. Daher müssen zwei Dreier eingesetzt werden, wodurch sich die Anzahl der Summanden um 1 verringert usw. Daher folgt für die Anzahl dieser Partitionen:

$$a_n = P(n; 2, 3) = \binom{n/2}{0} + \binom{n/2-1}{2} + \binom{n/2-2}{4} + \dots + \binom{n/2-k}{k}$$

bis  $n/2 - k \geq 2k$  oder  $n/6 \geq k$  ist.

Weiters gilt

$$a_{n+1} = P(n+1; 2, 3) = \binom{n/2}{1} + \binom{n/2-1}{3} + \binom{n/2-2}{5} + \dots + \binom{n/2-k}{2k+1}$$

mit  $n \geq 2(3k+1)$ .

Addiert man die beiden Folgen gliedweise, dann hat man wegen I. 1., da

$$\binom{n/2}{0} + \binom{n/2}{1} = \binom{n/2+1}{1} \text{ usw.}$$

$$\binom{n/2+1}{1} + \binom{n/2}{3} + \binom{n/2-1}{5} + \dots = P(n+3; 2, 3) = a_{n+3}.$$

Also ist  $a_{n+3} = a_{n+1} + a_n$  oder nach Ummumerieren  $a_n = a_{n-2} + a_{n-3}$

mit  $n > 3$  und  $a_1 = a_2 = a_3 = 1$ .

Dies ist die Folge der Summen der Zahlen auf der unteren Transversalen (Abb. 3).

(Das Bildungsgesetz dieser Folge ähnelt sehr dem Bildungsgesetz der Fibonacci'schen Zahlen. Mit einigem Rechenaufwand lassen sich die Glieder der Folge ähnlich wie mit der Binetschen Formel auch als Funktion des Index angeben.)

4. Bemerkung zu Partitionen mit größeren Grundsummanden. Wenn eine natürliche Zahl  $n$  als Summe der Summanden  $a$  und  $b$  darstellbar sein sollen, muß die diophantische Gleichung  $ax + by = n$  für nicht negative ganze Zahlen  $x$  und  $y$  lösbar sein. Es ist daher notwendig, daß  $a < n$  oder  $b < n$  ist. Weiters muß  $n$  teilbar durch den größten gemeinsamen Teiler  $(a, b)$  sein. Da aber  $n$  auch Primzahl sein kann, müssen  $a$  und  $b$  relativ prim sein. Um zu zeigen, wie verwickelt die Darstellung natürlicher Zahlen als Summe von Vielfachen von nur zwei Zahlen ist, sollen hier die natürlichen Zahlen angegeben werden für die es keine Partition  $P(n; 5, 7)$  gibt.

Es muß die diophantische Gleichung  $5x + 7y = n$  auf Lösbarkeit in  $N_0$  untersucht werden. Sie hat die Lösungsmenge  $x = 3n - 7k, y = 2n + 5k$ .

Wegen  $3n - 7k \geq 0 \wedge -2n + 5k \geq 0$  muß es eine natürliche Zahl  $k$  geben mit der Eigenschaft  $2n/5 \leq k \leq 3n/7$ .

Für folgende natürliche Zahlen gibt es kein derartiges  $k$  und daher keine Partitionen mit den Grundsummanden 5 u. 7:

$$1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 11, 13, 16, 17, 19, 23.$$

Literatur:

- (1) N. N. Worobjow, Die Fibonacci'schen Zahlen, Deutscher Verlag für Wissenschaften, Berlin 1954
- (2) W. Kranzer, Die Fibonacci'schen Zahlen, Wiss. Nachrichten, Wien, Jänner 1970
- (3) R. Honsberger, Mathematische Edelsteine, Verlag Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden 1981
- (4) H. Schauer, Pascal, Oldenbourg Verlag, Wien 1976

# Buchbesprechung

W. Nöbauer, J. Wiesenbauer, Zahlentheorie. Prugg-Verlag, Eisenstadt, 1981. 176 S., flexibel geb. S 270,-

Es ist erfreulich, daß erneut über eine von österreichischen Autoren verfaßte Zahlentheorie berichtet werden kann, zumal die Verfasser es verstanden, auf insgesamt 164 von 176 Seiten ein Bild der Zahlentheorie zu entwerfen, das teilweise den üblichen Rahmen der diesbezüglichen Vorlesungen überschreitet. Natürlich gelingt das nur, weil die Themen, die Beweise und die erklärenden Bemerkungen sehr dicht aufeinanderfolgen. Die Kunst der Verfasser besteht darin, trotzdem alle Themen in klarer, gut verständlicher Sprache darzustellen, obwohl ein stärker gelockter Duktus mit ausgedehnten Motivationen dem Anfänger mehr entgegenkommen würde. Ihm sei daher geraten, den Inhalt des Buches langsam, d. h. lernend, aufzunehmen, damit er mit den zahlreichen, aber unentbehrlichen, für ihn neuen Begriffsbildungen genügend vertraut werde, um nicht bei fortschreitender Lektüre öfter zurückblättern und suchen zu müssen, wo er die bereits gegebenen Definitionen nachlesen kann. Dabei ist allerdings das Sachverzeichnis eine sehr gute Hilfe. So wäre es für den Anfänger nützlich, würden einige Ideale in konkreten Quadratischen Zahlkörpern angegeben und die Bedeutung der Eindeutigkeit der Zerlegung in Primideale breit geschildert.

Ebenso verträge das Kap. VI, „Funktionen auf Restklassenringen“ Näheres über die mathematischen Zwecke, denen diese Funktionen dienen.

Für Mathematiker mit abgeschlossener Hochschulbildung ist das Buch eine glänzende Quelle zur Auffrischung „verrosteter“ Kenntnisse, präsentiert aber auch – wie die Autoren im Vorwort betonen – Themen, die i. a. erst in speziellen Werken zu finden sind, z. B. Probleme der Codierung. Den Mathematiklehrer wird besonders das letzte Kapitel ansprechen, weil es von Zahlen in anderen Basissystemen und von der Konstruktion magischer Quadrate handelt.

Als besonders interessante Anwendung der Zahlentheorie erfährt man ohne ermüdende Einzelheiten ein wenig über Codierung, Ver- und Entschlüsselung von Informationen. Das ist erfreulich, denn darüber hört der Mathematiker, der kein Informatiker ist, i. a. recht wenig. Dem Lehrer bieten die diesbezüglichen Seiten des Buches nette Anregungen für die Gestaltung von Supplierstunden oder zu Antworten auf Schülerfragen, die Interessen wecken, ja zu Selbstständigkeits Anlaß geben könnten.

Jedes Kapitel schließt mit ethischen Aufgaben, an denen das gewonnene Verständnis zu prüfen ist. Lösungen sind allerdings keine vorhanden. Am Schluß findet sich eine Liste ergänzender und weiterführender Literatur. Die 7 Kapitel lauten:

- I. Teilbarkeitstheorie; II. Kongruenzen (Ideale, Restklassenringe); III. Quadratische Reste; IV. Kettenbrüche; V. Diophantische Gleichungen (Waring-Problem, Pellische Gleichung); VI. Funktionen auf Restklassenringen; VII. Einige Anwendungen der Zahlentheorie.

Der gewissenhafte Leser wird das Buch, bereichert an Wissen und beeindruckt von der Schönheit der Zahlenlehre, aus der Hand legen, wohl, um es immer wieder zu befragen oder sich durch gelegentliches Nachlesen an den ihm besonders fesselnden Themen zu erfreuen.

Walter Kranzer

## Element Z=109 erzeugt

Die letzte Erfolgsmeldung über künstlich erzeugte Transurane ging im Jahre 1981 um die Welt. Nachdem der russische Physiker Flerov und sein Team schon im Jahre 1976 den Nachweis des Nuklids mit der Kernladungszahl  $Z = 107$  erbracht zu haben glaubten, jedoch nicht die Bedenken gegen ihre Interpretation der Reaktion ausräumen konnten, gelang es fünf Jahre später der GSI (= Gesellschaft für Schwerionenforschung), den endgültigen Nachweis zu erbringen (siehe Wiss. Nachr., Nr. 58, Jänner 1982, S. 38, Transuran  $Z = 107$  nachgewiesen).

Vor kurzem war nun eine GSI-Forscherguppe, nämlich P. Armbruster, G. Münzenberg und S. Hofmann, neuerdings erfolgreich, indem sie ein Nuklid des chemischen Elements  ${}^{266}\text{X}$  erzeugen und einwandfrei identifizieren konnte. Es wurden im Schwerionen-Beschleuniger UNILAC  ${}^{58}\text{Fe}$ -Ionen von 290 MeV Energie (= 5 MeV pro Nukleon) auf  ${}^{208}\text{Bi}$  als ruhendem Target gelenkt. Die Flächendichte der Belegung mit Bi betrug  $0,5 \text{ mg/cm}^2$ . Neben anderen Ereignissen stellte man auch die Reaktion  ${}^{58}\text{Fe} + {}^{208}\text{Bi} \rightarrow {}^{266}\text{X} + n$  fest, bei der das neue Nuklid entstand. Zur Absonderung der Sekundärteilchen, bei denen man fündig zu werden hoffte, bewährte sich wieder das Geschwindigkeitsfilter SHIP (= separator for heavy ion reaction products), das schon beim Nachweis von Element 107 entscheidend mitgewirkt hatte.

Der abgesonderte Kern traf (eventuell mit anderen Sekundärteilchen) nach 1 ms Flugzeit auf den hierfür vorgesehenen Oberflächen-Sperrschicht-Detektor aus Si, der in sieben Abschnitte unterteilt war. Dies, um anzuzeigen, wann und wo a) das erwartete Teilchen eingefallen ist, b) wann und wo es einen  $\alpha$ -Zerfall erlitten hat, und c) mit welcher Energie die  $\alpha$ -Partikeln wegflogen.

Es stellte sich heraus, daß  ${}^{266}\text{X}$  schon nach 5 ms zerfällt, und zwar in das Nuklid  $Z = 107$ , dessen Zerfallsdaten bereits bekannt waren. Der nachfolgende Zerfall des Kerns  $Z = 107$  war das eindeutige Indiz für die vorangegangene Bildung von  $Z = 109$ , wie aus den charakteristischen tertiären  $\alpha$ -Energien hervorging. Der Umstand, daß nur ein einziges einschlägiges Ereignis registriert werden konnte, ändert nichts an der Gewißheit, den Kern 109 erzeugt zu haben.

Abgesehen von der kurzen Halbwertszeit – nur 5 ms –, wehrte sich die Natur auch noch zusätzlich gegen die Demaskierung: Der Wirkungsquerschnitt für die Erzeugung des neuen Transurans ist nämlich mit  $10^{-35} \text{ cm}^2$  nicht weniger als 30mal kleiner als der Produktionsquerschnitt für  $Z = 107$ .

Neben dem SHIP-Detektor trug auch die 5- bis 10mal höhere zum Einsatz kommende Intensität des UNILAC-Strahls bei. Aber keine Rose ohne Dornen! Infolge des heftigeren Beschusses war eine untragbare Erwärmung des Targets zu befürchten, die unbedingt vermieden werden mußte. Also belegte man ein Rad mit neun Segmenten des Targets und ließ das Rad mit 11 m/s Umfangsgeschwindigkeit zur Kühlung rotieren. Alles war zeitlich und räumlich so abgestimmt, daß nur bei jeder zweiten Umdrehung ein Targetsegment getroffen wurde. (Der Pulsrhythmus des UNILAC-Strahls: 5 ms Strahl, 15 ms kein Strahl.)

Noch fehlt das Nuklid 108 in der Transuranreihe. Die Chancen für seine Identifizierung sind gering, weil es offenbar vorwiegend durch Spaltung zerfällt, was die Energiemessung vorläufig unmöglich macht, man weiß ja nicht, welche Bruchstücke entstehen. Bei Nuklid 110 dürften die Dinge ähnlich liegen. Dennoch: Allmählich tasten wir uns an die vermutete Stabilitätsinsel bei  $Z = 114$  heran.

### LITERATUR:

Phys. Bl., Okt. 1982, S. 315, r. e. d., Element 109 nachgewiesen.

## Erstes Wiedersehen mit dem Halleyschen Kometen!

Zum erstmalig, das sind 72 Jahre nach seinem letzten großartigen Erscheinen, wurde der Halleysche Komet wieder erblickt. Am 16. Oktober 1982 identifizierte ihn ein achtköpfiges Astronometeam mit dem 5-m-Spiegel des Mt.-Palomar-Observatoriums unter Einsatz eines CCD-Sensors (die ausführliche Beschreibung dieses charge coupled device erfolgt in der nächsten Ausgabe der Wiss. Nachr.) als Lichtpunktchen von nur  $24,2^m$  scheinbarer Helligkeit im Erdabstand  $10,93 \text{ AE} = 1,63 \text{ Mrd. km}$ . (Die Größenklasse  $24,2^m$  ist ca. 16millionenmal schwächer als die gerade noch mit dem freien Auge wahrnehmbaren Sterne!) Die Position war am 16. Oktober 1983 um 11 h 23 min Weltzeit

$\alpha_{1950} = 7^h 11^m 1,9^s$ ,  $\delta_{1950} = 9^\circ 33' 03''$ ,  
und 66 min später  $\alpha_{1950} = 7^h 11^m 1,7^s$ ,  $\delta_{1950} = 9^\circ 33' 00''$ .

Der Standort unterscheidet sich nur um  $0,6^\circ$  bez. der Rektaszension von der Prognose D. K. Yeomars im Jahre 1981. Unter Annahme von 50% Albedo ist das Objekt dzt.  $1,4 \pm 0,2 \text{ km}$  groß. Es wurde noch keine Coma (d. i. die nebelartige Hülle um den Kometenkern, aber nicht der Schweif) bemerkt.

Bei seinem letzten Erscheinen im Jahre 1910 erregte der im Stadium stärkster Entfaltung 30 Mio. km lange Schweif die allgemeine Aufmerksamkeit. Trotz der über 70 Jahre währenden unbeobachtbaren Wanderung durch die Fernen des Planetensystems – das Aphel liegt mit  $35,31 \text{ AE} = 5,26 \text{ Mrd. km}$  Abstand zu Sonne außerhalb der Neptunbahn – konnte er schon jetzt fast an der Sollstelle gefunden werden. Eine großartige Leistung sowohl der rechnenden als auch der beobachtenden Himmelskunde! Der Halleysche Komet wird das Perihel, die Phase der größten Sonnennähe, am 9. Februar 1986 um ca.  $7^h$  Weltzeit mit  $v = 60 \text{ km/s}$  durchlaufen. Dann wird sein Sonnenabstand  $0,587 \text{ AE} = 87 \text{ Mio. km}$  betragen, also etwa in der Mitte zwischen Merkur- und Venusbahnradius liegen. Bemerkenswert ist, daß sich der Komet rückläufig bewegt. Das Aphel durchschreitet er mit nur  $1 \text{ km/s}$ . Im Jahre 1910 war er durch 21 Monate beobachtbar. Die Bahnperiode beträgt 76,02 Jahre.

Das Erscheinen des Halleyschen Kometen ist seit dem Jahre 87 v. Chr. 27mal nachgewiesen, und zwar in den Jahren:

–87, –12, 66, 141, 218, 295, 374, 451, 530, 607, 684, 760, 837, 912, 989, 1066, 1145, 1222, 1301, 1378, 1456, 1531, 1607, 1682 (erste Bahnberechnung durch Halley), 1759, 1835, 1910.

### LITERATUR:

Circular No. 3737, Central Bureau for Astron. Telegrams, Int. Astr. Union (IAU).

## Cliffordsche Zahlen als Dirac-Matrizen

**Vorbemerkung:** Mathematiker, die keine Physiker sind, dürfen die physikalischen Erklärungen etwa bis zur Gleichung (6) überlesen, für sie wird erst die Frage des Wurzelziehens aus einem Operator fachlich interessant, obwohl mancher von ihnen zumindestens die formale Seite der physikalischen Einleitung lesenswert finden wird.

Die Quantenmechanik beruht bei Ausklammern der relativistischen Aspekte auf der **Schrödinger-Gleichung**, die sich nach einem rein formalen Verfahren aus dem Ausdruck für die Energie  $E$  des jeweils behandelten Systems herleitet.  $E$  hängt von der Zeit  $t$ , dem Ortsvektor  $\vec{r} = (x, y, z)$  und dem Impulsvektor  $\vec{p} = (p_1, p_2, p_3) = (m \cdot v_1, m \cdot v_2, m \cdot v_3)$  ab:

$$(1) \quad E = H(t, x, y, z; p_1, p_2, p_3).$$

Die Vorschrift, nach der die Differentialgleichung für die Psi-Funktion entsteht, ist die Anweisung, in (1) die Größen E, p<sub>1</sub>, p<sub>2</sub>, p<sub>3</sub> durch Operatoren zu ersetzen u. zw.

(2a) 
$$E \text{ durch } \tilde{E} = \frac{ih}{2\pi} \cdot \frac{\partial}{\partial t},$$

$$p_1 \text{ durch } \tilde{p}_1 = \frac{-ih}{2\pi} \cdot \frac{\partial}{\partial x}$$

(2b) 
$$p_2 \text{ durch } \tilde{p}_2 = \frac{-ih}{2\pi} \cdot \frac{\partial}{\partial y}$$

$$p_3 \text{ durch } \tilde{p}_3 = \frac{-ih}{2\pi} \cdot \frac{\partial}{\partial z}$$

Die über ein Symbol gesetzte Wellenlinie zeigt an, daß es sich um einen Operator handelt. Aus drucktechnischen Gründen werden in diesem Bericht die den Ortskoordinaten x, y, z zugeordneten Koordinaten einer physikalischen Größe bzw. durch die Indizes 1, 2, 3, die partiellen Ableitungen nach t, x, y, z bzw. durch die Indizes t, x, y, z gekennzeichnet.

Im einfachen Fall der Bewegung einer Partikel der Masse m im Potentialfeld U(x, y, z) sieht das so aus: Die Gesamtenergie E ist die Summe der kinetischen und der potentiellen Energie

$$E = mv^2/2 + U(x, y, z)$$

oder, wegen  $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$ ,  $p^2 = m^2 \cdot v^2$ ,

(3) 
$$E = (p^2/2m) + U(x, y, z)$$

Entsprechend den Gleichungen (2b) ist p<sup>2</sup> zu ersetzen durch

(4) 
$$(-ih/2\pi)^2 \cdot \left( \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) = (-h^2/4\pi^2) \cdot \Delta$$

Δ ist das bekannte Symbol für den Laplace-Operator. Die Substitution von (2a) und (4) in (3) und die Anwendung auf die Psi-Funktion gibt die diesem dynamischen System zugeordnete zeitabhängige Schrödinger-Gleichung

$$(ih/2\pi) \psi_t = (-h^2/8\pi^2) \cdot \Delta \psi + U \cdot \psi$$

ψ ist im allgemeinen komplex. Das Quadrat ihres absoluten Betrages (= ihre Norm) |ψ|<sup>2</sup> bedeutet die Wahrscheinlichkeitsdichte dafür, das Teilchen im Zeitpunkt t am Ort P(x, y, z) vorzufinden.

In der Mikrowelt bewegen sich jedoch die Teilchen häufig mit relativistischen Geschwindigkeiten, so daß für E anstelle von (3) der relativistische Zusammenhang von E mit dem Impuls  $\vec{p}$  und der Ruhmasse m<sub>0</sub> der Partikel zu benutzen ist:

$$E = m \cdot c^2 = (m_0 \cdot c^2) / \sqrt{1 - (v/c)^2},$$

$$E^2 - (E^2 v^2 / c^2) = m_0^2 \cdot c^4,$$

$$E^2 - (mc^2)^2 \cdot (v^2/c^2) = m_0^2 \cdot c^4,$$

$$E^2 - p^2 \cdot c^2 = m_0^2 \cdot c^4,$$

(5) 
$$E = \sqrt{c^2 p^2 + m_0^2 \cdot c^4}$$

Der Übergang zu den Operatoren nach den Gleichungen (2a), (2b), (4) führt auf die Dirac-Gleichung, der relativistischen Version der Schrödinger-Gleichung:

(6) 
$$(ih/2\pi) \cdot \psi_t = \left( \sqrt{\frac{-c^2 h^2}{4\pi^2} \cdot \Delta + m_0^2 \cdot c^4} \right) \psi$$

In der Gleichung (6) sah man sich der unüberwindlich scheinenden Schwierigkeit gegenüber, aus einem Operatorterm die Quadratwurzel zu ziehen. Es war P. Dirac, der auf die ebenso kühne wie geniale Idee verfiel, das Problem durch den Einsatz von hyperkomplexen Zahlen in Form von vierreihigen quadratischen Matrizen in Angriff zu nehmen und dem es, wie die Entwicklung zeigte, gelang, es auch zu lösen. Die daraus folgende Prognose der Existenz von Positronen erwies sich wenige Jahre später mit deren Entdeckung als richtig und leitete die Aufmerksamkeit auf die bis dahin nicht einmal geahnte Welt der Antiteilchen.

Falls es gelingt, aus dem Operator unter dem Wurzelzeichen von (6) die Quadratwurzel zu ziehen, dann müßte das Ergebnis ein Operator  $\tilde{H}$  sein, der die Gestalt hat

(7) 
$$\tilde{H} = c \cdot \vec{\alpha} \cdot \vec{p} + \beta m_0 c^2$$

mit

$$\tilde{H}^2 = -c^2 (h^2/4\pi^2) \cdot \Delta + m_0^2 \cdot c^4$$

Da p<sup>2</sup> eine skalare Größe ist, kann unter  $\vec{\alpha} \cdot \vec{p}$  nur ein skalares Produkt verstanden werden, d. h.,  $\vec{\alpha}$  ist ein Vektor mit den drei Koordinaten α<sub>1</sub>, α<sub>2</sub>, α<sub>3</sub>. Soll das Quadrat des Terms auf der rechten Seite von (7) den Radikanden in (6) ergeben, dann müssen folgende Gleichungen erfüllt sein:

(8a) 
$$\alpha_1^2 = \alpha_2^2 = \alpha_3^2 = \beta^2 = 1,$$

(8b) 
$$[\alpha_1, \alpha_2] = [\alpha_2, \alpha_3] = [\alpha_3, \alpha_1] = 0,$$

(8c) 
$$[\alpha_1, \beta] = [\alpha_2, \beta] = [\alpha_3, \beta] = 0,$$

(8d) 
$$[\alpha_i, \tilde{p}_j] = 0, [\beta, \tilde{p}_j] = 0$$

Die eckigen Klammern in den Gleichungen (8) sind sogenannte Poisson-Klammern mit der Bedeutung

(9) 
$$[a, b] = a \cdot b - b \cdot a,$$

man sagt auch, sie sind Kommutatoren. Das Verschwinden von [a, b] bedeutet, daß die Größen a, b bei der Multiplikation vertauschbar sind, daß sie kommutieren. Gelingt es, geeignete Größen α, β zu konstruieren, dann lautet die Dirac-Gleichung

(10) 
$$(ih/2\pi) \cdot \psi_t = (-h/2\pi) \cdot c \cdot (\vec{\alpha} \cdot \text{grad}) \psi + \beta \cdot m_0 \cdot c^2 \psi$$

denn der Vektor-Operator

$$\left( \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right)$$

wird als grad bezeichnet.

α<sub>1</sub>, α<sub>2</sub>, α<sub>3</sub>, β erfüllen in Form der nachstehenden Matrizen alle Forderungen:

(11) 
$$\alpha_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \alpha_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & -i \\ 0 & 0 & i & 0 \\ 0 & -i & 0 & 0 \\ i & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \beta = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

In (7) ist der Vektor  $\vec{\alpha}$ , dessen Koordinaten Matrizen sind, mit dem Vektor  $\vec{p}$  skalar zu multiplizieren. Dabei treten Produkte von Matrizen mit einem Vektor auf, die stets einen Vektor ergeben. Das kann nur eintreten, wenn ψ selbst ein Vierervektor ist. Das soll nun ausführlicher besprochen werden.

Eine (m, n)-Matrix ist eine Matrix mit m Zeilen und n Spalten. Die Multiplikation zweier Matrizen A, B (Faltung der Zeilen der ersten mit den Spalten der zweiten) ist nur möglich, wenn A ebensoviele Spalten wie B Zeilen hat. Ist A eine (m, n)-Matrix, dann muß B eine (n, p)-Matrix sein, soll die Multiplikation möglich sein. Je nachdem ein Vektor in Zeilen- oder Spaltenform geschrieben wird, ist er als (1, n)- oder als (n, 1)-Matrix aufzufassen (n = Dimensionszahl des Vektorraumes). Im R<sup>2</sup> sieht das so aus:

$$M \cdot \vec{r} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} ax + by \\ cx + dy \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix},$$

$$\vec{r} \cdot M = \begin{pmatrix} x & y \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} ax + cy \\ bx + dy \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x'' \\ y'' \end{pmatrix}$$

(10) ist, wie jede lineare Gleichung zwischen Vektoren, ein Gleichungssystem, im konkreten Falle ein System von 4 Gleichungen, denn die Matrizen α<sub>1</sub>, α<sub>2</sub>, α<sub>3</sub>, β sind durchwegs vier-

reihig, können also nur mit 4-komponentigen Vektoren multipliziert werden. Greift man aus (10) etwa den Ausdruck

$$\alpha_1 \cdot \text{grad}_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \partial/\partial x \\ \partial/\partial x \\ \partial/\partial x \\ \partial/\partial x \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \partial/\partial x \\ \partial/\partial x \\ \partial/\partial x \\ \partial/\partial x \end{pmatrix}$$

heraus, so wird ersichtlich, daß der Operator grad<sub>1</sub> auf vier verschiedene Größen  $\psi_1, \psi_2, \psi_3, \psi_4$  anzuwenden ist, damit der Vektorcharakter gewahrt bleibt. Die Psi-Funktion ist daher ein Quadrupel von vier Einzelfunktionen, kurz, ein Vektor

$$\vec{\psi} = (\psi_1, \psi_2, \psi_3, \psi_4).$$

Zur Vereinfachung der folgenden Gleichungen werde vorübergehend  $q$  für  $i\hbar c/2\pi$  geschrieben. Getrennt nach den Indizes der  $\alpha$ , sieht das dann so aus:

$$\begin{aligned} -q\alpha_1 \cdot \frac{\partial \vec{\psi}}{\partial x} &= -q \cdot \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \psi_{1x} \\ \psi_{2x} \\ \psi_{3x} \\ \psi_{4x} \end{pmatrix} = -q \begin{pmatrix} \psi_{1x} \\ \psi_{2x} \\ \psi_{3x} \\ \psi_{4x} \end{pmatrix}, \\ -q\alpha_2 \cdot \frac{\partial \vec{\psi}}{\partial y} &= -q \cdot \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & i & 0 \\ 0 & -i & 0 & 0 \\ i & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \psi_{1y} \\ \psi_{2y} \\ \psi_{3y} \\ \psi_{4y} \end{pmatrix} = -q \begin{pmatrix} -i\psi_{4y} \\ i\psi_{3y} \\ -i\psi_{2y} \\ i\psi_{1y} \end{pmatrix}, \\ -q\alpha_3 \cdot \frac{\partial \vec{\psi}}{\partial z} &= -q \cdot \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -i \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \psi_{1z} \\ \psi_{2z} \\ \psi_{3z} \\ \psi_{4z} \end{pmatrix} = -q \begin{pmatrix} \psi_{3z} \\ -\psi_{4z} \\ \psi_{1z} \\ -\psi_{2z} \end{pmatrix}, \\ m_0 c^2 \beta \cdot \vec{\psi} &= m_0 c^2 \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \psi_1 \\ \psi_2 \\ \psi_3 \\ \psi_4 \end{pmatrix} = m_0 c^2 \begin{pmatrix} \psi_1 \\ \psi_2 \\ -\psi_3 \\ -\psi_4 \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

Durch die Addition erhält man daraus die rechte Seite von (10)

$$-q(\vec{\alpha} + m_0 c^2 \beta) \cdot \vec{\psi} =$$

$$= -q \cdot \begin{pmatrix} \psi_{4x} \\ \psi_{3x} \\ \psi_{2x} \\ \psi_{1x} \end{pmatrix} - q \cdot \begin{pmatrix} -i\psi_{4y} \\ i\psi_{3y} \\ -i\psi_{2y} \\ i\psi_{1y} \end{pmatrix} - q \cdot \begin{pmatrix} \psi_{3z} \\ -\psi_{4z} \\ \psi_{1z} \\ -\psi_{2z} \end{pmatrix} + m_0 c^2 \cdot \begin{pmatrix} \psi_1 \\ \psi_2 \\ \psi_3 \\ \psi_4 \end{pmatrix}$$

Die linke Seite von (10) lautet

$$(q/c) \cdot \vec{\psi}_t = (-q/c) \cdot \begin{pmatrix} \psi_{1t} \\ \psi_{2t} \\ \psi_{3t} \\ \psi_{4t} \end{pmatrix}.$$

Die Dirac-Gleichung (10) hat also in Matrixform die Gestalt

$$(12) \quad \begin{pmatrix} (q/c) \cdot \psi_{1t} \\ (q/c) \cdot \psi_{2t} \\ (q/c) \cdot \psi_{3t} \\ (q/c) \cdot \psi_{4t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -q\psi_{4x} + iq\psi_{4y} - q\psi_{3z} + m_0 c^2 \psi_1 \\ -q\psi_{3x} - iq\psi_{3y} + q\psi_{4z} + m_0 c^2 \psi_2 \\ -q\psi_{2x} + iq\psi_{2y} - q\psi_{1z} - m_0 c^2 \psi_3 \\ -q\psi_{1x} - iq\psi_{1y} + q\psi_{2z} - m_0 c^2 \psi_4 \end{pmatrix}.$$

Der Lösungsansatz für die vier linearen homogenen partiellen Differentialgleichungen für die Funktionen  $\psi_k$  lautet in Anlehnung an gewöhnliche derartige Simultansysteme mit konstanten Koeffizienten

$$\begin{aligned} \psi_k &= v_k \cdot \exp(\vec{p} \cdot \vec{r} - Et) \cdot 2\pi i / \hbar = \\ &= v_k \cdot \exp(p_1 \cdot x + p_2 \cdot y + p_3 \cdot z - E \cdot t) \cdot 2\pi i / \hbar. \end{aligned}$$

Die partiellen Ableitungen der  $\psi_k$  nach  $t, x, y, z$  sind

$$(13) \quad \begin{aligned} \psi_{kt} &= (-2\pi i E / \hbar) \cdot \psi_k, \\ \psi_{kx} &= (2\pi i / \hbar) p_1 \cdot \psi_k, \\ \psi_{ky} &= (2\pi i / \hbar) p_2 \cdot \psi_k, \\ \psi_{kz} &= (2\pi i / \hbar) p_3 \cdot \psi_k. \end{aligned}$$

Nun werden die Ausdrücke (13) in (12) eingesetzt. Die erste Zeile von (12) liefert die Gleichung

$$E \cdot \psi_1 = cp_1 \psi_4 - icp_2 \psi_4 + cp_3 \psi_3 + m_0 c^2 \psi_1$$

oder

$$(14) \quad (m_0 c^2 - E) \psi_1 + cp_3 \psi_3 + c(p_1 - ip_2) \psi_4 = 0.$$

Zu gleichgebauten Ausdrücken gelangt man bei den übrigen Zeilen von (12). Durch den Exponentialterm im Lösungsansatz kann und darf in (14) und den drei anderen, nicht angeschriebenen Gleichungen dividiert werden. Dann bleiben vier homogene lineare Gleichungen für die Zahlen  $v_k$  übrig, nämlich

$$(15) \quad \begin{cases} (m_0 c^2 - E) \cdot v_1 + cp_3 \cdot v_3 + c(p_1 - ip_2) \cdot v_4 = 0 \\ (m_0 c^2 - E) \cdot v_2 + c(p_1 + ip_2) \cdot v_3 - cp_3 \cdot v_4 = 0 \\ -(m_0 c^2 + E) \cdot v_3 + cp_3 \cdot v_1 + c(p_1 - ip_2) \cdot v_2 = 0 \\ -(m_0 c^2 + E) \cdot v_4 + c(p_1 + ip_2) \cdot v_1 - cp_3 \cdot v_2 = 0 \end{cases}$$

Das homogene System (15) besitzt genau dann nichttriviale Lösungen, wenn seine Determinante gleich Null ist. Nach längerer Rechnung erhält man für die Determinante die Gleichung

$$(E^2 - m_0^2 c^4 - c^2 \vec{p}^2)^2 = 0$$

und damit, wie es sein soll, den relativistischen Ausdruck für  $E$ , allerdings mit zwei Vorzeichen:

$$E = \pm c \cdot \sqrt{\vec{p}^2 + m_0^2 c^2}.$$

Bezeichnet man je nach dem Vorzeichen die Energiewerte mit  $E_+$ ,  $E_-$ , dann führt  $E_-$  auf die negativen Energieniveaus, die nach Dirac als vollständig mit Elektronen besetzt zu denken sind. Die „Löcher“, die beim Übergang von Elektronen in Zustände positiver Energie (bei Zufuhr der mindestens doppelten Ruheenergie des Elektrons) entstehen, sind die Positronen, die Antiteilchen der Elektronen.

Arnold Sommerfeld hat im wellenmechanischen Ergänzungsband seines weltberühmten Buches „Atombau und Spektrallinien“ die Diracsche Theorie des Elektrons statt mit Matrizen mit den hyperkomplexen Cliffordschen Zahlen ausgeführt, einem System von 15 nichtreellen Basisgrößen  $i_k$ , womit die Äquivalenz beider Darstellungsarten nachgewiesen ist.

Das Konzept der Antimaterie ist das legitime Kind der abstrakten Mathematik. Bedarf diese angesichts solcher physikalischen Konsequenzen noch einer Rechtfertigung? Ein großer Gelehrter hat einmal gesagt: „Die abstrakte Mathematik von heute ist die Theoretische Physik von morgen und die Technik von übermorgen.“ Wie wahr ist das, wenn bedacht wird, daß Clifford im vorigen Jahrhundert lebte!

## Laser in der Industrie

Obwohl der Laser erst auf eine Geschichte von knapp einem Vierteljahrhundert zurückblickt, hat er sich bereits in einer Vielzahl von technischen Positionen eingebürgert, aus denen er schwerlich wieder verdrängt werden kann. Ganz abgesehen von seinen spektakulären Erfolgen in der Holographie, in den Distanzmessungen zwischen Erde und Satelliten, Monden und Planeten, in der Geodäsie, beim Tunnelbau und zur Steuerung von Präzisionsmaschinen, hat der Laser auch Eingang in die industrielle Fertigung gefunden. **Bohren, Schneiden, Schweißen, Oberflächenbearbeiten und Härten** sind die hauptsächlichsten Bearbeitungsformen, in denen sich der Laser in gewissen Sparten als überlegenes „Werkzeug“ bewährt.

Die Vorteile des Lasers liegen auf der Hand. Da ist es einmal die außerordentliche Konzentration höchster Wärmeleistung auf winzigen, scharf abgegrenzten Flächenelementen, welche Hitzeschädigung und Deformationen in der Umgebung des Einfallortes verhindert, was die mitunter teure Nachbearbeitung mit kostspieligen Sonderwerkzeugen überflüssig macht oder doch wesentlich reduziert. Der Materialverbrauch beim Schweißen und bei Legierungsarbeiten erfolgt bedeutend sparsamer. Vibrationen des Werkstücks werden vermieden, weil das feste Einspannen des zu bearbeitenden Objekts überflüssig ist. Der Laserstrahl kann durch Spiegel auch an Stellen gelenkt werden, die mit konventionellen Methoden schwer zugänglich oder total unzugänglich

sind. Die hohe Leistungsdichte verkürzt die Bearbeitungsdauer gewaltig und garantiert so eine viel höhere Produktivität. Für den Arbeitsplatz selbst ist zudem weniger Raum in der Werkhalle vonnöten. Die energetische und geometrische Flexibilität des Laserstrahls induzieren neue Herstellungsverfahren, die teilweise durch Computerprogramme gesteuert werden und bereits Eingang in die Serienproduktion gefunden haben.

Natürlich lohnt sich die Lasertechnik nur dort, wo entweder bestimmte Bearbeitungsziele nicht anders erreicht werden können, oder dort, wo sich die (bis zu siebenmal höheren) Anschaffungskosten der Lasergeräte dank drastischer Senkung der Bearbeitungskosten binnen kurzem (u. U. schon nach einem Jahr) amortisieren.

Man unterscheidet **leichte** und **schwere Hochleistungslaser**. Laser mit Leistungen von einigen Dutzend bis zu einigen 100 Watt stuft man als leichte, jene mit einigen kW Leistung als schwere ein. Laser mit mehr als 20 kW stehen dzt. nur in Labors und Forschungsanlagen im Gebrauch.

Die leichte Spielart rekrutiert sich zumeist aus Festkörperlasern: Rubin-L. ( $\lambda = 0,69$  nm), Nd-dotierte Glas-L. sowie Nd-dotierte Y-Al-Granat-L. (beide  $\lambda = 1,06$  nm). Die beiden erstgenannten Typen arbeiten vorwiegend pulsformig, während der dritte Typ kontinuierlich oder mit Folgen von 1000 Einzelpulsen pro Sekunde operiert. Argon- und CO<sub>2</sub>-Glaslaser strahlen zumeist kontinuierlich. Sie zeichnen sich durch die minimale Divergenz des Strahls aus.

Laser von mehreren kW verwendet man in der Schwerindustrie: Schweißen von Rohren, Behandeln von Kurbeln und Motorzylindern, Härten von Oberflächenschichten in Dieselmotoren, Einsatz in der Kraftfahrzeugindustrie bei Getrieben, bei Turbinenschaufeln u. a.

**Bohren.** Das Laser-Bohren ist an sich eine teure Sache, sowohl wegen der hohen Anschaffungskosten als auch wegen des relativ großen Energieaufwandes. Damit das Bohrloch (meist ist es ein blindes Loch) vom Schmelzgut befreit wird, muß die Erwärmung durch den Laserstrahl das Bohrgut zum Verdampfen bringen (z. B. bei blinden Kühlöchern in Raketentriebwerken). Die Verdampfungswärme ist aber bei Metallen an die zehnmal größer als die Schmelzwärme. Die Löcher dürfen auch nicht tiefer sein als ihre doppelte Weite beträgt. Beim Verdampfen bleibt es nicht, das Gas wird zudem tw. ionisiert. Die dazu nötige Wärme übertrifft die Schmelzwärme gar um einen Faktor der Größenordnung 100! Außerdem absorbiert und streut die dem Loch entströmende Gas-Plasma-Wolke den Laserstrahl, bedeutet also Energie- und Präzisionsverlust. Um das zu mildern, ersetzt man die Luft durch die schwerer ionisierbaren Gase Argon und/oder Helium. Liegt jedoch die Laser-Leistung besonders hoch, dann erledigt sich das Problem von selbst. Es kommt zu einer kleinen Detonation in der Wolke am Loch, deren Stoßwelle das lose Material (Schmelze, feste Oxide, Nitride, Schlacke) aus dem Loch drückt. Festkörper-Laser werden bevorzugt, weil sie leichter als Gas-Laser zu kontrollieren sind.

Das Laser-Bohren ist trotzdem ökonomisch vertretbar, wenn sprödes oder extrem hartes Material zu bearbeiten ist, z. B. Rubine in der Uhrenindustrie, Diamanten für Ösen zum Drahtziehen, Stempel, Keramikteile für elektronische Geräte, Bearbeiten der sehr harten Teile von Raumsonden und Turbinenschaufeln, zur genauen Anordnung von Brennkammern u. a.

Überraschend ist es zu erfahren, daß das Laser-Bohren auch bei weichen, biegsamen Stoffen bewährten Eingang gefunden hat. Mit Lasern werden gebohrt: Löcher in Babyflaschen, in Tuben, Kunststoffventile, Einspritzdüsen. Der Laserstrahl übt nämlich keine mechanischen Kräfte auf die Werkstücke aus wie gewöhnliche Bohrer, das Laser-Bohren geht rasch und verformungslos vor sich. Dazu genügen Leistungen von wenigen Watt. Außerdem ist der Serienerzeugung Tür und Tor geöffnet. Also amortisieren sich die Anschaffungskosten in diesem Anwendungszweig bald. Für das Bohren großer Löcher ist der Laser ungeeignet.

**Schneiden** ist weniger energieaufwendig als Bohren, weil das Material nur aufgeschmolzen zu werden braucht. Die Schmelze wird von einem O<sub>2</sub>- oder N<sub>2</sub>-Gasstrahl weggeblasen, soferne dies ohne schädliche Folgen für das Werkstück bleibt. Sauerstoff fördert sogar, da exotherm reagierend, in manchen Fällen den Schneidevorgang. Mittels Computersteuerung lassen sich sogar die kompliziertesten Schnittkurven ohne weiteres zutun herstellen. Die Produktivität ist bis zu 20mal höher als beim Benützen von Diamantwerkzeugen.

Auch die Laser-Schneideeinrichtungen sind 2- bis 5mal teurer als die üblichen, aber Flexibilität, Präzision, Schnelligkeit und Qualität der Schnitte machen den anfänglichen Aufwand bald wett. Derzeit wächst die Anzahl der weltweit installierten Lasergeräte um etwa 100 Einrichtungen pro Jahr. Die erforderlichen Leistungen bewegen sich zwischen 0,4 und 2 kW.

Welche Stoffe eignen sich für das Laser-Schneiden?

In Betracht kommen harte und spröde Stoffe wie Keramik, Quarz, Glas, ummantelte Bleche, Spezialmaterialien für die Raumfahrt auf der einen Seite, aber – ähnlich wie beim Bohren – auch Holz, Leder, Textilien, faserverstärktes Plastik und drahtverstärkte Gummischläuche. Maßgeblich für diesen Einsatz sind dieselben Eigenschaften, die schon beim Bohren weicher Substanzen hervorgehoben wurden. Um ein Bild zu gewinnen: In einer Stunde schneidet der Laserstrahl von 200 bis 400 W komplette 40 Anzüge zu! Wegen der großen Schneidegeschwindigkeit können die Stoffe ohne Übereinanderlegen und trotzdem ohne Zeiteinbuße einzeln geschnitten werden. Da gibt es kein Aneinanderhaften mit Aufwerfen und Falten, wie es beim Schneiden von Stoffstapeln störend auftritt. Auch versiegelt der Laserstrahl die Fäden am Anfang und am Ende des Schnittes, das Ausfransen hört auf. Bewegliche Spiegel lenken den Laserstrahl. Im Culham Labor, Gr. Brit., wird eine 2 m breite Stoffbahn mit der Geschwindigkeit von 80 m/s(!) unter dem Schneidestrahle durchgezogen, natürlich unter der Kontrolle und Steuerung des Computers, in dem alle Informationen über das Schnittmuster numerisch gespeichert sind.

**Schweißen.** Sollen nur dünne Bleche oder Platten verschweißt werden, dann richtet man den Laserstrahl auf die Oberfläche. Der Abstand zwischen den zu verbindenden Stücken darf nicht kleiner als  $\frac{2}{3}$  der Blech- oder Plattenstärke sein. Es genügt, die Temperatur der vom Strahl getroffenen Oberflächenpartie unter der Verdampfungstemperatur des Materials zu halten, was eine beträchtliche Energieeinsparung bedeutet. Der Wirkungsgrad des **Oberflächen-Schweißens** liegt zwischen 8 und 15%. Wegen des großen Temperaturgradienten, der Kleinheit des erhitzten Oberflächenanteils und des raschen Behandlungsverlaufs tritt keinerlei Wärmeschädigung der Umgebung des erhitzten Arealis auf.

Eine zweite Methode ist **Tiefschweißen**. Dabei ist der Laserstrahl ständig auf Punkte der Wand des Spalts zwischen den beiden Werkstücken gerichtet, die ein kleines Stück unter der Oberfläche liegen. Das steigert den Wirkungsgrad auf 80%. Diese von überhitzter Schmelze und überhitztem Dampf umgebene Stelle ist das sogenannte **Core**. Es ist zunächst klein, breitet sich aber rasch über die Dicke der Werkstücke aus und wird dann als **Schlüsselloch** bezeichnet. Das Core selbst bildet sich binnen Millisekunden. Der Druck des überhitzten Dampfes befördert die Schmelze an die Oberfläche, an der sie haften bleibt. Das besorgen die Schwerkraft, die Viskosität und die Oberflächenspannung. (Die Oberflächenspannung läßt ja auch beim Zonenschmelzverfahren die induktiv erhitzte und verflüssigte Zone der vertikalen Metallstange am darüber und darunter befindlichen festgebliebenen Teil der Stange haften.) Beim Erstarren bilden sich kleine Kügelchen, was die Festigkeit der Schweißnaht verstärkt. Die stürmische innere Bewegung der Schmelze vor dem Erstarren unterstützt den Wärmetransport. Ferner fördern die freiwerdende Kondensations- und Erstarrungswärme den Schweißvorgang. Die Umgebung des Schlüssellocks wirkt thermisch isolierend für das übrige Material gegenüber der heißen Schmelze. Die Kristallstruktur der erstarrten Schmelze ist von guter Qualität und arm an Verunreinigungen. Das Verhältnis der Fugenweite zur Platten- oder Blechdicke darf beim Tiefschweißen 1 : 5 bis 1 : 12 betragen. Die Festigkeit der Schweißnaht ist größer als bei anderen Schweißverfahren.

Der Lasereinsatz hat das bis dahin sehr schwierige Schweißen von Al-Stücken zur Routine gemacht. Wärmeverbehandlung und Lasererwärmen brachten die Wende. Auch Titan und Ti-Legierungen sind schwierig zu schweißende Stoffe, aber nun sind sogar bei ihnen die Schwierigkeiten überwunden. Besonders hervorzuheben ist noch, daß das Zusammenschweißen verschiedener Materialien mittels Laserstrahls problemlos geworden ist. Während früher die Schweißnähte von mehr als 3 mm starken Al-Blechen porös und brüchig waren, lassen sich jetzt sogar 12 mm dicke Al-Bleche anstandslos zusammenschweißen.

Mit dem Laserstrahl kann man auch Schweißungen an den Innenseiten von Rohren und anderen unzugänglichen Stellen ausführen, Spiegel lenken den Laserstrahl auch dorthin.

In der Hamilton Standard Division der United Technologies Corp. werden die Elektroden von Batterien angeschweißt. Die Produktivität der Laserapplikation liegt 7- bis 10mal höher als bei den anderen Verfahren. Überdies haben die Schweißnähte bessere Qualität.

Weitere Verwendung findet das Tiefschweißen unter anderem im Schiffsbau, in der Raumfahrttechnik, bei vorgefertigten Stahlgebäuden, bei Triebwerken, bei Ti-Behältern für Hochdruckgase und bei Turbinenschaufeln. Die letztgenannten Techniken befinden sich allerdings erst im Versuchsstadium.

**Oberflächenbearbeitung, Härten.** Das Ummanteln von Stahl mit bestimmten Legierungen muß gewöhnlich von anderen Werken vorgenommen werden. Mittels Lasertechnik erfolgt dieser Fertigungsschritt vollautomatisch im Stahlwerk selbst, was neben der Verkürzung der Bearbeitungszeit auch eine erhebliche Kostensenkung bedeutet.

Viele Werkstücke sind im Gebrauch verschiedenen Angriffen auf ihre Oberfläche ausgesetzt, vor allem mechanischer, chemischer und thermischer Überbeanspruchung. Als Schutz dagegen hat sich das Eindiffundieren geeigneter Substanzen als wirkungsvoll erwiesen. Die Zusatzstoffe stehen in der Form von Pulvern, Stangen, Ringen und Blechen zur Verfügung. Der Laserstrahl bringt den Zusatz zum Schmelzen, und zwar so, daß dies nicht nur sehr rasch geht, sondern auch mit einem großen Temperaturgradienten erfolgt. Das Zusatzmaterial diffundiert dann in das Werkstück ein. Der Verbrauch an Zusatzstoffen ist bei der Laser-Methode ungleich sparsamer als sonst, weil stets nur der vom Strahl getroffene kleine Oberflächenteil mit dem Zusatz versorgt zu werden braucht. Außerdem ist die Kristall-Mikrostruktur der Legierung ausgezeichnet. Die Flexibilität des Laserstrahls hinsichtlich Leistung und Geometrie erlaubt es, das Tiefenprofil der diffundierten Konzentrationen nach Erfordernis zu gestalten. Falls überhaupt eine Nachbearbeitung nötig ist, kann sie mit dem Laser selbst erfolgen, erspart also die Bereitstellung teurer Spezialwerkzeuge und zeitaufwendige Ortsveränderungen des Werkstückes.

Beim Härten kommt es darauf an, in einer relativ dünnen Grenzschicht an der Oberfläche das feste Material in eine andere, für bestimmte Zwecke widerstandsfähigere feste Phase überzuführen. Die Dicke der Grenzschicht darf höchstens einige Millimeter betragen, sonst besteht die Gefahr der Versprödung. Es steht den Bearbeitern frei, die oberflächennahe Schicht kristallin, amorph oder glasartig zu gestalten. Ein besonders umfangreiches Anwendungsgebiet ist das Härten der Innenseiten der Zylinder von Verbrennungsmotoren.

**LITERATUR:**  
Scient. Am., März 1982, S. 80, A. V. La Rocca, Laser Applications in Manufacturing.

Petra Schulz

## Periodische Druckschwankungen im Siedewasserreaktor bei Kühlmittelverlust

### Zusammenfassung

Die periodischen Druckschwankungen, die sich in den Sicherheitseinrichtungen eines Siedewasserreaktors (Druckabbausystem) bei plötzlichem Kühlmittelverlust abspielen, hat das GKSS-Forschungszentrum Geesthacht untersucht.

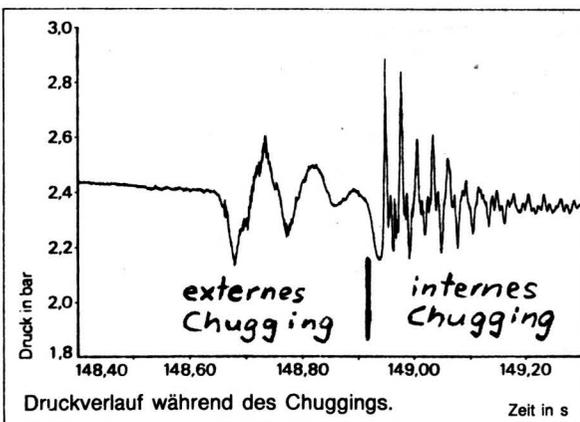
Wenn in einem Kernreaktor plötzlich die Kühlung ausfällt, darf er trotz der eintretenden Druck- und Temperaturbelastung die Umwelt nicht gefährden. Siedewasserreaktoren sind für solche Störfälle extra mit Druckabbausystemen ausgestattet. Im Schadenfall strömt Wasserdampf über eine luftgefüllte Druckkammer durch Rohre in das Wasser einer Kondensationskammer, an die eine Expansionskammer als Luftauffänger angeschlossen ist.

Die physikalischen Vorgänge in der Kondensationskammer haben Anlagentechniker des GKSS-Forschungszentrums Geesthacht (alter Name bis 1979: Gesellschaft für Kernener-

gieverwertung in Schiffbau und Schifffahrt) mit Hochgeschwindigkeits- und Videokamera verfolgt. Um die Ereignisse an der Rohrmündung zu erfassen, schoß der schnelle Fotoapparat 1000 Bilder pro Sekunde. Gleichzeitig wurde der Druck vermessen. Die größte Druckbelastung auf die Wände und Rohre der Kondensationskammer trat ein, als der durchströmende Wasserdampf die druckdämpfende Luft vollständig vertrieben hatte. Die Wissenschaftler beobachteten langsame periodische Druckschwankungen in der Kondensationskammer und schnelle periodische Druckschwankungen mit extremen Druckspitzen in den Kondensationsrohren.

Die Druckänderungen entstanden durch schlagartige Kondensation des Wasserdampfes in der Wasservorlage. Das so vernichtete Wasserdampfvolumen bedingte ein lokales Vakuum, so daß zunächst Wasser in die Rohre eingesaugt wurde. Der ständig nachströmende Wasserdampf vergrößert den Druck, bis der Dampf schließlich wieder durch die Rohre schießen und die Kondensation von neuem beginnen konnte. Die Kondensations-Einsaugvorgänge wiederholten sich. Sie werden als Chugging bezeichnet (nach dem englischen Wort für Blubbern, Tuckern). Die Kondensation des Dampfes außerhalb der Rohrmündung in der Wasservorlage führte zu den langsamen periodischen Druckschwankungen (externes Chugging), die sich mathematisch erklären ließen. Das Kollabieren des Wasserdampfes im Rohrinne (internes Chugging) verursachte die schnellen Druckänderungen, die sich bisher mit keinem Rechenmodell deuten ließen.

Das interne Chugging stellte mit seinen Druckspitzen extreme Anforderungen an die Haltbarkeit der Wandungen. Die Geesthachter Wissenschaftler benutzten in der Versuchsanlage drei Kondensationsrohre. Siedewasserreaktoren besitzen aber 60 bis 100 Stück. Das Chugging wird gefährlich, wenn die Druckstöße in allen Rohren gleichzeitig einsetzen. Durch entsprechende bauliche Maßnahmen kann dieser Fall vermieden werden. Die Forscher hatten allerdings in ihrem Druckabbausystem noch keine gleichzeitige Druckanhäufung feststellen können.



Quelle: GKSS-Jahresbericht 1980, S. 8-21, Abbildung von S. 17.

## Ein optischer Kreisel

Mechanische Kreisel sind in mehrfacher Hinsicht anspruchsvolle Geräte. Das Forschungsinstitut von Siemens in Ulm hat in letzter Zeit einen Kreisel entwickelt, bei dem keine materiellen Teile Bewegungen ausführen, weil er seine Aufgabe auf rein optischem Wege erfüllt. Dies geschieht unter Ausnutzung des schon seit ca. 50 Jahren bekannten **Sagnac-Effektes**. In der Zeit, da man noch keine Glasfasern als Lichtleiter und keine Laser als Quellen kohärenten Lichtes kannte, war die Verwertung des besagten Effektes für Kreisel nicht möglich.

In eine Glasfaser, die zu einer geschlossenen Kurve verbogen ist, wird ein Strahl kohärenten Laserlichtes so eingeleitet, daß er dabei in zwei Teilstrahlen zerfällt, die in zueinander entgegengesetzten Richtungen die Faser durchlaufen und bei der Rückkehr zum Ausgangspunkt zur Überlagerung

kommen. Führt die Faserschleife währenddessen keine Drehbewegung (genauer keine ungleichförmige Bewegung) aus, dann erreichen beide Teilstrahlen gleichzeitig den gemeinsamen Ausgangspunkt ihrer Wege im Glas.

Anders, wenn sich die Schleife während des Lichtdurchganges dreht. Dann trifft jener Teilstrahl etwas früher am Ausgangspunkt ein, der entgegengesetzt zum Drehsinn die Faser durchläuft. Der Zeitunterschied  $\Delta t$  bei der Rückkehr der zwei Teilstrahlen zum Ausgangspunkt ist natürlich äußerst klein. Hat etwa die Schleife die Form eines Quadrates von 10 m Seitenlänge und rotiert sie mit  $1''/s = 1^\circ/\text{Stunde}$ , dann beträgt  $\Delta t$  lediglich  $2 \cdot 10^{-20} s$ , entzieht sich also jeglicher direkten Zeitmessung. Nun sind aber die zwei Teilstrahlen kohärent, treffen somit mit einer der Zeitdifferenz  $\Delta t$  entsprechenden Phasenverschiebung am Ausgangspunkt ein, und diese ist meßbar.

Natürlich fällt dieser Effekt umso deutlicher aus, je länger die Glasfaserschleife ist. Glücklicherweise können heute bereits Glassorten verwendet werden, die das einfallende Licht erst nach 1 km Weges in der Faser zur Hälfte absorbieren. Deshalb steht der Verwendung äußerst langer Schleifen hinsichtlich der Glasabsorption nichts im Wege. Wohl aber würde das der Handlichkeit totalen Abbruch tun. Dagegen gibt es jedoch ein einfaches Mittel. Man darf ja die Faser beliebiger Länge um eine zylindrische Spule wickeln und erreicht denselben Zweck, weil es nur auf die Weglänge im Glas und nicht auf die Form der Schleife ankommt, auf die Größe des Effektes hat dies keinerlei Einfluß. Auch dürfen Glasfasern beliebig verbogen werden, ohne ihre Fähigkeit, das Licht in ihrem Inneren fortzuleiten, zu verlieren.

In Ulm wird bereits ein auf die beschriebene Weise funktionierender optischer Kreisel betrieben. Mit ihm lassen sich Winkelgeschwindigkeiten von nur einigen wenigen Bogengraden pro Stunde einwandfrei messen. Obendrein findet das komplette Gerät in einer Schuhschachtel Platz.

Vorläufig sind allerdings mechanische Kreisel, soweit es die Präzision betrifft, dem optischen noch weit überlegen, aber dieser „Schönheitsfehler“ wird sicher in absehbarer Zeit behoben werden können.

**LITERATUR:**

Umschau i. W. u. T., 19. 2. 1982, S. 111, U. Niemeyer, Kreisel ohne Schwingung.

## Pflanzenfasern dienen der Natur als Lichtleiter

Der Stolz über die Errungenschaften der Naturwissenschaften erhält von Zeit zu Zeit einen gehörigen Dämpfer, der uns vor Überheblichkeit bewahrt. Es stellt sich nämlich nicht allzu selten heraus, daß manche Ergebnisse langer und mühevoller Forschung, von denen man glaubt, nichts Gleichartiges in der Natur vorzufinden, in Wahrheit schon seit undenklichen Zeiten in ihr verwirklicht und von ihr benützt werden, ohne daß es dem Menschen früher aufgefallen wäre.

Als Beispiele lassen sich unter anderem die UV- und Polarisations sensitivität der Bienen, das Ultraschallgehör von Fledermäusen, Delphinen und Hunden sowie die Existenz von magnetischen Bakterien anführen, die als lebende Dipole die Meere bevölkern. (S. auch Wiss. Nachr., Nr. 48, Sept. 1979, S. 40, Magnetische Bakterien; Nr. 52, Jänner 1980, S. 36, Neues über die magnetischen Bakterien.)

Vor kurzem wurde nun sogar die Fähigkeit gewisser Pflanzen entdeckt, das Tageslicht mittels als Lichtleiter fungierender Gewebefasern ihren unter dem Erdboden befindlichen Teilen zuzuführen.

Lichtleiter sind bekanntlich Bündel von äußerst feinen, parallel liegenden Glasfäden, die Faden für Faden von einer optisch dünneren Schicht ummantelt sind. Das an einem Bündelende eindringende Licht tritt nach vielfacher Totalreflexion am Wandbelag der Fasern schließlich am anderen Ende ohne nennenswerte Veränderung des Strahls wieder ins Freie. Dabei spielen allfällige Krümmungen (nicht Knickungen) der Faser überhaupt keine Rolle, weil der Abstand sukzessiver Reflexionsstellen bedeutend kleiner als der lokale Krümmungsradius ist.

Es erscheint seit je ungeklärt, auf welche Weise das von den kleinen ins Freie ragenden Keimlingen empfangene Licht in die unter dem Erdboden befindlichen Pflanzenteile gelangen und die Photomorphogenese hervorrufen können. Dazu genügt bereits die Bestrahlung der Gewächse mit kümmerlichen Lichtmengen.

D. F. Mandoli und W. R. Briggs (Stanford-Univ. und Carnegie Institution of Washington's Department of Plant Biology in Stanford) nahmen sich des Problems an und fanden, daß die Pflanzenfasern von Hafer, Mais und einer Bohnenart als richtige Lichtleiter das Tageslicht über Distanzen von 45 mm und mehr den tieferen Pflanzenteilen zuführen. Die Forscher hatten die übergroße Lichtempfindlichkeit von jungen, bis zur ersten Bestrahlung völlig im Dunkeln aufgezogenen Haferkeimlingen wahrgenommen. Solange von den jungen Pflänzchen jegliche Lichtzufuhr ferngehalten wurde, blieb ihr Stamm ganz hell, und ihm entsprossen nur ein paar hellgelbliche Blätter von recht mitgenommenem Aussehen. Die Bestrahlung mit ganz geringen Mengen grünen Lichtes genügte jedoch, die Photomorphogenese auch in den von der Erde bedeckten Teilen auszulösen. Das zunächst unverständliche Verhalten weckte in Mandoli und Briggs die Vermutung, die Pflanzenfasern könnten als Lichtleiter das bedeckte Gewebe mit Photonen versorgen, ehe es noch aus der Erde herauswächst.

Um die Hypothese auf ihre Richtigkeit hin zu prüfen, belichteten sie ein Bündel des bis dahin im Dunkeln bewahrten Hafergewebes an einem Ende (unter Lichtabschirmung der anderen Teile) mit einem 0,5 mW He-Ne-Laser und hielten an das zweite Ende einen Photovervielfacher. Seine Reaktion fiel eindeutig zugunsten der Vermutung aus, denn sie war unabhängig davon, wie oft und wie stark das Bündel gekrümmt war. Das schloß den Lichttransport via Streuung aus, nur die Totalreflexionen wie in Lichtleitern konnten den Transport ermöglichen. Womit der Natur die Priorität in der Erfindung von Lichtleitern zuzusprechen ist.

**LITERATUR:**

Sciet. Am., Aug. 1982, S. 80, The Botanical Light Guide.

## Die scheinbaren Überlichtgeschwindigkeiten

Zum Zeitpunkt  $t = 0$  befinde sich eine Radioquelle Q im Abstand D vom Beobachter B im Punkt  $A_0$  (siehe Abb. 2) und nähere sich B gleichförmig mit der Geschwindigkeit  $v < c$  auf einer Bahn, die mit der Sehlinie  $A_0B$  den Winkel  $\alpha$  einschließt. Im Zeitpunkt  $t$  befinde sich Q im Punkt  $A_t$ , habe sich also von der ursprünglichen Sehlinie  $A_0B$  um die Strecke  $vt \cdot \sin \alpha$  seitlich verschoben.

Die Radiowellen, die aus der Position  $A_0$  gegen B fortschreiten, erreichen B nach der Zeit  $D/c$ .

Die Radiowellen, die aus der Position  $A_t$  gegen B fortschreiten, werden um  $t$  Sekunden später als die aus  $A_0$  emittierten ausgesandt und haben dann „nur“ noch den Weg  $D - vt \cdot \cos \alpha$  zurückzulegen (weil D kosmische Dimensionen hat, darf man  $A_0B$  und  $A_tB$  als praktisch parallel ansehen), ehe sie B erreichen.

Die Ankunftszeiten  $t_1, t_2$  der beiden Signale in B sind daher

$$t_1 = D/c,$$

$$t_2 = t + (D - vt \cdot \cos \alpha)/c.$$

Somit verschiebt sich Q für B in der Zeit

$$t_2 - t_1 = t \cdot (c - v \cdot \cos \alpha)/c$$

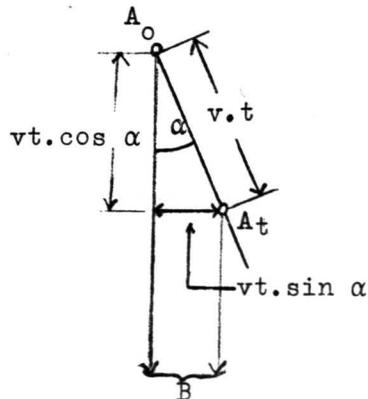


Abb. 2

seitlich um das Wegstück  $s = vt \cdot \sin \alpha$ . Demgemäß beträgt die von B ermittelte Transversalgeschwindigkeit  $v_n$  von Q

$$v_n = s / (t_2 - t_1) = \frac{vt \cdot \sin \alpha}{t(c - v \cdot \cos \alpha)} \cdot c = \frac{vc \cdot \sin \alpha}{c - v \cdot \cos \alpha}$$

Damit  $v_n = k \cdot c$ ,  $k > 1$ , vorgetäuscht wird, muß die Ungleichung

$$v \cdot \sin \alpha / (c - v \cdot \cos \alpha) > 1$$

erfüllt sein. Zu vorgegebenem Winkel  $\alpha$  gehört ein bestimmter  $v$ -Wert, der ein vorgegebenes  $k$  bewirkt, nämlich

$$v = k \cdot c / (\sin \alpha + k \cdot \cos \alpha)$$

Dann ist  $v_n = k \cdot c$ .

**Beispiel:**  $\alpha = 5,73^\circ = 0,1 \text{ rad}$ ,  $\sin \alpha = 0,1$ ,  $\cos \alpha = 0,995$ ,  
 $k = 10$ ,  
 $v = 10 \cdot c / (0,1 + 9,95) = 0,995 \cdot c$ .

Wenn sich daher eine Radioquelle mit 99,5% der Lichtgeschwindigkeit unter dem Winkel  $\alpha = 5^\circ 44'$  zur Sehlinie auf uns zubewegt, dann scheint sie sich mit der zehnfachen Lichtgeschwindigkeit senkrecht zur Sehlinie zu bewegen.  $v$  bleibt in diesem Fall nur um 1500 km/s hinter  $c$  zurück.

Natürlich ist mit dem Einwand gegen die obigen Überlegungen zu rechnen, daß es völlig unglaublich erscheint, Materie könnte mit derart extremen Geschwindigkeiten von einem Himmelskörper ausgeschleudert werden. Abgesehen von den weiter unten noch zu berichtenden Beobachtungsfakten wäre aber zu bedenken, daß selbst 0,995  $\cdot c$  theoretisch leichter zu verdauen ist als zehnfache Lichtgeschwindigkeiten, wie sie vom Quasar 3C 273 vorgetäuscht werden! Womit wir bei den Fakten angelangt wären.

Die regelmäßige Beobachtung des Quasars 3C 273 seitens einer Caltech-Gruppe unter der Leitung von T. J. Pearson, die ab 1977 mit dem VLBI (= very long base Radio-Interferometer), dessen Radioteleskope in Kalifornien, Texas, West Virginia, Massachusetts stehen und in deren System auch gelegentlich das deutsche Radioteleskop in Effelsberg einbezogen wurde, ergab die Loslösung eines Materiekumpens vom Kern des Quasars, der zwischen 1977 und Juli 1980 um 25 Lj. seitlich vom Kern wegwanderte. Unter der – heute ziemlich gut gesicherten – Annahme nach Mrd. Lj. zählenden Quasardistanzen verschiebt sich die emittierte Materie mit der 9,6fachen Lichtgeschwindigkeit. Anhand des obigen Beispiels müßte sich also der Klumpen mit  $v = 0,995 \cdot c$  auf uns zubewegen. Die Skepsis wird aber verringert, wenn man sich daran erinnert, daß bei einigen Objekten mit bekannten Abständen symmetrisch zu ihnen angeordnete sogenannte Jets von ausgestoßener Materie festgestellt wurden, die mit gemessenen Geschwindigkeiten bis zu  $c/3$  von ihrem Muttergestirn nach entgegengesetzten Richtungen wegfliegen. Gewiß, 0,995  $\cdot c$  sind Werte, die wegen ihrer frappierenden Nähe zu  $c$  trotzdem ernste Probleme aufwerfen.

Hier kommt aber die Spez. Relativitätstheorie zu Hilfe. Je näher nämlich  $v$  an  $c$  liegt, desto stärker konzentriert sich die Strahlung eines auf den Beobachter zufliegenden Jets in einen Kegel mit zunehmend kleinerem Öffnungswinkel bzgl. der Sehlinie als Achse. Daher ist der in konträrer Richtung vom Objekt wegfliegende Jet vom Beobachter nicht wahrnehmbar. Nun, der von 3C 273 wegfliegende Klumpen hat kein bezüglich des Quasars symmetrisch angeordnetes Gegenstück auf den Radiokarten des VLBI. Dies im Gegensatz zu den symmetrischen Jets anderer Objekte. Das scheinbare Fehlen des symmetrisch angeordneten Gegenstücks zum beobachteten Klumpen darf daher als Stütze für die oben gegebene Interpretation der anscheinend superluminalen Bewegung und der damit einhergehenden relativistischen Effekte angesehen werden.

Eine andere Frage betrifft die Energietönung des Vorgangs. Wie ist es möglich, daß riesige Massen mit von  $c$  kaum verschiedenen Geschwindigkeiten ausgeschleudert werden?

Die Galaxis NGC 6251 hat zwei Jets, deren Ausbildung auf Grund ihrer heutigen Ausdehnung zirka 500 Mio. Jahre gehalten haben muß. Nach der Größe und den Geschwindigkeiten dieser Jets wäre ein Energieaufwand nötig, der der vollständigen Umwandlung von etwa 10 Mio. Sonnenmassen in Energie entspräche. Derzeit gibt es dazu lediglich eine Erklärung: Es kann sich nur um Gravitationsenergie handeln, die aus dem Schwerfeld eines rotierenden Schwarzen Loches von vielleicht einer Milliarde Sonnenmassen stammt. Der Massenausstoß könnte natürlich nur in den Richtungen parallel und antiparallel zur Drehachse erfolgen. Die beim Einfall von Materie in das ungeheure Schwerfeld des Schwarzen Loches erfolgende Umwandlung von potentieller in kineti-

sche Energie wäre imstande, die Energiebilanz zwischen einfallender und ausgestoßener Materie auszugleichen. Ob diese Interpretation der Wirklichkeit entspricht, ist eine Frage, die intensiver weiterer Forschung bedarf, so diese überhaupt imstande sein wird, das Problem zu klären!

#### LITERATUR:

Scient. Am., Juni 1982, S. 39, A. C. S. Readhead, Radio Astronomy by Very-Long-Baseline Interferometry.

## Fernrohre als optische Interferometer

Interferometer für sichtbares Licht existieren schon lange, man denke nur an das Michelson-Interferometer. Der Gegenstand dieses Berichtes betrifft aber eine andere Art von Interferometer, nämlich das optische Analogon zu den Systemen von Radiointerferometern, die das Winkel- und Richtungsaufhebungsvermögen für die aus dem Weltraum eintreffenden Radiowellen gegenüber dem Auflösungsvermögen einzelner Radioteleskope so gewaltig verbessert haben, daß heute die Positionen von kosmischen Radioquellen auf Bruchteile einer Bogensekunde genau angegeben werden können.

Erstaunliche Ergebnisse erbrachten seit 1956 R. Hanbury Brown und R. Q. Twiss mit dem von ihnen konstruierten Intensitäts-Interferometer in Narrabri, Australien. [S. Wiss. Nachr.: 1) Okt. 64, Nr. 6, S. 19, Messungen des scheinbaren Durchmessers von Fixsternen; 2) Juni 65, Nr. 8, S. 27, Das Intensitäts-Interferometer zu Narrabri, Australien; 3) April 69, Nr. 20, S. 42, Die Wirkungsweise des Intensitäts-Interferometers.] Die beiden britischen Astronomen konnten die Winkeldurchmesser einiger heller Sterne mit ihrem Gerät einwandfrei bestimmen. (S. Wiss. Nachr., Dez. 68, Nr. 19, S. 34, Direkte Messungen von scheinbaren Sterndurchmessern.)

Nun aber hat ein Team französischer Astronomen (A. Labeyrie et al.) vom CERGA-Institut (= Centre d'Etudes et de Recherches Géodynamiques et Astronomiques) einen Weg beschritten, der sich nach den bereits erzielten positiven Ergebnissen als gangbar erwiesen hat und in ganz besonderem Maße als entwicklungsfähig erscheint, vorausgesetzt, das Geld für die – keineswegs exorbitanten – Kosten kann beschafft werden. Man darf mit Zuversicht erwarten, daß mit dieser Methode unter anderem die Identifizierung von nicht-solaren Planeten, die Bestimmung von Sternabplattungen, die Beobachtung der Pulsationen von Cepheiden, vielleicht sogar der Granulation und der Flares von Sternen möglich sein werden.

Die Spiegelgröße von Reflektoren ist keiner beliebigen Steigerung fähig, die in Betrieb stehenden Spiegel von 5 m bzw. 6 m Durchmesser (Mt. Palomar, Kaukasus) dürften noch lange den Rekord halten, ja, es ist fraglich, ob er je gebrochen werden wird (obwohl man sich auch darüber ernstlich Gedanken macht). Nur mit einem Mosaik von mehreren etwas kleineren Spiegeln, sogenannten Multi-Mirror-Systemen, wären größere Durchmesser zu erzielen, aber auch diese Bäume können nicht in den Himmel wachsen! Die Spiegelmasse, die Verformungen des wie ein äußerst viskoser Tropfen wirkenden Glases nach Lageänderungen des Spiegels infolge des hohen Eigengewichtes, die Bearbeitung der Spiegeloberfläche, die Herstellungskosten (sie wachsen mit dem Kubus des Durchmessers!), vor allem aber die Unruhe der irdischen Lufthülle beschränken sehr drastisch die Möglichkeiten, mit Einzelteleskopen über das Erreichte hinauszugehen.

In der Radioastronomie hat man dank dem Einsatz mehrerer, in größeren Abständen aufgestellter Radioteleskope, die simultan und kooperierend beobachten, großartige Erfolge erzielt. Es ist so, als wäre jede ihrer Antennen das Teilstück eines riesigen Teleskops, dessen Antennendurchmesser gleich der Länge der Basislinie zwischen den Teleskopen der Anordnung ist. Das Auflösungsvermögen eines Fernrohres bestimmt sich je nach der Beobachtungsfrequenz nur durch das Verhältnis  $D/\lambda$  des Spiegeldurchmessers zur Wellenlänge. Heute existieren bereits Systeme von Radiointerferometern, deren Basislinien mehrere 1000 km lang sind. Zur Illustration ein Vergleich:

Radiointerferometer:  $D = 4000 \text{ km}$ ,  $\lambda = 10 \text{ cm}$ ,  $D/\lambda = 4 \cdot 10^7$ ;  
 5-m-Spiegel (Mt. Palomar):  $D = 5 \text{ m}$ ,  $\lambda = 4 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ ,  $D/\lambda = 1,25 \cdot 10^7$ .

Das Radiointerferometer löst besser auf als der 5-m-Spiegel!

Soll ein ähnlich arbeitendes optisches Interferometer gebaut werden, so müssen mindestens zwei Fernrohre im Ab-

stand D von mindestens etlichen Metern aufgestellt werden und zusammenarbeiten. Auch sie wirken dann als zwei Oberflächenelemente eines (als ganzem nicht vorhandenen) Superspiegels vom Durchmesser D und besitzen sein Auflösungsvermögen! Natürlich hat das physikalisch seinen Preis: Das eingestellte Himmelsfeld ist nicht direkt beobachtbar, der Zeitaufwand für die Beobachtung vergrößert sich, und die einfallende Lichtleistung ist nur die Summe der von den zwei Spiegeln empfangenen Leistung, nicht etwa der Lichtstrom, der den ganzen Superspiegel treffen würde, gäbe es ihn.

Der Bau optischer Interferometer der geschilderten Art stellt an die Präzisionsmechanik extremste Forderungen. Das ergibt sich aus der Arbeitsweise einer solchen Anlage. Wir betrachten ein Zwei-Spiegelsystem.

Jeder Spiegel reflektiert das einfallende Licht zur zentralen Einheit, wo die beiden Strahlen einander überlagern und gemeinsam in den Coudé-Fokus gelangen. Dort entsteht ein Interferenzmuster, aber nur, solange der Winkeldurchmesser  $\omega$  des betrachteten Objekts kleiner bleibt als ein Winkel  $\alpha$ , der eine Funktion des Abstandes der Spiegel von der zentralen Einheit ist. Reduziert man diesen Abstand allmählich, dann verschwinden mit einem Male die Interferenzstreifen, und zwar dann, wenn  $\omega$  und  $\alpha$  übereinstimmen. Dabei spielt die Luftunruhe – und das ist von entscheidender Bedeutung – keine Rolle! Auf diese Weise kann man also den Winkeldurchmesser von Sternen bestimmen.

Schon H. Fizeau wies auf diese Möglichkeit hin. Seinen einschlägigen Versuchen, ebenso jenen anderer Physiker und Astronomen blieb der Erfolg versagt, weil bei Abständen der Spiegel von 1 m nur bis  $\alpha = 0.1''$  vorgeordnungen werden konnte, während alle Fixsterne erheblich kleiner erscheinen.

Noch eine ganz wesentliche Bedingung muß erfüllt sein: Die Längen der Lichtpfade vom Spiegel bis zur Überlagerungsstelle in der Zentralstation muß bis auf ganz wenige Wellenlängen übereinstimmen, weil nur kohärente Lichtbündel brauchbare Interferenzmuster liefern. Daraus folgt zunächst die Notwendigkeit, die Geräte selbst gegen die geringsten Erschütterungen (Wind, Umgebung, Erdboden, temperaturbedingte Dislokationen usw.) peinlichst abzuschirmen. Das geschieht durch eine entsprechend massive Halterung der Spiegel und der Überlagerungseinheit. Da aber die Beobachtungen bei verschiedenen Spiegelabständen D zu erfolgen haben, ist eine Präzisionsbahn zum Verschieben der Spiegel, aber auch der Zentraleinheit erforderlich. Letzteres, um die Lichtpfade trotz der täglichen Bewegung der Himmelskörper am Himmel in übereinstimmender Länge zu halten. Die Präzisionsbahn verläuft beim Interferometer der CERGA-Gruppe in N-S-Richtung. Die auf diese Weise gestaltete Nachführung unter Erhaltung der Kohärenz entlang dem Führungsgleis ist nur mittels eines computergesteuerten Mechanismus zu erreichen. Das zu verwirklichen war das schwierigste Problem für das CERGA-Team, wurde aber gemeistert.

Die Beobachtung desselben Objekts bei unterschiedlichen Spiegelabständen D ist erforderlich, weil bereits aus den Unterschieden der Interferenzstreifen in Abhängigkeit von D auf den Sehwinkel  $\omega$  geschlossen wird, ohne daß man solange die Spiegel verschieben müßte, bis das Interferenzmuster wieder verschwindet.

Labeyrie und seine Mitarbeiter arbeiten schon seit ein paar Jahren mit einem Zwei-Spiegel-System in den französischen Südalpen nahe dem Ort Grasse. Sie bezeichnen die Anlage mit 12 T. Im Einsatz stehen zwei Coudé-Teleskope mit je 25 cm Spiegeldurchmesser. Der maximale Spiegelabstand beträgt D = 67 m. Die auf wenige Mikrometer genaue Übereinstimmung der Lichtpfade erfolgt so: Zuerst begnügt man sich mit der problemlosen Grobeinstellung auf eine zulässige Wegdifferenz von einigen Millimetern. Dann wird D in Einzelschritten von 0,01 mm Länge variiert, bis die Interferenzstreifen erscheinen. Sie durchziehen das von den zwei Spiegeln erzeugte Bild des Objektes. Vor der Einstellung auf den zu untersuchenden Himmelskörper wird anhand eines benachbarten hellen Sterns kalibriert. 12 T erlaubt auch die Untersuchung von Infrarot-Objekten. Die guten Erfahrungen auf diesem Gebiet lehren, daß tausende IR-Quellen vermessen werden können. Denn diese Art der Interferometrie ist nicht auf besonders helle Sterne beschränkt wie das Intensitätsinterferometer in Narrabri. Ersetzt man nämlich später die beiden 12-T-Teleskope durch leistungsfähigere, werden Sterne bis zur Größenklasse 18<sup>m</sup> der Untersuchung zugänglich. Aber schon jetzt kommt man bis 13<sup>m</sup> mit 12 T. Nachstehend einige Ergebnisse aus den frz. Alpen.

Stern	D <sub>max</sub> (Meter)	Winkel- durchmesser in 0,001''	Entfernung (pc)	R/R <sub>Sonne</sub>
$\alpha$ Cas	16,0	5,0 ± 0,6	45 ± 9	26 ± 8
$\beta$ And	8,2	12,0 ± 1,5	23 ± 3	33 ± 9
$\gamma$ And	19,2	5,3 ± 0,5	75 ± 15	50 ± 14
$\alpha$ Ari	14,3	6,0 ± 2,0	–	–
$\alpha$ Per	17,6	2,8 ± 0,4	175 ± 6	55 ± 9
$\alpha$ AurA	13,8	7 } Binär- 4 } system	–	–
$\alpha$ AurB	13,8		–	–
$\alpha$ Cyg	34,5	2,6 ± 0,2	500 ± 100	145 ± 45

Neben den in der Tabelle angeführten Objekten hat man noch etliche andere vermessen, bei denen aber nur angegeben werden kann, daß ihr Winkeldurchmesser kleiner (in einem Fall größer) als eine bestimmte Anzahl von Millibogen-sekunden ist.

$\alpha$  Aur, das ist der Stern Capella im Fuhrmann, ist besonders hervorzuheben. Die Interferenzstreifen zeigten Schwebungen, aus denen der Abstand der beiden Komponenten A, B mit der Genauigkeit von 0,0003'' erschlossen werden konnte.

Erfreulich ist auch die stattgefundene Auflösung des Binärsystems  $\beta$  Aur, weil das System bedeckungsveränderlich ist, das erste, das 12 T aufs Korn genommen hat. Leider gelang die Trennung der Komponenten des bedeckungsveränderlichen Algol-Dreifach-Systems nicht gut, offenbar ist das allzu-große Helligkeitsverhältnis 10 : 1 der Komponenten A und B schuld. Der Partner C ist zu lichtschwach, als daß er wahrzunehmen gewesen wäre. C wurde erst vor ein paar Jahren von Labeyrie mittels Speckle-Interferometrie entdeckt.

Der Austausch der beiden 25-cm-Fernrohre der 12-T-Anlage gegen größere Geräte kann erst erfolgen, bis das Problem der exakten Verschiebung der dann bedeutend massiveren Teleskope und ihrer Lagerungen gelöst sein wird. Es bestehen jedoch schon jetzt aussichtsreiche Vorschläge, an deren Verwirklichung fleißig gearbeitet wird. Nach diesen Plänen befindet sich jedes der Teleskope in einer mit ihm starr verbundenen Hohlkugel, in der auch der Beobachter sitzt. Die Hohlkugel ruht beweglich auf zwei horizontalen Ringen, den sogenannten „Füßen“, so daß sie und damit das Fernrohr nach jeder Raumrichtung hin gedreht werden können. (Man stelle sich einen Rettungsring in einem Schwimmbad vor, der einen großen hohlen Gummiball trägt. Ohne Bewegung des Ringes erlaubt der Gummiball jede Raumdrehung.) Jeder „Fuß“ besteht aus 12 gummigepolsterten, untereinander starr verbundenen „Kissen“. Die Kissen ruhen auf Stahlkugeln und bilden so ein sphärisches Lager für den Hohlkugelbehälter des Fernrohres. Kolben unter den Stahlkugeln erlauben, jeden „Fuß“ bis zu 1 mm anzuheben. Die Kolben sind in zwei Gruppen an entgegengesetzten Stellen des Basissringes befestigt, sie werden durch Computer mit 0,01 mm Genauigkeit reguliert. Die Abb. kann die Anordnung besser veranschaulichen als die Wortbeschreibung. Die Richtung der Teleskopachse wird auf 1'' genau eingestellt. Die allseitige Verdrehbarkeit der Hohlkugel erlaubt, das Teleskop in äquatorialer oder Höhe-Azimuth- oder Höhen-Höhen „Montage“ einzusetzen.

Ein Prototyp der eben geschilderten sphärischen Teleskop-lagerung wurde bereits 1981 von der frz. Gruppe gebaut. Die hohle Betonkugel hat 3,2 m Durchmesser. Sie enthält ein Teleskop mit einem 1,52-m-f/3-Parabolspiegel. Nach Lösung aller beim Bau aufgetretenen Probleme hat der Prototyp den gestellten Anforderungen entsprochen. Auch Sterne wurden damit bereits untersucht, vorerst allerdings nur mit einer Speckle-Kamera (Cassegrain Fokus). Ein zweites identisches Teleskop befindet sich in Bau. Nach der Fertigstellung (sie sollte 1982 erfolgen) wird dann der Einsatz als Zwei-Teleskop-Interferometer möglich sein. Falls die Überprüfungstests den Forderungen genügen, ist der Bau weiterer Teleskope vorgesehen, mit denen ein Mehrfach-Teleskopsystem entsteht. Vorbilder geben die großen Radiointerferometer ab.

Die Verwendung solcher optischer Interferometer im Welt-raum, der dank dem nunmehr möglichen Transport mittels Raumfähre nichts im Wege steht, eröffnet ungeahnte Perspektiven für die astronomische Forschung.

Die tollste Aussicht: Es erscheint möglich, Moleküle in einer von stehenden Wellen erzeugten Interferenzstruktur „einzusperrn“, welch letztere von parallelen gegenläufigen Laserstrahlen hergestellt wird. Die geschichteten Moleküle

könnten sich wie ein Reflexions-Hologramm verhalten und so imstande sein, das Sternlicht zu fokussieren. Im Weltraum eingesetzt, könnten auf diese Weise vielleicht „Spiegel“ von 100 oder 1000 m Durchmesser zustandekommen? Aber das ist noch Zukunftsmusik, erst die experimentelle Realisierung wird entscheiden, ob das überhaupt geht! Trotzdem, die Vision eines solchen Gerätes allein ist faszinierend, auch dann, wenn vorläufig dringendere andere Probleme im Vordergrund stehen und der Lösung harren.

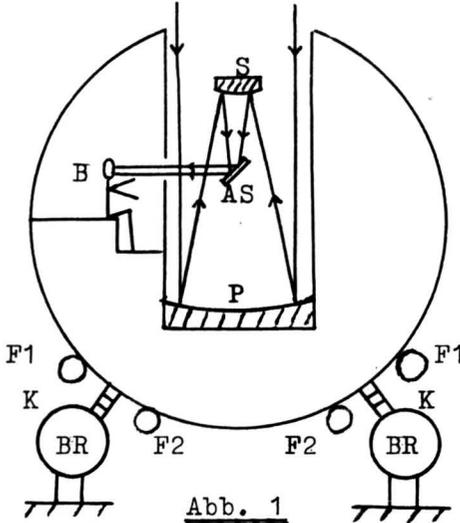


Abb. 1

- B = Beobachter
- P = Primärspiegel
- S = Sekundärspiegel
- AS = Ablenspiegel
- F1 = Fuß 1
- F2 = Fuß 2
- K = sphärische Lagerung auf Kolben
- BR = Basisring

Abb. 1

**LITERATUR:**  
 (1) Sky and Tel., April 1982, S. 334, A. Labeyrie, Stellar Interferometry: A Widening Frontier.  
 (2) Sterne u. Weltraum, April 1982, S. 150, Th. Reddmann, Fixsterndurchmesser mit 25-cm-Teleskopen bestimmt.

## Ab 1985 umkreist ein 2,4-m-Teleskop die Erde

(Ergänzung zum Artikel „Der 2,4-m-Spiegel des Raumteleskops ist fertiggestellt“ in Nr. 60 (Sept. 1982) der Wissenschaftlichen Nachrichten.)

### Das Projekt

Die irdische Lufthülle behindert das Studium der Himmelskörper in doppelter Hinsicht. Die unvermeidlichen Dichteschwankungen der Atmosphäre verschmieren die Bilder der Objekte und setzen der Bildschärfe sowie dem Auflösungsvermögen Schranken, die kein noch so leistungsfähiges Gerät verbessern kann. Ferner ist die Luft für ausgedehnte Abschnitte des elektromagnetischen Spektrums undurchsichtig, die betreffenden Strahlungsbereiche sind der Beobachtung unzugänglich. Deshalb ging man schon vor geraumer Zeit daran, mit instrumentenbestückten Ballons und Raketen die Lufthülle weitgehend auszuschalten und während der kurzen Flugzeit im höchsten Bahnteil jene Informationen zu sammeln, die vom Boden aus nicht erhältlich sind. Mit dem Aufkommen der Raumfahrt boten sich Satelliten als Instrumententräger an, die seither in jahrelangem Einsatz eine Fülle spektakulärer Entdeckungen machten (UHURU, Einstein-Satellit usw.).

Im Jahre 1962 erfolgte der erste Vorschlag, ein größeres Raumteleskop in eine Erdumlaufbahn zu bringen, das im optischen Bereich, aber auch in dessen naher UV- und IR-Umgebung den Himmel unseren Blicken besser erschließen sollte. Der Ruf verhallte zunächst, erscholl drängender im

Jahre 1965, und schon 1969 war daraufhin ein erster Projektbericht fertiggestellt. Drei Jahre später erarbeitete eine andere Gruppe die Einsatzmöglichkeiten von Raumteleskopen, ab 1974 beschäftigte sich ein Team im Auftrag der NASA mit dem inneren Aufbau eines solchen Fernrohres als Reflektor und den zu installierenden Geräten. Ab 1977 stieß eine weitere Forschungsgruppe dazu, und 1978 wurde das nunmehr schon sehr konkretisierte Formen annehmende Projekt vom US-Kongreß anerkannt. Heute befindet sich das Raumteleskop bereits im Fertigungsstadium. Die hiezu nötigen Vorarbeiten beschäftigen seit zehn Jahren eine Reihe von Teams hervorragender Wissenschaftler und Techniker, deren jedem ein bestimmter spezieller Aufgabenbereich zugewiesen ist.

Im Jahre 1985 soll das Raumteleskop mit Hilfe des Raumtransporters in die vorgesehene Umlaufbahn befördert werden. Die vorgesehene Lebensdauer von 15 Jahren wird sicher beträchtlich überschritten werden, wie es schon bei anderen Raummissionen der Fall war. Zur Wartung der Instrumente, zur Vornahme von Aus- und Verbesserungen und zur Montage neuer Geräte sollen gelegentlich Fachleute mit dem Raumtransporter das Raumteleskop kurzzeitig aufsuchen, um die erforderlichen Arbeiten auszuführen. Alle fünf Jahre wird das Raumteleskop zwecks Überholung zur Erde zurückgebracht und nach Beendigung der Arbeiten wieder in seine Bahn zurückbefördert werden. Die Kosten des Unternehmens beziffern die Experten mit 750 Mio. Dollar.

Das Beobachtungsprogramm verwaltet die AURA (= Association of Universities for Research in Astronomy) für die NASA. In der AURA arbeiten Gelehrte aus 17 Universitäten zusammen. Die AURA hat das Space Telescope Science Institute an der John-Hopkins-Universität neu gegründet, das im Verein mit dem Goddard Space Flight Center in Greenbelt, Md., für die anfängliche Betätigung des Raumteleskops und für die Datenanalyse die Verantwortung tragen wird.

Auch die ESA (= European Space Agency) ist zu 15% an der Konstruktion beteiligt. Europäischen Astronomen werden dementsprechend 15% der Beobachtungszeit zur Verfügung gestellt. In München wird sich ferner das selbständig arbeitende Zentrum der ESA für Datenanalyse befinden.

### Das Teleskop

Spiegel und Instrumente sind in einem 12,6 m langen, 4,2 m weiten zylindrischen Rohr untergebracht. Die Cassegrain-Optik ist vom Ritchey-Chrétien-Typ. Der konkave hyperbolische Primärspiegel hat 2,4 m Durchmesser und 900 kg Masse. Die Bearbeitung seiner Oberfläche nahm 28 Monate in Anspruch. Die Glattheitstoleranz der Spiegeloberfläche beträgt 10 nm, das ist ein Vierzigstel der Wellenlänge von blauem Licht! Die reflektierende Al-Schicht auf dem Sil-Glaskörper ist 75 nm, die daraufliegende MgF<sub>2</sub>-Schutzschicht ist 25 nm dick. Der thermische Ausdehnungskoeffizient des Spezialglases ist so niedrig, wie man es derzeit überhaupt erreichen kann. Überdies hält ein Thermostat die Spiegeltemperatur konstant.

Der gleichfalls hyperbolische, jedoch konvexe Sekundärspiegel liegt 4,8 m vor dem Primärspiegel. Er reflektiert das vom Primärspiegel zurückgeworfene Licht neuerdings und lenkt es durch die hierfür vorgesehene zentrale Öffnung im Primärspiegel auf die Brennebene, die 2 m hinter dem letzteren angeordnet ist.

Der Tubus endet erst 3 m vor dem Sekundärspiegel, um das Streulicht abzuschirmen, das die Sonnenstrahlung hervorruft.

### Die Geräte

Ein Teil der Geräte ist in vier Behältern parallel zur optischen Achse untergebracht, ein anderer Teil befindet sich in vier radial bezüglich der optischen Achse montierten Behältern. Der Elektronik und anderen Einrichtungen sind Plätze in einem toroidalen Abschnitt an der Rohrbasis zugewiesen. Die Energie liefern zwei Sonnensegel mittels Solarzellen.

Drei der vier radial liegenden Behälter enthalten das Führungssystem, das der optischen Achse nicht mehr als um 0,01" von ihrer Soll-Richtung abzuweichen gestattet. Die Eintrittsfenster für die achsenparallel gelagerten Instrumente liegen in der Brennebene, sind fast 0,5 m weit und bieten ein Gesichtsfeld von 28' Weite. Das so in der Fokalebene erzeugte Bild gibt 3,58" der Himmelsobjekte pro mm wieder.

Der Bordcomputer überwacht das Teleskop und bearbeitet die einlangenden Daten. Er ist programmierbar, damit er die Arbeit des Teleskops nach Bedarf oder auf Grund gewon-

nerer Erfahrungen modifizieren kann. Deshalb ist jedes Gerät gegen ein anderes während des Fluges um die Erde auf Befehl der Bodenstelle austauschbar.

Die Kommunikation Bodenstelle-Fernrohr sowie die übrige Kontrolle obliegt dem **NASA Tracking and Data Relay Satellite System**.

Die 5 wichtigsten der 6 Hauptgeräte sind:

1. Die weitfeldplanetarische Kamera (WPK).
2. Die Kamera für extrem lichtschwache Objekte (IsK).
3. Der Spektrograph für extrem lichtschwache Objekte (IsSp).
4. Der hochauflösende Spektrograph (hSp).
5. Das Hochgeschwindigkeits-Photometer (HPh).

Der zugängliche Spektralbereich wird von 115 nm bis 1 µm reichen, wenn später auch die vorgesehenen IR-Detektoren eingebaut sein werden, die man 1985 noch nicht unterzubringen beabsichtigt.

**Ad 1:** Die WPK kann entweder auf ein größeres Gesichtsfeld (bei schwächerer Auflösung) oder als höherauflösende Kamera (mit eingeschränktem Gesichtsfeld) eingestellt werden. Von der zweiten Einsatzvariante stammt auch der zweite Namensteil, weil sich diese für die Planetenbeobachtung besonders gut eignet. Als Detektoren dienen in beiden Verwendungsformen je vier **CCD** (= charge coupled devices). Das sind kleine Si-Chips, die Licht in elektrische Signale umwandeln. Jeder Chip ist ein Quadrat von 12 mm Seitenlänge und enthält eine schachbrettartige Anordnung von  $800 \times 800 = 6,4 \cdot 10^5$  „Pixel“, wie im Angelsächsischen die Bildelemente heißen. Jedes Pixel veranlaßt ein zur Anzahl der während der Exposition einfallenden Photonen proportionales elektrisches Signal. Vier CCD ergeben ein vierteltes Mosaikbild, produziert von 2,5 Mio. Pixel.

Nur ein Teil des gesamten einfallenden Lichtes wird über einen unter  $45^\circ$  zur optischen Achse geeigneten Spiegels auf die Chips gelenkt, das übrige Licht gelangt zu den anderen Geräten. Das größere der beiden Gesichtsfelder der WPK ist ein Quadrat von  $2,67' \times 2,67'$ . Auf ein Pixel entfallen  $0,1''$ .

Ist die WPK auf „planetarisch“ eingestellt, dann reduziert sich das quadratische Gesichtsfeld auf nur  $68,7'' \times 68,7''$ , jedes Pixel empfängt Licht aus dem Sehwinkel  $0,043''$ .

Neben den Untersuchungen von Planeten eignet sich die planetarische Version auch für die Analyse ausgedehnter Galaxien und für Objekte jenseits unserer Milchstraße.

Die WPK verarbeitet 30 Mio. bits pro Bild aus dem Spektralbereich von 115 nm bis 1100 nm. Der Vorstoß ins nahe UV gelingt, weil die CCD mit dem organischen Phosphor **Corogen** beschichtet sind, der das UV-Licht in sichtbares Licht umwandelt. Der Vorstoß ins nahe IR ist eine spezifische Leistung der CCD, die auch auf diese längeren Wellen ansprechen. Die hohe Empfindlichkeit für sehr schwache Objekte rührt daher, daß die CCD nur geringes Eigenrauschen erzeugen und dieses, soweit thermisch bedingt, durch ständige Kühlung auf 178 K (=  $-95^\circ\text{C}$ ) stark herabgesetzt wird. Es sind ferner noch 48 optische Filter vorhanden.

Unter den Aufgaben, die der WPK gestellt sind, rangieren besonders zwei an vorderster Stelle:

a) Sie soll bei den ca. 10 sonnennächsten Fixsternen auf allfällige wellenförmige Bahnen der Eigenbewegung achten, aus denen auf die Existenz von Planeten geschlossen werden müßte.

b) Es besteht begründeter Verdacht, daß Quasare kurzfristige Entwicklungsphasen von Galaxien sein könnten. Sollte man sehen, daß die Quasare in verwachsene Nebelchen eingebettet sind, dann würde dies die Hypothese stützen. Vielleicht erhält man auch Auskunft über die Energiequellen, welche die Quasaremissionen nähren.

**Ad 2:** Die IsK ist eines der vier parallel zur optischen Achse montierten Geräte. Sie dient der Beobachtung lichtschwacher Himmelskörper und wird Sterne erfassen, die siebenmal weiter von uns entfernt sind als die mit den derzeitigen Mitteln gerade noch wahrnehmbaren. Das Richtungsauflösungsvermögen der sIK übertrifft alles bisher Dagewesene, natürlich um den Preis des kleineren Gesichtsfeldes. Die sIK liefert im Bereich von 120 nm bis 400 nm rascher Bilder als die WPK, im langwelligen Abschnitt geschieht das allerdings langsamer. Dem kleinen Mangel stehen jedoch noch zwei wichtige Sonderleistungen gegenüber: Die sIK vermag die Polarisation des eintreffenden Lichtes festzustellen, sie ist außerdem imstande, die Spektren von sowohl punktförmigen als auch flächenhaften Objekten aufzunehmen.

Obwohl die Informationsleistungen von WPK und sIK keineswegs zusammenfallen, vermag jede Kamera die Aufgaben der anderen zu übernehmen, falls diese ausfallen sollte.

Die sIK kann auf zwei verschiedene Arten Punktquellen abbilden. Die beiden hiezu notwendigen optischen Einrichtun-

gen sind voneinander unabhängig, sie verstärken das Licht, wie dies in Fernsehröhren geschieht. Im einen System enthält ein Quadrat von  $11''$  Seitenlänge Pixel von  $0,022''$  Seitenlänge. Im anderen ist die Pixelseite doppelt so groß, nämlich  $0,044''$ . Die Detektoren zählen die **einzelnen** Photonen. Die sIK kann sogar auf Pixel mit  $0,007''$  Seitenlänge geschaltet werden.

Der sIK fällt eine wichtige Forschungsaufgabe bei Kugelsternhaufen zu. Nach den herrschenden Ansichten bezüglich der Sternentwicklung müßte ein solcher Haufen  $10^4$  bis  $10^5$  Weiße Zwerge enthalten. Diese, ihrer Natur nach relativ lichtschwachen Körper sind der bodengebundenen Astronomie unzugänglich. Die sIK wird jedoch in der Lage sein, sie zu registrieren und ihren Anteil an der Population der Haufen zu bestimmen. Am Ergebnis wird man in der Lage sein zu prüfen, ob die geltenden Theorien der Sternentwicklung mit den Beobachtungen in Einklang stehen.

**Ad 3:** Der IsSp ist dazu bestimmt, von sehr lichtschwachen Objekten Spektren aufzunehmen, etwa von Quasaren, die an die 10 Milliarden Lichtjahre entfernt sind. Da deren Licht zu einem Zeitpunkt ausgesandt wurde, in dem erst 15% des heutigen Weltalters vergangen waren, erhofft man sich Auskunft über die chemische Natur der kosmischen Materie in jenen frühen Zeiten.

Auch dieses Gerät leistet Ungewöhnliches. Im Abschnitt von 114 nm bis 800 nm wird das Licht von zwei Detektoren empfangen, die den Namen **Didicon** tragen. Ein Didicon „betreut“ den blauen, das andere den roten Spektralbereich unter Ausnutzung des Photoeffekts. Von allen Teilen des aufgefächerten Spektrums gehen Photoelektronen aus, aber die Emissionsdichte ist wellenlängenabhängig. Daher ist ein Magnetfeld angelegt, das die Photoelektronen in Abhängigkeit von dem sie auslösenden Wellenlängenband (Bandweite  $\lambda/1000$ ) auf 512 Dioden verteilt, deren jede die Stärke des Photostroms aus dem ihr zugeordneten Band und damit die Intensität des Lichtes aus dem betreffenden Spektralabschnitt mißt.

Bei hellen Objekten zeigt das IsSp sogar Variationen der Lichtstärke an, die sich binnen Millisekunden abspielen.

**Ad 4:** Der hSp arbeitet mit der Bandbreite  $\lambda/20\,000$  (kein Irrtum!), verfügt aber auch über eine **Ultra-Hochauflösungsstufe** mit der Bandbreite  $\lambda/10^5$ . Der Preis für die sagenhafte Leistung ist die geringere Lichtstärke der Spektralbilder. Das heißt, die Himmelskörper, von denen der hSp Spektren erzeugen soll, müssen 60mal heller sein als jene, die dem IsSp noch zugänglich sind. Das entspricht dem Unterschied  $\Delta m = 4,5^m$  der scheinbaren Helligkeit. In der Ultrastufe ist das analoge Verhältnis der Lichtintensitäten  $I/I_0 = 300$ , entsprechend  $\Delta m \approx 6^m$ .

Der hSp verfügt über 6 auswechselbare Gitter, die durch Drehung der Halterung auf jede UV-Wellenlänge zwischen 110 nm und 320 nm einstellbar sind. Erfaßt werden Objekte bis zu  $13^m$ , aber auch Gaswolken in der Milchstraße oder Galaxien, die anders nicht wahrnehmbar sind.

Durchheilt das Licht einer Quelle auf dem Weg zu uns mehrere, in verschiedenen Bewegungszuständen begriffene Gaswolken, dann werden die Spektrallinien von jeder Wolke bei der Absorption etwas anders dopplerverschoben. Dies zu analysieren, ist eine zusätzliche Aufgabe des hSp.

**Ad 5:** Das HPh wird fähig sein, Ereignisse separat zu registrieren, die in Zeitabständen von nur  $10 \mu\text{s}$  ablaufen. Es ist mit ungefähr 100 Kombinationen spektraler Filter ausgestattet. Eine Voraussetzung für die herausragende Fähigkeit des Gerätes ist die eingangs erwähnte Richtungsgenauigkeit von  $0,01''$  der Teleskopeinstellung. Die vier magnetisch fokussierten Detektoren – sie arbeiten ähnlich Photoelektronen-Vervielfacherröhren – sprechen lediglich auf jene Photoelektronen an, die aus dem Bereich der Photoelektrode stammen, auf den das Licht jeweils gebündelt ist. Das Arbeitsintervall der Detektoren ist 115 nm bis 650 nm.

Was bedeutet die Zeitauflösung von  $10 \mu\text{s}$ ? Nun, keine Wirkung vermag rascher als das Licht fortzuschreiten. Wenn daher die Lichtstärke eines Objekts binnen  $10 \mu\text{s}$  wechselt, dann kann diese Lichtquelle keinen größeren Durchmesser haben als  $3 \text{ km}$  (!), das ist nämlich die Strecke, die das Licht in  $10 \mu\text{s}$  durchläuft.

Das Raumteleskop wird die am höchsten aufgelösten Himmelsfotos produzieren ( $0,1''$  gegenüber  $1''$  bei den Bodenfernrohren), extrem genaue Positionen messen (Parallaxen bis zu  $0,002''$ ) und dadurch die zuverlässige Bestimmung der Distanzen von Kugelsternhaufen gewährleisten.

#### LITERATUR:

Scient. Am., Juli 1982, S. 38, J. N. Bahcall, L. Spitzer jun., The Space Telescope.

# Fehlen Galaxien in einem riesigen Volumen?

Während die kosmische 2,7-K-Hintergrundstrahlung um lediglich 0,03% von der idealen Isotropie abweicht, könnte sich die Materie während der Entwicklung des Universums ungleich verteilt haben. Im Bd. 248 L57 der „Astrophysical Journal Letters“ berichten nämlich R. P. Kirshner, A. Oemler jun., P. L. Schechter, St. Sheckman über Beobachtungen, welche für die Annahme sprechen, daß ein riesiges Gebiet von vielleicht  $10^{24}$  Kubikparsec fast völlig frei von Galaxien zu sein scheint. Zwar kennt man bereits einige Regionen im Kosmos, die sich durch deutliche Abwesenheit von Galaxien auszeichnen, doch sind die Rauminhalte dieser Leerräume nicht entfernt mit der Größe des vom oben genannten Team angebotenen Leervolumens zu vergleichen.

Im Sternbild **Haar der Berenice (lat.: Coma)** befindet sich ein Galaxienhaufen, der sogenannte **Coma-Haufen**. In jüngster Zeit wurde er als Mitglied eines Superhaufens erkannt. Unsere **Milchstraße** gehört dem Galaxienhaufen an, der als **Lokale Gruppe** bezeichnet wird. Die Magellanschen Wolken und der Andromeda-Nebel gehören gleichfalls zur Lokalen Gruppe. Die Lokale Gruppe ihrerseits ist Teil des **Virgo-Superhaufens**, in dessen Randzone unsere Milchstraße liegt.

Die Abstandsbestimmungen entfernterer Galaxien stützen sich auf die **Hubble-Beziehung**, die einen linearen Zusammenhang zwischen der Rotverschiebung  $z = (\lambda_0 - \lambda) / \lambda_0$  der Spektrallinien und der Distanz  $r$  der jeweiligen Galaxie postuliert. Im Zuge der Untersuchung der  $z$ -Werte von Galaxien aus dem **Coma-Superhaufen** und aus dem **Virgo-Superhaufen** stellt sich heraus, daß in jenem ein Gebiet liegt, das nahezu frei von Galaxien ist. Man hatte nämlich in drei, bis zu  $30^\circ$  voneinander getrennten Himmelsfeldern die Rotverschiebungen der in ihnen sichtbaren Galaxien – soweit sie heller als  $16^m$  erscheinen – analysiert und eine Überraschung erlebt. Jedes der drei Ergebnisse zeigte nämlich übereinstimmend an, daß – entsprechend der Rotverschiebung (das Team legte als Hubble-Konstante  $H_0 = 75$  km/s pro Mpc zugrunde) – die festgestellten Galaxien in zwei Gruppen zerfallen: in der einen bewegen sich die Galaxien mit mindestens 18 000 km/s, in der anderen mit höchstens 12 000 km/s von uns weg. Der Geschwindigkeitsbereich dazwischen ist nirgends vertreten. Umgerechnet auf Distanzen entspricht das dem Fehlen von Galaxien im Intervall  $163 \text{ Mpc} < r < 244 \text{ Mpc}$ . Man identifizierte beispielsweise in einem Feld von 4 Quadratgrad nicht 25, wie bei einigermaßen gleichmäßiger Verteilung zu erwarten gewesen wären, sondern nur eine einzige Galaxie. Entscheidend ist, daß die drei doch in sehr unterschiedlichen Richtungen liegenden Beobachtungsfelder dieselben Daten ergaben! Darauf stützte sich die Vermutung, auch das gesamte die drei Teilgebiete umfassende Volumen sei in gleicher Weise von Galaxien entblößt.

Den nun anlaufenden genaueren Durchmusterungen blieb es vorbehalten, die Vermutung zu prüfen. Bestätigt sie sich in vollem Umfang, dann müßte das Phänomen natürlich auch erklärt werden. Wie die Dinge zur Zeit der Publikation lagen, könnte die Erklärung folgendermaßen aussehen, würde aber eine Reihe zusätzlicher Probleme auf.

Angenommen, die Galaxien fehlen tatsächlich, dann müßten Fluktuationen der kosmischen Höhenstrahlung am Werk gewesen sein, welche die räumliche Verteilung der Galaxien im Laufe langer Zeiträume derart beeinflussen, daß solche „Löcher“ entstehen konnten. Die Amplitude der Schwankungen müßte über Winkeldistanzen von  $2^\circ$  mindestens 0,1% betragen, wovon aber heute nichts zu bemerken ist. Wären diese Schwankungen früher so stark gewesen, erhebt sich die Frage, welche Umstände sie bis heute geglättet hätten. Vielleicht trägt die Ionisation der intergalaktischen Materie infolge eines noch unbekannteren Erwärmungsprozesses die Schuld? Das Gas müßte allerdings auch ionisiert geblieben sein, um die einfallende Strahlung ständig zurückstreuen zu können, also ihre Isotropie im nötigen Umfang zu stören. Der Glättungsvorgang ist durch die Lichtgeschwindigkeit in seiner Ausbreitung eingeschränkt, was neue Schwierigkeiten bereitet.

Das Leergebiet müßte also ziemlich gleichmäßig von unsichtbarer Materie erfüllt sein, etwa über ein Distanzen von grob 10 Mpc. Das Unbemerktbleiben einer so riesigen Massenansammlung ist in gleicher Weise rätselhaft. Rechnet man mit nur einem H-Atom pro  $m^3$ , dann ergäbe das an die  $10^{22}$

Sonnenmassen! Vielleicht besitzen die Neutrinos doch eine von Null verschiedene Ruhmasse, wie seit einiger Zeit ernstlich erwogen wird? Selbst wenn sie nur  $10^{-6}$  Elektronenmasse betrüge, würden die Neutrinos das gravitative Geschehen im Universum beherrschen.

Es ist klar, daß die Meldung von Kirshner, Oemler und Schechter einige Astronomen veranlaßte, das **gesamte** fragliche Volumen nach Galaxien abzusuchen. Denn der Befund, auf Grund der Verhältnisse entlang ganz enger Kegel um drei einzelne Sehlinien, erschien doch eine recht dürftige Grundlage so weitreichender Aussagen über ein riesiges Volumen zu sein.

Nachtrag: Nun liegen die Ergebnisse einer umfassenden Suche im ganzen problematischen Raumteil durch V. Balzano und D. Weedman vor, welche aber der Lochhypothese widersprechen. Die letztgenannten Astronomen haben die Rotverschiebungen von 113 Galaxien eines besonderen Typs (den sogenannten Markar-Galaxien) bestimmt und darunter 12 gefunden, die sich in dem für leer gehaltenen Volumen befinden.

## LITERATUR:

Astrophys. J. Lett., Bd. 248 L57 (1981).  
Nature, 4. Februar 1982, S. 367, J. Silk, Great Voids in the Universe.  
Scient. Am., März 1982, S. 88, St. A. Gregory, L. A. Thompson, Superclusters and Voids in the Distribution of Galaxies.  
New Scientist, Bd. 94, Mai 1982, Nr. 1304.  
Umschau i. W. u. T., 23. Juni 1982, S. 411, Doch keine Galaxienlücke.

# Sterne im Quasar 3C 48 nachgewiesen und ein neuer Rot-Shift-Rekord

In der Erforschung von Quasaren ist ein bedeutender Fortschritt erzielt worden, der die Vermutung, daß es sich bei einigen Quasaren und anderen QSO (= Quasistellare Objekte) um Galaxien in kosmologischen Entfernungen handeln könnte, bestätigt. Schon im Jahre 1981 fielen den Astronomen S. Wyckoff und P. Wehinger bei etlichen Quasaren Anzeichen von gerade noch bemerkbaren verschwommenen Hüllen auf. Dies ließ sie die Vermutung äußern, Quasare könnten die Kerngebiete extrem distanter Galaxien und das, was als Andeutung einer nebeligen Hülle erscheint, das Sternsystem der Galaxien sein, in das der helle Kern eingebettet ist.

Am 4. November und am 16. Dezember 1981 richteten T. A. Boroson und J. B. Oke den 5-m-Spiegel des Hale-Observatoriums, Mt. Palomar, auf den Quasar 3C 48, um sein Spektrum im Abschnitt von 500 bis 1000 nm aufzunehmen. Neben den schon lange bekannten Emissionslinien konnten nunmehr – dank dem Einsatz einer CCD-Kamera (CCD = charge-coupled device, ein von  $320 \times 512$  flächenhaft angeordneten Einzelementen gebildeter Halbleiterdetektor) – auch das spektrale Kontinuum sowie Absorptionslinien von Wasserstoff und einfach ionisierten Ca entdeckt werden. Das sind bekanntlich die in den Photosphären heißer blauer A-Sterne verschluckten Frequenzen der aus dem Stern kommenden Strahlung. Die Intensitätsverhältnisse der Linien lassen sogar die Einengung der möglichen Quellenarten auf Sterne der Spektralklasse A7 zu.

Die Emissionslinien beweisen zusätzlich das Vorhandensein heißer Gase, ohne die in einer Galaxis keine Sternbildung möglich wäre. Zur Zeit, da das heute von uns wahrgenommene Licht den Quasar 3C 48 verließ (das könnte vor ca. einer Milliarde Jahren gewesen sein), dürfte die Sternentstehung in der vorangegangenen Milliarde Jahre stattgefunden haben.

Boroson und Oke halten auf Grund der angeführten Befunde 3C 48 für eine Spiralgalaxis der absoluten Leuchtkraft  $-23^M$ , was die Leuchtkraft unserer Milchstraße um etwa das 100fache überträte.

Die Rotverschiebung  $z = 3,53$  des Quasars OQ 172 war bis vor kurzem die größte gemessene. Nun nimmt der Quasar PKS 2000-330 mit dem Wert  $z = 3,78$  den Spitzenplatz ein. Das Objekt des Südhimmels wurde mit dem 64-m-Radioteleskop nahe Parkes in Australien entdeckt. Die Bemühungen, Radio- und optische Position als ident nachzuweisen, zogen sich über einen Zeitraum von sechs Jahren, sind aber nun als abgeschlossen zu betrachten.  $z = 3,78$  entsprä-

che dem Abstand von 13 Milliarden Lichtjahren, wenn die Hubble-Konstante mit 50 km/s Mpc zugrunde gelegt und die Rotverschiebung als Dopplereffekt aufgefaßt werden. Das Objekt müßte dann die  $10^{14}$ -fache Sonnenleistung abstrahlen. Seine Fluchtgeschwindigkeit betrüge mehr als 90% der Lichtgeschwindigkeit.

$z = 3,78$  scheint ein einsamer Ausnahmefall zu sein, weil jüngst angestellte Bemühungen, in einem – allerdings kleinen – Sternfeld Objekte mit  $z > 3,5$  zu finden, negativ verliefen, obwohl rein Wahrscheinlichkeitstheoretisch einige wenige Quasare dieser Art vorhanden hätten sein müssen. Bestätigt sich das für den gesamten Himmel, dann wäre anzunehmen, daß vor dem Entstehen der distantesten wahrnehmbaren Quasare keine derartigen Objekte gebildet wurden. Doch das ist noch zu klären.

#### LITERATUR:

Sky and Tel., Juni 1982, S. 567, News Notes: The First Detection of Stars in Quasars.  
St. u. Weltr., Juni 1982, S. 233, T. R., Quasar am Rande der Welt.

## Endphasen der Sterne: Neue Fakten

Nach dem heutigen Wissensstand über die Sternentwicklung kommt es auf die Masse eines aus eigener Energieumwandlung glühenden Himmelskörpers an, ob er in sein „Greisenalter“ als **Schwarzer Zwerg (SZw)**, als **Weißer Zwerg (WZw)**, als **Neutronenstern (NSt)** oder als **Schwarzes Loch (SL)** eingeht. Reicht die Eigengravitation der Objektmasse nicht aus, im Zuge der durch sie hervorgerufenen Kontraktion der ursprünglichen Gas-Staub-Wolke die für das Wasserstoffbrennen erforderliche Zündtemperatur von mehreren Millionen Grad im Zentralbereich zu erreichen, dann endet der Himmelskörper als SZw. (Ein solches Objekt darf übrigens mangels energiefreisetzender Kernreaktionen gar nicht als Stern bezeichnet werden. Die Planeten und ihre Monde gehören zu dieser Klasse von Himmelskörpern.)

Das H-Brennen kann erst einsetzen, wenn die kontrahierende Gas-Staub-Wolke etwa die zehnfache Jupitermasse besitzt. Von dieser Größe an bis zur 1,4fachen Sonnenmasse zielt die Entwicklung auf den Endstatus als WZw. Im Intervall von 1,4 bis etwa 3 Sonnenmassen endet das Objekt als NSt. Ist es jedoch noch massiver, dann kollabiert es unaufhörlich und wird zum SL. Nun, die angegebenen Massenintervalle sind mit gewisser Vorsicht aufzunehmen, es könnten sich im Laufe der weiteren Erforschung Korrekturen dieser Werte als notwendig erweisen. Um Mißverständnissen vorzubeugen, sei betont, daß die genannten Massengrenzen nicht für die Geburtsmasse der Sterne zu verstehen sind, sondern die **Restmasse** bedeuten, die nach den zum Teil sehr erheblichen Massenverlusten während der Sternentwicklung übrigbleibt. Nach dem Erschöpfen der Kernbrennstoffe bläht sich ein Stern auf und wird zum **Roten Riesen** oder **Überriesen**. (Nebenbei bemerkt, durchlaufen die Sterne schon vor dem Erreichen der Hauptreihe des Hertzsprung-Russell-Diagramms den Riesenzustand, doch der interessiert in diesem Zusammenhang nicht.) Die bei den Kernprozessen angesammelte „Asche“ löst durch Instabilwerden des Zustandes einen **Supernova-Ausbruch** aus, falls der Stern mehr als drei Sonnenmassen hat, der, wie man annahm, den stärksten Massenverlust bedeutet. Danach endet das Objekt als NSt, die wir in den Pulsaren erkannt haben.

Obwohl die eben skizzierten Tendenzen theoretisch gut fundiert sind, hat die Sache doch einen Haken. Zahlreiche Sterne haben nämlich mehr als 1,4 Sonnenmassen, sollten also als NSt enden, nachdem sie einen Supernova-Ausbruch durchgemacht haben. Das heißt, die Supernova-Explosionen müßten sehr häufige Ereignisse unter den ca. 200 Milliarden Sternen der Milchstraße sein, was aber keineswegs zutrifft, im Gegenteil, sie ereignen sich äußerst selten in unserer Milchstraße. Außerdem findet sich unter den Mitgliedern des relativ jungen Sternhaufens der Plejaden ein WZw, der sich aus einem Objekt von mehr als 6 Sonnenmassen entwickelt haben müßte. Nur dann wäre nämlich seine Masse groß genug gewesen, um das Sternleben bis zum WZw-Zustand rasch genug ablaufen zu lassen, damit dessen Dauer nicht

das Alter des Haufens (dessen Glieder gemeinsamen Ursprungs sind) überschreitet. (Die Sternentwicklung verläuft bekanntlich um so rascher, je größer die Sternmasse ist.)

Allmählich gelangte man zu der Ansicht, daß nur dann ein Supernova-Ausbruch (der den Übergang zum NSt oder SL einleitet) stattfindet, wenn das Objekt mindestens achtmal massiver als die Sonne ist. Massenärmere Sterne, so wird angenommen, erleben keinen Ausbruch solchen Ausmaßes, stoßen aber auf andere Weise soviel ihrer Masse in den Weltraum, daß ein **planetarischer Nebel** entsteht. Der zurückbleibende zentrale Reststern wird zum WZw. (Am Schluß dieses Berichtes wird der Vorgang ein wenig deutlicher geschildert werden.)

Dank den einschlägigen Beobachtungen und Forschungen während der letzten drei Jahrzehnte stellte sich heraus, daß Rote Riesen und Überriesen in bisher ungeahntem Umfang Materie in Form eines kräftigen „**Sternwindes**“ an den Weltraum abgeben. Die ständig verbesserte Qualität der Nachweisgeräte und die so ermöglichten genauen Analysen der Infrarot- und Radiostrahlung erbrachten den Nachweis dieser Sternwinde bei zahlreichen Roten Riesen. Unter anderem fand man, daß CW Leonis, kaum bemerkbar im sichtbaren Licht, eine der hellsten IR-Quellen im Bereich um 5 µm ist. Die IR-Strahlung geht von den Staubpartikeln im Sternwind aus und heizt auch den Stern auf. Diese Teilchen absorbieren das Sternlicht und entziehen den Stern dadurch unseren Blicken fast ganz oder überhaupt vollständig. Im letzten Fall verrät die IR-Strahlung allein die Existenz des zentralen Sterns.

Ein weiteres Indiz der Massenemission von Roten Riesen war die Entdeckung der Radiostrahlung von OH, CO und H<sub>2</sub>O aus den Richtungen zu den Positionen von Roten Riesen. Der Massenverlust wird auf rund eine Sonnenmasse pro 100 000 Jahre geschätzt. Damit wäre geklärt, weshalb ein ursprünglich sehr massiver Stern auch **ohne Supernova-Ausbruch** soviel an Materie verlieren könnte, daß er schließlich nur noch über weniger als 1,4 Sonnenmassen verfügt, ehe seine Endphase beginnt, die dann die eines WZw ist. Diese observatorisch bereits gut gestützte Theorie macht die Seltenheit der Supernova-Ausbrüche in der Milchstraße verständlich.

Ferner ergibt sich, daß die in den Roten Riesen durch das vorangegangene Kernbrennen gebildeten massiveren Nuklide durch Konvektion in den Sternwind und nicht nur durch Supernova-Explosionen weiter in den interstellaren Raum gelangen. Spätere Sterngenerationen, die sich aus den so „verschmutzten“ Gas- und Staubwolken formen, werden also bereits „unsauber“ geboren.

Der Sternwind erzeugt um die Riesensterne riesige Halos. So erscheint der Halo um CW Leonis unter 6° Sehwinkel, das sind 20% des Vollmonddurchmessers. Der wahre Halodurchmesser ist etwa 1000mal größer als der Durchmesser der Plutobahn! Er enthält mindestens zwei Sonnenmassen. (Dagegen ist der Sonnenwind nur ein 10<sup>9</sup>mal schwächeres Säuseln!) Die Dichte des Halo nimmt natürlich radial nach außen ab. Das VLA-Radiointerferometer (**Very Large Array**) leistet bei diesen Untersuchungen wertvolle Hilfe. Am Kitt-Peak-Observatorium konnte man den Halo um Beteigeuze (α Orionis) nachweisen, der sich bis zu 1,5° rund um den Stern erstreckt. Es scheint, daß die Masseneinbuße via Sternwind mit der Zeit zunimmt.

Ob ein Supernova-Ausbruch stattfindet, hängt davon ab, ob das Objekt durch den Sternwind derart rasch Masse verliert, daß die beim nuklearen Brennen angesammelten massiveren Nuklide jenes Ausmaß erreichen, das für das Instabilwerden des Sternzustandes und damit zum Zünden der Supernova-Explosion nötig ist.

Abschließend noch die angelegte Bemerkung über das Entstehen planetarischer Nebel durch den Sternwind. Zunächst ist der Rote Riese ein heißer Kern mit einer kühlen Gashölle von geringer Dichte. Der Wind transportiert Materie weg, bis der heiße Kern bloßliegt und seine UV-Strahlung nach außen gelangt. Sie erhöht die Windgeschwindigkeit von 10 auf etwa 1000 km/s. Der schnellere Materiestrom stößt auf die ältere, langsamere bewegte Materie und verdichtet dabei das vor ihm hergeschobene Material. Man spricht vom **Schneepflug-Effekt**. Das zusammengestauchte Gas erscheint dem Beobachter als ringförmiges Gebilde, wie es faktisch angetroffen wird. Der auch außer- und innerhalb des Ringes vorhandene Halo konnte erst in letzter Zeit mittels besonders sensitiver Instrumente festgestellt werden.

#### LITERATUR:

Sky and Tel., Mai 1982, S. 449, S. Kwok, Not with a Bang but a Whimper.

# Kurznachrichten

## Genauere Bestimmung der Feinstrukturkonstante $\alpha$ .

Die Feinstrukturkonstante  $\alpha$  spielt in der Atom- und Teilchenphysik eine denkbar wichtige Rolle. Die vor gut 50 Jahren von Eddington geäußerte Vermutung, der Kehrwert von  $\alpha$  könnte exakt die natürliche Zahl 137 sein sowie die daran geknüpften Spekulationen erwiesen sich alsbald als unzutreffend.

Im Zuge der Bestrebungen,  $\alpha$  möglichst gut kennenzulernen, haben neulich M. E. Page und sein Team durch Messung des quantisierten Hall-Widerstandes  $R_H$  bei drei verschiedenen Verbindungen GaAs-Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As für die Größe  $1/\alpha$  den Wert

$$1/\alpha = 137,035\,968 \pm 23 \cdot 10^{-6} \text{ (Genauigkeit } 0,17 \text{ ppm)}$$

ermittelt. Er steht in guter Übereinstimmung mit dem auf 0,11 ppm genauen Wert, der von anderen Gruppen aus dem gyromagnetischen Verhältnis  $\gamma_p$  des Protons, der Größe  $2e/h$ , und zwar unter Benützung des Josephson-Effekts festgestellt wurde. Durch Kombination der beiden letztgenannten und des von der Cage-Gruppe erhaltenen Wertes ergibt sich für  $1/\alpha$  eine noch bessere Annäherung an den wahren Wert, nämlich

$$1/\alpha = 137,035\,965 \pm 12 \cdot 10^{-6} \text{ (Genauigkeit } 0,085 \text{ ppm)}$$

(Lit.: Phys. Rev. Lett., Jänner 1982, S. 3, M. E. Page et al., Determination of the Fine-Structure Constant Using GaAs-Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As Heterostructures.)

**Die Lebensdauer des Tau-Leptons.** Mit Hilfe des Mark-II-Detektors des Elektron-Positron-Speicherringes PEP der Stanford-Universität gelang es einem Team von 55 (!) Forschern, die mittlere Lebensdauer  $T_{1/2}$  des Tau-Leptons (des massivsten Verwandten von Elektron und Myon) zu bestimmen. Das Ergebnis des Experiments lautet:

$$T_{1/2}(\tau) = (4,6 \pm 1,9) \cdot 10^{-13} \text{ s.}$$

Das ist bereits genauer als die bloße Angabe der Größenordnung  $10^{-13}$  s, obwohl auch dies als beachtliche Leistung der Experimentierkunst anzusehen wäre.

Es wurden von den mit je 29-GeV-Energie im Speicherring frontal kollidierenden Elektroden und Positronen sekundär 1500 Paare positiver und negativer Tau erzeugt. Die Gesamtluminosität (Ergiebigkeitsrate der Kollisionen) betrug 15 400 Ereignisse pro Nanobarn ( $1 \text{ nb} = 10^{-35} \text{ m}^2$ ). Die Tau hatten je 14,5-GeV-Energie.

Nach Elimination der Hintergrund- und anderen irreführenden Ereignisse blieben 284 brauchbare übrig, die 306 Tau-Zerfälle mit je drei auslaufenden Spuren enthielten. Eine Spur wurde jedoch nur dann als „echt“ anerkannt, wenn sie in mindestens 10 Lagen der Driftkammer Signale erzeugte, wenn sie sich dem Zentrum der Kollisionsregion auf höchstens 5 mm, gemessen senkrecht zur Strahlrichtung, maximal näherte und wenn der Impuls 500 MeV/c überstieg. Schließlich mußten noch die drei Spuren nach einem Tau-Zerfall aus einem Punkt P kommen, der weniger als 5 cm Abstand von der Einfallrichtung hatte.

Die 126 nach diesen Auswahlkriterien verbliebenen 3-Spur-Ereignisse erlaubten die Flugzeitmessung der Tau zwischen Entstehen ( $e^+e^-$ -Kollision) und Zerfall (Punkt P).

Aus der mittleren Flugzeit ergab sich der oben genannte Wert für  $T_{1/2}$ . (Lit.: Phys. Rev. Lett., 11. Jänner 1982, S. 66, G. J. Feldman et al., Measurement of the Tau-Lifetime.)

**Dämon, eine neue Form der Kernmaterie?** Es geschehen zwar keine Wunder, aber doch Zeichen, über die man sich wundern muß. So beobachtete man Merkwürdiges an den Spuren der Bruchstücke hochenergetischer Höhenstrahlteilchen, die diese beim Auftreffen auf eine KernspuremulSION hinterlassen. Die Länge ihrer Bremswege in der Emulsion in Abhängigkeit von Energie und Masse der beteiligten Partikeln sind bekannt. Daher überraschten die Befunde, denen entsprechend ca. 6% der spurenbildenden Fragmente viel rascher in der Emulsion gestoppt werden, als dies bei massiven Ionen der Fall zu sein pflegt. Die Physiker S. Frederikson und M. Jändel des königlich schwedischen Instituts für Technologie in Stockholm ziehen nun in Erwägung, ob da nicht eine bisher unbekannt Art der nuklearen Materie entstanden sein könnte, die einen ungewöhnlich großen Reaktionsquerschnitt besitzt. Außerdem ist die Lebensdauer der sonderbaren Objekte mit ihren  $10^{-10}$  bis  $10^{-9}$  s im Vergleich

zum Ablauf von „Starken“ Zerfällen (Zerfälle unter dem Regime der Starken Wechselwirkung existieren oft nur  $10^{-24}$  bis  $10^{-23}$  s) sehr lang, so daß sie als relativ stabil anzusehen sind.

Die ob ihres Verhaltens als **Anomalonen** bezeichneten hypothetischen Partikeln könnten unter anderem – so überlegen die schwedischen Physiker – Gebilde sein, die sich aus **drei Diquarks** zusammensetzen und durch eine gewisse Strukturähnlichkeit mit den Deuteronen ausgezeichnet sind. In sprachlicher Anlehnung schlagen die Autoren den Namen **Dämonen** mit dem Symbol  $\delta$  für die hiemit gemeinte Variante der Anomalonen vor.

Die Rechnungen ergaben, daß nur die eben angegebene Kombination von 6 Quarks ein mit den aus den Beobachtungen extrapolierten Eigenschaften ausgestattetes Teilchen erzeugen kann. In ihm sind drei Diquarks aneinander gebunden.

Die Überlegungen der Autoren sind keine reinen Phantasieprodukte, denn sie werden auch von Beobachtungen am Lawrence Berkeley Laboratory gestützt, die als erste Anzeichen neuartiger Materienformen gedeutet werden können. Weitere Untersuchungen werden klären, ob wirklich neue Phänomene vorliegen oder ob alles nur blinder Alarm war. (Lit.: Phys. Rev. Lett., 4. Jänner 1982, S. 14, S. Frederikson, M. Jändel, Diquark Deuteron.)

## Genauere Bestimmung der Gravitationskonstante G.

Verglichen mit den Größen der Quanten- und Teilchenphysik ist die Gravitationskonstante nur mit bescheidener Genauigkeit bekannt. Seit dem Jahre 1942 erbrachten alle weiteren Versuche, den allgemein benützten, damals ermittelten Wert  $G = (6,6720 \pm 0,004 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1})$  zu verbessern, keinen Erfolg. Der eben genannte Wert war als Ergebnis aus den von Heyl und Chrzanowski durchgeführten Messungen hervorgegangen.

Nun haben aber G. L. Luther (Nat. Bureau of Standards) und W. R. Taylor (Univ. Virginia) einen neuerlichen Versuch unternommen und tatsächlich den Fehler um eine Größenordnung erniedrigt. Der verbesserte Wert lautet:

$$G = (6,6726 \pm 0,0004) \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1}.$$

Die beiden Physiker bestimmten die Schwingungsdauer eines Torsionspendels, und zwar einmal in Abwesenheit, einmal in Abwesenheit zweier Wolfram-Kugeln gegenüber den W-Scheibchen an den Enden eines horizontalen, drehwaagenähnlich aufgehängten Stäbchens. Aus der Differenz der Schwingungsdauern des Stäbchens (um die vertikale Achse) ergab sich G. Die Versuchsordnung ist im wesentlichen die gleiche, wie sie schon C. V. Boyes im Jahre 1895 benützt hatte.

Die Radien und Massen der W-Kugeln betragen 50,82554 mm und 50,82536 mm bzw. 10,490250 kg und 10,489980 kg. Das Torsionspendel befand sich in einem auf ca.  $10^{-8}$  bar evakuierten Glaszylinder. Das untere Ende des vertikalen, 40 cm langen und 10 bis 12  $\mu\text{m}$  dicken Quarzfadens hielt ein horizontales W-Stäbchen in dessen Mittelpunkt in Schwebe. Die Enden des Stäbchens trugen je ein W-Scheibchen, dessen Symmetrieachse das Stäbchen war. Jedes Scheibchen war 2,5472 mm dick und hatte 7,1660 mm Durchmesser. Die Stäbchenlänge betrug 28,5472 mm, seine Masse ca. 7 g. (Die Zahlenangaben sollen nur die extreme Präzision bei der Vorbereitung und Durchführung des Experiments veranschaulichen!)

Der Quarzfaden war mit Cr und Au überzogen, um ihn leitend zu machen und so die induktive Schwingungsdämpfung im Feld eines Permanentmagneten zu ermöglichen. Die Torsionsschwingungen wurden mittels Lichtzeigers beobachtet. Den Lichtstrahl reflektierte in üblicher Weise ein am Quarzfaden befestigtes Spiegelchen. Die Pendelausschläge registrierte schließlich ein elektronisch-optisches Detektorsystem. Die gesamte Anordnung befand sich in einem akustisch abgeschirmten Würfel von 2,5 m Seitenlänge und stand unter ständiger Temperaturkontrolle. Die Temperatur wurde mit  $\pm 0,1$  °C konstant gehalten. Der Würfel selbst saß auf einem Betonblock von 5 Tonnen Masse. Die Geräte waren in einem großen Raum des Physiktraktes des Nat. Bureau of Standards in Gaithersburg, Maryland, aufgestellt worden. Die Kugelzentren hatten voneinander den Abstand  $140,59454 \text{ mm} \pm 0,3 \mu\text{m}$ . Die Autoren beendeten ihren Bericht mit der Bemerkung, daß dieser Versuch nur dank der persönlichen, apparativen und operativen Unterstützung seitens namentlich genannter Kollegen des Nat. Bureau of Standards gelingen konnte. (Lit.: Phys. Rev. Lett., 18. Jänner 1982, S. 121, G. L. Luther, W. R. Towler, Redetermination of the Newtonian Gravitational Constant G.)

**Holographie in der Teilchenphysik.** Holographische Bilder zeichnen sich gegenüber den in der üblichen Art gewonnenen durch die Tiefenschärfe im gesamten Volumen des Bildbereiches aus. Die Halbwertzeiten gewisser Partikeln ( $D^-$ -Meson,  $F^-$ -Meson, Delta-Baryon mit charm, Tau-Lepton und andere) liegen um  $10^{-12}$  s, ihre Spuren in der Blasen-kammer sind daher nicht länger als 0,3 mm. Man kann sie demgemäß nur mit Hilfe des Mikroskops fotografieren. Leider geben die so hergestellten Bilder Blasen von weniger als 0,025 mm Durchmesser nur dann scharf wieder, wenn sie einer zur Sehrichtung senkrechten Schicht von 0,025 mm Dicke angehören. Man müßte also etliche Jahre beobachten, ehe ein einziges der zudem noch äußerst seltenen Zerfallsergebnisse registriert würde.

Am FNAL, USA, wurde darangegangen, diesem Mangel mittels holographischer Methoden abzuwehren. Lecoq zeigte einem wissenschaftlichen Auditorium derartige Aufnahmen aus einer 3,5 cm tiefen Blasen-kammer. Der Bilddurchmesser war 6,5 cm. Die Kammer BIBC (= Berne Infinitesimal Bubble Chamber) enthielt eine schwere Flüssigkeit. Blasen von nur 8  $\mu$ m Durchmesser waren auf dem Foto klar zu erkennen, gleich, in welcher Kammetiefe sie sich befanden. Der Erfolg konnte nur erreicht werden, weil man der Ereignisseltenheit wegen einen besonders rasch arbeitenden Trigger vorher entwickelt hatte.

Das Gelingen der holographischen Methode rief bereits Vorschläge auf den Plan, die sich mit Kammern von 1 m Durchmesser beschäftigen, auf die das Verfahren angewandt werden könnte. Dies in der Absicht, den Zerfall von Tau-Leptonen näher unter die Lupe zu nehmen. (Lit.: Nature, 22. Jänner 1981, S. 289, D. J. Miller, Holographic Bubble Chambers.)

**Neue Detektoren lauern auf den Proton-Zerfall.** a) Der Detektor **Soudan 1** wartet bereits seit Mitte 1981 in einem vor 100 Jahren aufgelassenen Eisenbergwerk in Minnesota 600 m unter der Erdoberfläche (zur Abschirmung der kosmischen Teilchen) auf den vermuteten Zerfall von Protonen. Der 31-t-Eisenbetonquader von  $3 \times 3 \times 2$  m<sup>3</sup> Abmessung ist mit 3456 Gas-Proportionszählern bestückt. Die Zähler – Stahlröhren von 2,7 cm Weite – sind in Form eines quadratischen Gitters (4 cm Gitterkonstante) in 48 Lagen angeordnet. Die Röhren in sukzessiven Lagen wurden zueinander senkrecht orientiert, um jedes Ereignis räumlich lokalisieren zu können. Den Detektorblock umgeben zahlreiche Szintillationszähler, und zwar auf der Deckfläche und den vier Mantelflächen des Eisenbetonblocks. Die Anlage wird nur dann getriggert, wenn mindestens eine Röhre in jeder von mindestens drei sukzessiven Lagen ein Signal gibt.

Derzeit denkt man bereits an einen Soudan-2-Detektor, 60 m tiefer als der schon in Betrieb stehende aufgestellt. Er soll 1000 Tonnen Masse haben und mit  $5 \times 5$  m<sup>2</sup> Proportional-Drahtkammern ausgestattet sein, die Ionisationen bis in Abstände von 50 cm wahrzunehmen vermögen.

Soudan 1 hat noch keinen p-Zerfall, wohl aber andere interessante Ereignisse erfaßt.

Ein anderer p-Zerfalls-Detektor entsteht 3000 m unter dem Mont-Blanc-Gipfel, etwa unterhalb der Mitte des Straßentunnels durch das Massiv. Seine Masse ist mit 160 Tonnen vorgesehen. Der Detektor wird ein Würfel von 3,5 m Seitenlänge sein und 134 Eisenplatten je 1 cm Stärke und einer Tonne Masse enthalten. Man ist im Begriff, zwischen den Platten 43 000 Streamer-Röhren einzubauen, nachdem jede von ihnen in FRASCATI zugerichtet und bei CERN geprüft worden ist. Die Arbeiten im Tunnel laufen seit September 1981, die Platten sind schon montiert, die Streamer-Röhren werden laufend (Stand vom Jänner 1982) eingebracht. Ein schwieriges, dennoch gut gemeistertes Problem war und ist der Gerätetransport auf dem verkehrsreichen Straßentunnel zum Aufstellungsort. (Lit.: CERN Courier, Jänner 1982, a) S. 6, Underground Soudan Mine Experiment; b) S. 7, Building Beneath Mont Blanc.)

**Optische Aktivität bei Neutronen.** Sind die Spinvektoren in einem Strahl von Neutronen parallel, dann spricht man von polarisierten Neutronen. Am ILL (Institut-Laue-Langevin, Grenoble) stellte man beim Durchgang eines Stromes polarisierter Neutronen durch festes Zinn eine Drehung der Polarisationsebene fest. Das Überraschende daran ist weniger die Drehung der Polarisationsebene an sich, die theoretisch zu erwarten war, sondern das Auftreten zweier Umstände:

a) Zinn enthält keinerlei helikale Strukturelemente, im Gegensatz zu den für Licht optisch aktiven Stoffen, die den Effekt hervorrufen (asymmetrisches C-Atom).

b) Während bei dem in der Natur vorkommenden Zinn die Drehrate (= Drehwinkel/Weglänge im aktiven Material)  $(4,95 \pm 0,93) \cdot 10^{-6}$  rad/cm und beim Isotop <sup>124</sup>Sn  $(0,48 \pm 1,49) \cdot 10^{-6}$  rad/cm beträgt, hat sie für das Isotop <sup>117</sup>Sn den Wert  $(37,7 \pm 2,7) \cdot 10^{-6}$  rad/cm. Nach der Bornschen Näherung lautet die Formel für die Drehrate:

$$\frac{d\varphi}{dx} = G \cdot W \cdot \rho \cdot \sqrt{2}$$

(G = Kopplungskonstante der Schwachen Wechselwirkung, W = Schwache Ladung eines Nuklids der drehenden Substanz – bei Zinn ist  $W \approx 70$ ,  $\rho$  = Dichte.) Entsprechend der Formel ergäben sich für  $d\varphi/dx$  lediglich einige  $10^{-8}$  rad/cm. Der experimentelle Befund wird den Theoretikern wieder einigen Stoff zum Nachdenken geben. (Lit.: Nature, 30. Jänner 1982, S. 735, L. Stodolsky, Neutron Optical Activity.)

**Ein Stern von besonders geringer Leuchtkraft.** Der „Spitzen“-Wert bezüglich geringer absoluter Leuchtkraft kam bis vor kurzem dem Fixstern VB 10 im Sternbild Adler zu. Seine visuelle absolute Leuchtkraft ist mit  $M_{vis} = +18,57^M$  etwa 320 000mal geringer als die unserer Sonne ( $M_{vis} = +4,83^M$ ), die selbst kein besonders leuchtkräftiges Objekt ist. Nach einer Meldung in Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (Bd. 196, 15 P, 1981) haben I. Neill Reid (Univ. Edinburgh) und G. Gilmore (Royal Obs., Edinburgh) in RG 0050–2722 (Sternbild Sculptor = Bildhauer) einen Himmelskörper entdeckt, der noch schwächer leuchtet als der bisherige Rekordhalter, denn jener hat die absolute Leuchtkraft  $\approx +19^M$ , unterbietet somit die Sonne gar um den Faktor  $\approx 400$  000. Die Bestimmung der absoluten Leuchtkraft gelang nur durch den Vergleich der Emissionen in den hierfür maßgeblichen Spektrallinien. Die dabei ermittelten Farbrelationen verriet den Spektraltyp des Sterns, woraus die Leuchtkraftklasse, der er angehört, und seine Stellung im Hertzsprung-Russell-Diagramm hervorgingen. Als dies mit Hilfe von Farbfilterfotos im sichtbaren und im Infrarot-Bereich festgestellt war, nahm man aus den drei sich ergebenden etwas unterschiedlichen Werten  $M_v = (+20,5 \pm 1)^M$ ,  $(+19,0 \pm 0,5)^M$ ,  $(+19,5 \pm 1)^M$  das Mittel  $+19,0^M$ , das dem wahren Wert wohl am nächsten kommen dürfte. Das Verhältnis von  $M_v$  zur scheinbaren Helligkeit  $m_v$  führt auf den Abstand von ungefähr  $25 \pm 6$  kpc und auf die Oberflächentemperatur  $2625 \pm 100$  K.

RG 0050–2722 ist ein metallreicher Zwergstern (in der Astrophysik gelten alle Elemente außer H und He als Metalle), der sich vermutlich noch im Hauptreihen-zustand befindet.

Im Gegensatz zu ihm rangieren die hellsten unter den 100 sonnennächsten Sternen bei  $M_v \approx -8^M$  (das ist ca. 90 000mal heller als die Sonne). Die Sternmassen haben einen sehr viel engeren Spielraum, sie bewegen sich – soweit derzeit bekannt – zwischen 100 und 0,027 Sonnenmassen. Auf Grund der Leuchtkraft-Massen-Beziehung könnte RG 0050–2722 auch bezüglich der Masse nach unten Rekordträger sein, man schätzt seine Masse auf 0,023 Sonnenmassen (Jupiter hat 0,001 Sonnenmassen). Bei Sternen mit zu kleiner Masse tritt gar kein Wasserstoffbrennen ein, sie enden als Schwarze Zwerge. Im Gebiet von 5 pc rund um die Sonne könnten sich an die 200 solcher planetenartiger Himmelskörper aufhalten. Vorläufig konnte aber noch kein einziger identifiziert werden. (Lit.: Nature, 3. September 1981, S. 9, D. W. Hughes, The Least Luminous Star.)

**Neubestimmung der Rydbergkonstante.** Eine Gruppe von Experimentalphysikern beschloß einen Strahl von Wasserstoffatomen mit Elektronen, die aus einer Wolframkathode von 2850 K kamen. Dadurch gingen die H-Atome in den metastabilen 2p-Zustand über. Der H-Strahl war auf  $1,25 \pm 0,15$  mrad ( $= 4'18'' \pm 31''$ ) kollimiert. Er wurde stromabwärts von einem intensitätsschwachen ( $\approx 2$  mW/cm<sup>2</sup>) senkrecht zu seiner Richtung gekreuzt. Der Laserstrahl kam aus einem abstimmbaren, mit Gleichstrom betriebenen Farbstoff-Laser. Gemessen wurde die beim Übergang  $2p \rightarrow 3s$  der H-Atome emittierte Wellenlänge. Derselbe Versuch lief auch mit einem Strahl von Deuteronen anstelle der H-Atome. Das Ergebnis des Experiments lautet:

$$R_\infty = 109\,737,315\,21 \pm 0,00011 \text{ cm}^{-1}$$

Der Wert ist auf nur einen Teil unter  $10^9$  Teilen ungenau. (Lit.: Phys. Rev. Lett., 2. 11. 1981, S. 1234, S. R. Amin, C. D. Caldwell, W. Lichten, Crossed Beam Spectroscopy of Hydrogen: A New Value for the Rydberg Constant.)

**Das anomale magnetische Moment von Elektron und Positron.** Die Anomalie des magnetischen Moments  $g(e^-)$  liegt darin, daß es vom Wert 2 etwas abweicht. Deshalb wurde die Zahl  $a(e^-) = [g(e^-) - 2]/2$  eingeführt, um lästige Dezimalen nicht jedesmal anschreiben zu müssen. Schon seit einer Reihe von Jahren wurden und werden die berühmten (g-2)-Versuche mit Elektronen und Myonen ausgeführt, um vielleicht hierbei auf einen wesentlichen Unterschied zwischen Elektronen und Myonen zu stoßen, bisher jedoch vergeblich. Innerhalb der Fehlergrenzen haben sich vorläufig beide Größen als identisch erwiesen.

Quantenelektrodynamisch ist  $a(e^-)$  eine Funktion der Feinstrukturkonstante  $\alpha$ , die als nach Potenzen von  $(\alpha/\pi)$  fortschreitet

$$a(e^-) = c_1(\alpha/\pi) + c_2(\alpha/\pi)^2 + c_3(\alpha/\pi)^3 + \dots$$

Bisher gelang die Berechnung von  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ , nämlich

$$c_1 = 0,5, \quad c_2 = -0,328 \ 478 \ 966, \quad c_3 = 1,176 \ 5 \pm 0,0013,$$

wenn der dzt. beste Wert  $1/\alpha = 137,035 \ 963 \pm 15 \cdot 10^{-5}$  benutzt wird. Die Voraussage der QED (Quantenelektrodynamik) lautet

$$a(e^-) = 1 \ 159 \ 652 \ 478 \cdot 10^{-12}.$$

Er unterscheidet sich vom experimentell festgestellten Wert um  $\approx -270 \cdot 10^{-12}$ , das ist etwa der siebenfache Fehler, der bei der Messung von  $a(e^-)$  auftritt. Nun gelang es Amin, Caldwell und Lichten, auch den vierten Koeffizienten  $c_4$  in der Reihenentwicklung von  $a(e^-)$  zu berechnen. Sie erhielten  $c_4 = -0,8 \pm 2,5$ . Eingesetzt in die Reihe ergibt sich

$$a(e^-) = [1 \ 159 \ 652 \ 460 \pm (127 \text{ oder } 75)] \cdot 10^{-12}.$$

Jüngst haben P. B. Schwinberg, R. S. van Dyck jr. und H. G. Dehmelt von der Univ. Washington in Seattle auch das anomale magnetische Moment des Positrons bestimmt. Sie fanden

$$a(e^+) = (1 \ 159 \ 652 \ 222 \pm 50) \cdot 10^{-12}.$$

Der Fehler ist ca. 100mal kleiner als bei früheren Messungen, nämlich 10 ppm gegenüber 1000 ppm bei den Experimenten von Gilleland und Rich.

Für das Verhältnis der gyromagnetischen Momente von Elektron und Positron folgt daraus

$$g(e^+)/g(e^-) = 1 + (22 \pm 4) \cdot 10^{-12}.$$

(Lit.: Phys. Rev. Lett.: a) 30. 11. 1981, S. 1573, T. Kinoshita, W. B. Lindquist, Eighth-Order Anomalous Magnetic Moment of the Electron; b) 14. 12. 1981, S. 1679, P. B. Schwinberg, R. S. van Dyck jr., H. G. Dehmelt, New Comparison on the Positron and Electron g-Factors.)

**Zuviele Antiprotonen in der kosmischen Höhenstrahlung.** Während noch immer die Frage offen ist, weshalb die Flußdichte der Sonnenneutrinos erheblich unter dem theoretischen Sollwert liegt, sehen die Dinge bei den Antiprotonen in der kosmischen Höhenstrahlung gerade umgekehrt aus: Sie treten – an sich äußerst selten – zahlreicher auf, als aufgrund unseres heutigen Wissensstandes zu erwarten wäre.

Sicher ist ein Teil der beobachteten Antiprotonen zwar kosmischer, aber dennoch sekundärer Natur, entstanden als einer der Partner eines Proton-Antiprotonpaares bei Kollisionen sehr energiereicher kosmischer Primärteilchen mit der interstellaren bzw. intergalaktischen Materie.

Eingehende Untersuchungen durch P. Kiraly und seiner Gruppe am Forschungsinstitut für Physik in Budapest haben ergeben, daß ungefähr dreimal so viele Antiprotonen mit Energien von 8 GeV bei uns einfallen, als mit den theoretischen Prognosen vereinbart ist. Mit abnehmender Energie müßte der Antiprotonfluß zudem sehr rasch abnehmen, de facto ist er aber auch für 0,2 GeV-Antiprotonen nur 2,5mal geringer als für die 8 GeV-Teilchen.

Das Kiraly-Team suchte vorerst die Ursache des Exzesses in den Wirkungen des interplanetaren Magnetfeldes, kam aber zur Erkenntnis, daß dieser Einfluß nicht maßgeblich sein kann. Als weitere Möglichkeiten kommen die Eigenschaften von zwei Milchstraßenmodellen in Betracht. In einem hat die Milchstraße ein (magnetisches) Leck, durch das Partikel entweichen, dem anderen Modell zufolge ist die Milchstraße geschlossen. Aber auch diese Ursachenversion erklärt in keiner Weise den Überschuß an Antiprotonen.

Natürlich könnten die Antiprotonen zu einem gewissen Teil Primärpartikeln sein. Doch dann erhebt sich sofort die Frage nach ihrer Herkunft und Erzeugung. Existieren vielleicht ganze Galaxienhaufen, aufgebaut aus Antimaterie? Unsere Milchstraße gehört mit Sicherheit nicht einem solchen Haufen

an, denn bei Zusammenstößen von Teilchen der Milchstraße und Antiteilchen aus Antigalaxien des Haufens würde eine intensive Vernichtungsstrahlung von 511 keV entstehen, die nicht vorhanden ist.

Antiteilchen von Antigalaxien würden übrigens alsbald mit Normalteilchen im intergalaktischen Raum zerstrahlen und, wenn ein Antiproton überhaupt bis zu unserer Milchstraße kommt, vom galaktischen Wind aus der Milchstraße am Eindringen in sie gehindert werden.

Bleibt als letzter, eher exotischer Ausweg, an explodierende primordiale Schwarze Löcher zu denken. Nach der Hawking-Hypothese verlieren Schwarze Löcher (trotz der Unent rinnbarkeit ihres Inhaltes) infolge der durch Vakuum-Fluktuationen auftretenden virtuellen Partikel-Antipartikelpaare Masse. Ihre Temperatur ist zu ihrer Masse verkehrt proportional und sie explodieren schließlich in den letzten 0,1 s ihres „Lebens“. Jene Schwarzen Löcher, die zur Zeit des Urknalls etwas mehr als  $5 \cdot 10^{11}$  kg hatten, wären nach Hawking in der Gegenwart an der Reihe, zu explodieren und dabei auch in der Milchstraße Antiprotonen auszuschütten, die wir beobachten. Kiraly hält diese Erklärung des Überschusses am ehesten für zutreffend, ohne sich aber auf sie festzulegen. Es muß eben weiter fleißig beobachtet und nachgedacht werden! (Lit.: Sky and Tel., Febr. 1982, S. 147, News Notes: Antiprotos in Cosmic Radiation.)

**550 Mio. Kelvin-Plasma in der Saturnumgebung.** Die UV-Strahlung der Sonne bewirkt, daß die Temperatur der höchsten, äußerst dünnen Erdatmosphäre bis zur Größenordnung von 1000°C ansteigt. Bei der Sonnenkorona sind es gar an die 10<sup>6</sup> Grad, die von UV-, Röntgenstrahlung und den von der Sonne ausgehenden Stoßwellen hervorgerufen werden. Daher ist es nicht verwunderlich, daß auch Jupiter und Saturn von extrem heißen Plasmaringen umgeben sind. Die Plasmadichte ist aber derart gering, daß die Raumsonden beim Durchflug dieser Regionen nicht im geringsten beschädigt wurden.

Die Sonde Voyager 2 ist, während sie den Plasmaring um Saturn durchquerte, auf Temperaturen von 300 bis 550 Millionen Kelvin gestoßen, den höchsten bisher im Planetensystem angetroffenen Werten. Schon bei Jupiter fand man extreme Plasmatemperaturen vor, aber nahe Saturn erwiesen sie sich als doppelt so hoch, sie übersteigen die Temperatur der Sonnenkorona um gut den Faktor 100. Dieser Plasmatorus erstreckt sich im Abstandsintervall von 275.000 bis 725.000 km zur Wolkenobergrenze Saturns. Die Plasmadichte beträgt nur ca. ein Ion pro dm<sup>3</sup>. Da Pioneer 11 und Voyager 1 nichts davon merkten, scheint Saturns Magnetosphäre wilden Veränderungen zu unterliegen, die ja ionisierte Materie stark beeinflußt.

Die stärksten Ansammlungen des ionisierten heißen Gases finden sich in der Nähe der Umlaufbahnen der Saturnmonde Dione und Rhea. Sonnseitig dehnt sich der Plasmatorus weiter aus als nachtseitig. (Lit.: Sky and Tel.: Febr. 1982, S. 148, News Notes: The Hottest Plasma?)

**Einige Daten über galaktische Kerngebiete.** Die Kerne von Galaxien emittieren über 12 Dekaden, das ist von Radiowellen bis zu harter Gamma-Strahlung, elektromagnetische Energie. Dies – im Gegensatz zu den Sternen – mit einer pro Frequenzoktav gleichbleibenden Intensität. Wollte man eine derartige Spektralverteilung künstlich erzeugen, dann müßte die Schwarzkörperstrahlung von nicht weniger als 30 unterschiedlich temperierten Wärmequellen überlagert werden, deren kühlsie 10 K, deren heißeste an die 10<sup>13</sup> K hätte. Den radiativen Leistungsrekord unter den diesbezüglich untersuchten Galaxien hält eine mit 10<sup>41</sup> W, was dem 3 · 10<sup>14</sup>-fachen der Sonnenleuchtkraft entspricht.

Mit Hilfe der Langbasis-Radiointerferometrie konnte die lineare Ausdehnung einiger Quellgebiete bestimmt werden. (Für 6 cm Radiowellen und 6000 km Abstand der Radioteleskope eines Interferometersystems beträgt die Winkelauflösung 0,002".) Danach kann ihr Durchmesser nicht kleiner als ca. 10 AE sein, was ungefähr der Distanz Sonne–Saturn entspricht.

Aber auch aus den Zeitperioden  $\Delta t$  allfälliger Helligkeitsschwankungen der Kerngebiete kann auf deren lineare Erstreckung geschlossen werden. Da sich keine physikalische Wirkung rascher als das Licht ausbreiten kann, muß der Durchmesser eines galaktischen, helligkeitsvariablen Core mindestens  $c \cdot \Delta t$  betragen.

Schließlich konnte noch mit keinem Fernrohr ein szintillierender Kern bemerkt werden, hervorgerufen durch das interstellare Medium in ähnlicher Weise, wie dies die irdische Lufthülle infolge ihrer Dichtefluktuationen beim Licht der Fixsterne tut. Nur die Planeten szintillieren nicht, weil sie relativ zur Luftunruhe als nicht punktförmige, sondern als fächerhafte Lichtquellen anzusehen sind. Radiowellen erregen am leichtesten Szintillationen, weil sie langwelliger als die übrigen Strahlungsarten sind. Aber auch im Radiobereich hat man bisher in keinem einzigen Fall Szintillationen von galaktischen Kernen beobachtet. Also müssen die Durchmesser der Radioquellen größer als  $10^{12}$  m sein. Das Kerngebiet unserer Milchstraße ist  $3 \cdot 10^{14}$  m weit.

Verglichen mit dem Volumen der jeweiligen Galaxis ist das Kernvolumen ca.  $10^{24}$ mal kleiner, trotzdem strahlt der Kern 10- bis 100mal mehr Leistung ab als der übrige Teil der Galaxis. Aufgrund der Dopplerverbreiterung der Emissionslinien der Kerne infolge turbulenter Bewegungen herrschen dort Geschwindigkeiten von  $\pm 10\,000$  km/s. In den Fällen, in denen die Emissionslinien schmal sind, dürfte die tw. Absorption der Profilflanken der Linien innerhalb der Galaxis daran schuld sein.

Die Temperaturen der mit nur  $10^{4\pm 1}$  cm<sup>-2</sup> Säulendichte durch Teilchen belegten Raumteile, die sich durch das Auftreten „verbotener“ Spektrallinien verraten, dürften  $10^4$  K betragen. (Lit.: St. u. Weltr., Febr 1982, S. 66, W. Kundt, Aktivität in Zentren der Galaxien.)

**Ein Komet stürzte in die Sonne.** Der im Febr 1979 gestartete US-Satellit P78-1 hat am 30. 8. 1979 den Einsturz eines Kometen in die Sonne fotografiert. Die Anfluggeschwindigkeit des Kometen – sein Gas/Staubschweif war 4,8 Mio. km lang – betrug in der letzten Flugphase 285 km/s. (Fluchtgeschwindigkeit von der Sonnen-„Oberfläche“  $\approx 640$  km/s.) Die Kollision setzte  $10^{29}$  J an Energie frei, das ist etwa der 1000fache Energiekonsum in den USA pro Jahr! Die Kometenmaterie wurde viele Mio. km vom Einsturzgebiet weggeschleudert. Die Heftigkeit des Ereignisses läßt sich auch dadurch ermessen, daß die zerstreute Kometenmaterie noch 11 Stunden nach dem Aufprall als heller Halo hoch über der Sonnenphotosphäre zu sehen war. (Lit.: St. u. Weltr., Jänner 1982, S. 7, hwk, Kometenkollision mit der Sonne fotografiert.)

**Anregungszustände des Pions.** Das im Jahre 1974 entdeckte Psi-Teilchen ( $\psi$ ) stellt ebenso wie das einige Jahre später entdeckte Upsilon-Teilchen ( $\Upsilon$ ) sogenannte **Quarkonium-Zustände** dar, in denen ein Quark mit seinem eigenen Antiquark ein sehr fest gebundenes System bilden. Bei  $\psi$  sind Charm (c) und Anticharm ( $\bar{c}$ ), bei  $\Upsilon$  Bottom (b) und Antibottom ( $\bar{b}$ ) die konstituierenden Quarks bzw. Antiquarks. Mittels Energiezufuhr gelang es bald, bei beiden Teilchenarten höhere Anregungszustände zu erzeugen. Das massenärmste Quarkonium, das Pi-Meson, ist als der Bindungszustand  $u\bar{u}$  (u ist das Up-Quark) anzusehen. Die entgegengesetzten Eigenspins von u und  $\bar{u}$  heben einander auf, der Bahndrehimpuls von  $\pi^0$  ist auch Null. Dasselbe gilt für die Grundzustände  $\psi$ ,  $\Upsilon$ . Bei Anregung erhöht sich die Rotationsenergie von Quark und Antiquark, ohne daß der Bahndrehimpuls von Null verschiedene Werte annähme. Da den Anregungsenergien beträchtliche relativistische Massenäquivalente entsprechen, registrieren die Detektoren bei den angeregten Teilchen  $\psi'$ ,  $\psi''$ ,  $\Upsilon'$  ... höhere Massen als ihren Grundzuständen zukommen.

Dasselbe ist für das Pion zu erwarten, aber bis jetzt schlugen alle Versuche zur Erzeugung angeregter Pionen fehl. Nach letzten Meldungen in Phys. Rev. Lett. scheint aber der Durchbruch gelungen zu sein, welcher der Zusammenarbeit von Physikern aus Mailand, Bologna und Dubna zu verdanken ist. Die Experimentatoren beschossen Atomkerne mit hochenergetischen Pionen (die im Protonenbeschleuniger von Serpuchow, UdSSR, erzeugt wurden) und analysierten an die 120 000 Kollisionsereignisse, bei denen drei sekundäre Pionen auftraten. Unter ihnen erschienen viele Pionentripel, bei denen ein Partner die Masse  $1,240$  GeV/c<sup>2</sup> bzw.  $1,770$  GeV/c<sup>2</sup> besaß. Da diese massiven Partikel den Bahndrehimpuls Null hatten, war auch ihr Gesamtspin Null wie bei den unangeregten Pionen. Zudem stimmten andere Quanteneigenschaften mit dem „gewöhnlichen“ Pion überein, so daß die Interpretation als angeregte Pionen einiges Gewicht hat. Natürlich muß die weitere Entwicklung des Experiments abgewartet werden, ehe man der Sache sicher sein kann. (Lit.: Scient. Am., Sept. 1982, S. 82, The Excited Pion.)

### Warum manche Menschen Mikrowellen hören können.

Schon in den ersten Zeiten des Rundfunks behaupteten hin und wieder Menschen, ohne Empfangsgeräte mitunter elektromagnetische Signale akustisch wahrzunehmen. Zunächst schob man solche Aussagen mitleidig lächelnd beiseite. Beharrte der Beobachter jedoch auf seiner Behauptung, bezweifelte man sogar, ob er alle seine Sinne beisammen hätte.

Als die Radartechnik allgemeine Verbreitung gefunden hatte, häuften sich die Meldungen über das Hören von Mikrowellen in einem Maße, daß nicht mehr darüber hinweggesehen werden konnte. Die Frage war nur, wie denn elektromagnetische Schwingungen im GHz-Bereich (0,3 bis 300 GHz) mechanische Schwingungen im Abschnitt 20 Hz bis 15 kHz auslösen könnten, zumal die letzteren Druckschwankungen waren.

Im Journal of the Acoustical Society of America erschien nun eine Publikation, welche die Zusammenhänge physikalisch und physiologisch klarstellt. Die Arbeit ist das Ergebnis von Forschungen seitens Chung Kwang Chou, A. Guy (School of Medicine bzw. College of Engineering an der Univ. Washington) und R. Galambos (School of Medicine, Univ. of Calif., San Diego). Das Team prüfte die seit 1956 angesammelten Berichte über individuelle Gehörswahrnehmungen von elektromagnetischen Wellen und führte Tierversuche sowie Experimente mit verschiedenen Materialien durch. Die Forscher überzeugten sich von der Realität des sonderbaren Effektes, vorausgesetzt, die Versuchsperson hört hohe Schallfrequenzen gut und befindet sich an einem Ort, an dem die Feldstärke des Mikrowellenfeldes hoch genug ist. Die Wahrnehmung von Mikrowellenpulsen erfolgt in der Form von Klicken, Brummen und Zischen.

Die Mikrowellen erwärmen bei der Absorption den Kopf des Menschen ungleichmäßig, so daß sich thermoelastische Druckwellen ausbilden, die hauptsächlich über die Knochen auf den akustischen Rezeptor im Innenohr einwirken. (Lit.: Scient. Am., Sept. 1982, S. 85, Audible Radar.)

**LEAR (Low Energy Antiproton Ring).** Die großen Beschleunigungsanlagen, wie CERN, FNAL, Serpuchow usw., streben nach möglichst hohen Kollisionsenergien, um das Massenspektrum der Elementarteilchen nach oben zu erforschen. Es besteht jedoch auch großes wissenschaftliches Interesse am Verhalten von Antiteilchen bei niedrigen Energien. Aus diesem Grunde wurde bei CERN der Impuls der Antiprotonen von 3,5 GeV/c, mit dem sie aus ihrem „Geburtsort“ kommen, auf 0,1 bis 2 GeV/c verringert. Die „langsameren“ Antiprotonen sammeln sich im neu entstandenen Speicherring LEAR. Der Grundriß des Rings von 80 m Umfang hat die Form eines an den vier Ecken abgerundeten Quadrates, damit die Partikel möglichst lange geradlinige Flugstrecken vorfinden. In den Ecken sitzen die zur Bahnführung nötigen Ablenkermagnete. Das LEAR-Vakuum ist von derselben Qualität wie im Speicherring ISR. Die erste probeweise Injektion von Protonen (Antiprotonen waren zu jenem Zeitpunkt wegen der Reparaturarbeiten an der Antiprotonen-Quelle nicht greifbar) in den LEAR erfolgte Ende Juli 1982, um seine Funktionstüchtigkeit zu prüfen. (Lit.: CERN Courier, Sept. 1982, S. 272, LEAR is near.)

**Der heißeste Weiße Zwerg.** Der Stern BE im Gr. Bären bildet mit einem Weißen Zwerg ein Binärsystem von 15<sup>m</sup> scheinbarer Helligkeit, die etwa mit dem Faktor 2 variiert. Die Periode ist 2,29 d. Der UV-Anteil im Spektrum ist übergroß, Absorptions- und Emissionslinien wechseln einander nach früheren Beobachtungen innerhalb von Monaten ab. Neuere Untersuchungen des Objekts von B. Margon (Univ. of Wash.) und R. Downes, J. Katz (Univ. of Calif., Los Angeles) im März und April 1981 mit dem 2,1-Spiegel des Kitt Peak Obs. bzw. dem 1,5-Fernrohr auf dem Mt. Lemmon ergaben folgendes. Es erscheinen abwechselnd drei Spektralformen: a) Ein Kontinuum im Blauen mit kräftigen, scharfen Emissionslinien; b) ein strukturloses Kontinuum mit exzessivem UV-Anteil; c) ein Kontinuum im Blauen mit starken Absorptionslinien. Die Übergänge zwischen den drei Typen erfolgen – überraschenderweise – binnen Stunden. Typ a) tritt nahe dem Helligkeitsmaximum des Systems auf. Offenbar erhitzt die ionisierende Strahlung des sehr heißen Partners den anderen, der Spektrum a) ausstrahlt. Im Helligkeitsminimum befindet sich der heiße Zwerg in der Sehlinie vor dem kühleren Stern, und man sieht das Spektrum des **Weißen Zwerges**, das die **Oberflächentemperatur von zirka 100 000 K** verrät. (Lit.: Sky and Tel., Sept. 1982, S. 225, The Hottest White Dwarf.)

**Großes Röntgenteleskop soll die Erde umkreisen.** Die Beobachtung des Himmels aus Positionen außerhalb der Atmosphäre verlaufen derart erfolgreich, daß die NASA um das Jahr 1990 ein großes, hochpräzises Röntgenteleskop in eine 480 km hohe Umlaufbahn zu bringen plant. Mit 13,1 m Länge und 4,3 m Durchmesser paßt es in den Laderaum des Raumtransporters, der es hochtragen soll. Das Fernrohr wird die ansehnliche Masse von 11 Tonnen haben. Zwei optische Firmen bauen bereits im Auftrage der NASA kleinere Demonstrationsgeräte, die 1984 fertiggestellt sein sollen. Von ihrer Funktionsweise wird es abhängen, in welcher Form die Konstruktion des Raumteleskops zu erfolgen hat. Nach der Verwirklichung des Projektes wäre der Röntgenhimmel der Forschung bis in die letzten Winkel des Universums zugänglich. (Lit.: Sterne u. Weltr., Juli/August 1982, S. 281, W. Baier, Großes Röntgenteleskop geplant.)

**Überschuß linksdrehender Aminosäuren in einem Meteoriten.** Es ist eine merkwürdige Tatsache, daß sämtliche irdischen Lebewesen linksdrehende Aminosäuren enthalten, während Meteoriten, in welchen diese chemischen Verbindungen gefunden wurden, racemisch sind, d. h. links- und rechtsdrehende Aminosäuren zu gleichen Teilen aufweisen. Die Bildung der einen wie der anderen Sorte ist offenbar im Weltraum gleich wahrscheinlich. Um so erstaunlicher ist die Meldung von M. Engel und B. Nagy (Univ. Arizona), daß sie in einem aus Südastralien stammenden Meteoriten vorwiegend auf linksdrehende Aminosäuren stießen. Um jede Verunreinigung auszuschließen, entnahmen die beiden Forscher die zu analysierende Probe dem Kerngebiet des Meteoriten und entdeckten dort 5 verschiedene Aminosäuren der vorwiegend linksdrehenden Art. Obwohl der Fund zu keiner Aussage über Leben im Weltraum berechtigt, könnte das Faktum doch einen Hinweis in dieser Richtung bedeuten.

(Lit.: Sterne u. Weltr., Juli/August 1982, S. 284, W. Baier, Meteorit mit „Lebens“-Säuren.)

**Sonnennaher Stern mit Jet.** Einige Galaxien, wie M 87, einige Quasare, wie 3C 273, und vereinzelt auch Binärsysteme, wie SS 433 (s. Wiss. Nachr., Nr. 52, I, 1980, S. 34, „SS 433 spielt verrückt“, und Nr. 56, IV, 1981, S. 44, „Das Rätsel um SS 433 beginnt sich zu lichten“), schleudern Materie in Form eines Strahls in den Weltraum, der als **Jet** bezeichnet wird. Auf den Himmelsfotos erscheint ein Jet als kurzes helles Strichlein, das aus dem Objekt herausragt. Die Geschwindigkeit, mit der die Materie den Himmelskörper verläßt, ist groß, im extremsten Fall beträgt sie 80 000 km/s. Leider befinden sich Objekte mit Jet in derart großen Distanzen, daß die nähere Untersuchung ziemlich eingeschränkt ist. Aber das Glück war den Astronomen hold, A. Michalitsianos, M. Kafatos und R. Sopka (Goddard Space Flight Center und Univ. Maryland) entdeckten in dem schon länger bekannten **variablen Roten Riesen R Aquarii** (Periode etwa 1 Jahr,  $6^m \leq m_{vis} \leq 11^m$ ) ein Objekt, dessen Atmosphäre den ihn begleitenden Weißen Zwerg einhüllt (man spricht in solchen Fällen von **sympiotischen Doppelsternen**), einen Jet. Und zwar zeigte die Beobachtung mit dem „Very Large Array“-Radioteleskop von Socorro in Neumexiko das Vorhandensein eines Jets von 1500 AE Länge (= 225 Mrd. km), der inzwischen auch optisch durch G. Herbig mit dem 3-m-Fernrohr der Lick-Sternwarte identifiziert werden konnte. Das Gas des Jet verläßt sein Basisgebiet mit 2000 km/s und führt der Gas-hülle laufend Materie zu. Der physikalische Vorgang, der solche Ausströmungen erzeugt, ist vorläufig noch rätselhaft. Da aber R Aquarii lediglich 750 Lj. von uns entfernt ist, hofft man, genaueres über die Erscheinung zu erfahren. (Lit.: New Scientist, Bd. 94, S. 142, 1982; Sterne u. Weltr., Juli/August 1982, S. 283, A. Krabbe, Jet-Stern in Sonnennähe.)

# WIRTSCHAFTS- UND SOZIALGEOGRAPHIE WIRTSCHAFTSINFORMATIONEN

Prof. W. Sitte

E. Nowotny\*)

## Gemeinwirtschaft in Österreich

Obwohl Wien bereits 1960 Schauplatz des V. Internationalen Kongresses der Gemeinwirtschaft war und damals schon die Arbeitsgemeinschaft der österreichischen Gemeinwirtschaft erstmals ein Handbuch der österreichischen Gemeinwirtschaft vorlegte (das zweite Mal erschien dieses Handbuch 1972; die neueste Gesamtdarstellung wurde 1982 herausgegeben – vgl. WISSENSCHAFTLICHE NACHRICHTEN Nr. 60), scheint der Begriff Gemeinwirtschaft noch anfangs der achtziger Jahre in vielen österreichischen Schulbüchern überhaupt nicht oder mit falschen Erklärungen verbunden auf. Wir zitieren beispielhaft aus einem Geographie- und Wirtschaftskunde-Lehrbuch für Handelsschulen und Handelsakademien, das im Jahr 1978 (!) erschien: „Gemeinwirtschaften aller Art bestanden bei den Jägerstämmen der Indianer und sind heute noch bei den Hackbauvölkern Afrikas oder Südamerikas zu finden. Die moderne Gemeinwirtschaft (Kollektivwirtschaft) ist im ‚Ostblock‘ in verschiedenen Stufen verwirklicht und sucht die bestmögliche Versorgung mit allen Wirtschaftsgütern und das Erreichen bestimmter Wirtschaftsziele durch gemeinsames, staatlich gelenktes Arbeiten.“ Wir haben uns daher entschlossen, den von E. Nowotny verfaßten Einführungsbeitrag in dem oben zitierten Handbuch (DIE ÖSTERREICHISCHE GEMEINWIRTSCHAFT, Jugend und Volk Verlag, Wien 1982) gekürzt abzudrucken. Wir danken der Arbeitsgemeinschaft der österreichischen Gemeinwirtschaft für die Erlaubnis der Wiedergabe. W. S.

### Gemeinwirtschaft (GW) – Begriff und Abgrenzung

Es ist nicht zu verwundern, daß es gerade bei einem so heterogenen und ordnungspolitisch umkämpften Bereich wie dem der GW eine lange und umfassende Debatte um Fragen der Definition und Abgrenzung gab und gibt. Ohne an dieser

\*) Dr. Ewald Nowotny, o. Prof. an der Universität Linz

Stelle auf diese Debatte näher eingehen zu können, erscheint es als zweckmäßig, in Anlehnung an Thiemeyer als „gemeinwirtschaftlich“ jene Unternehmen zu erfassen, die im „öffentlichen Interesse“ tätig werden, wogegen als „privatwirtschaftliche“ jene Unternehmen zu erfassen sind, die im Interesse ihrer privaten Eigentümer agieren.

Das Tätigwerden im öffentlichen Interesse bedeutet dabei keinen strikten Gegensatz zu privatwirtschaftlichem, letztlich gewinnorientiertem Verhalten. Sieht man wie Thiemeyer gemeinwirtschaftliche Unternehmen als Instrumente der Wirtschafts- und Gesellschaftspolitik, so liegt das Charakteristikum dieser gemeinwirtschaftlichen Unternehmen vielmehr darin, daß für sie in Ergänzung oder in Abwandlung zum einzelwirtschaftlichen Profitabilitätsziel zusätzlich noch übergeordnete Zielsetzungen bestehen, die ihnen von ihrem Träger vorgegeben werden. Die Zielfunktion gemeinwirtschaftlicher Unternehmen ist demnach nicht grundsätzlich von der privatwirtschaftlicher Unternehmen verschieden, beinhaltet aber zusätzliche unternehmensexterne Elemente bzw. Restriktionen.

Aus einer solchen instrumentalen Sicht erscheint der gemeinwirtschaftliche Bereich eingebettet und integriert in den gesamtwirtschaftlichen Zusammenhang, wenn auch z. T. mit bestimmten, politisch vorgegebenen Aufgabenstellungen. Diese Sicht versteht sich auch als deutlicher Gegensatz zu den manchmal nach wie vor virulenten „Fremdkörpertheorien“ der GW, die einen strikten Gegensatz zwischen gemeinwirtschaftlichem und privatwirtschaftlichem Bereich konstruieren wollen. Dabei gibt es zwei einander gegenüberstehende Betrachtungsweisen, aus denen heraus der gemeinwirtschaftliche Bereich als Fremdkörper im Wirtschafts-geschehen erscheint: Aus einer fundamental-sozialistischen Position heraus wird die GW als eine „Insel“ innerhalb des kapitalistischen Systems gesehen, die jenseits des kapitalistischen Gewinnstrebens quasi einen Vorgriff auf eine „neue“, nicht an individuellem Eigennutz orientierte Gesellschaft dar-

stellt und deren schrittweiser Ausbau letztlich zur Überwindung dieser kapitalistischen Wirtschafts- und Gesellschaftsordnung führt.

Aber auch aus einer strikt aus reiner Marktwirtschaft und unbegrenztem Privateigentum orientierten Sicht erscheint der gemeinwirtschaftliche Bereich als Fremdkörper, der das ungestörte Spiel der Marktkräfte stört, von dem erwartet wird, daß er „selbsttätig“ zu einem gesamtgesellschaftlichen Optimum führt. Jede Aufnahme von anderen Zielsetzungen als der der einzelwirtschaftlichen Gewinnmaximierung führt nach dieser Sicht zur Fehlleitung von volkswirtschaftlichen Ressourcen, so daß damit der Bereich der GW als Störfaktor und Fremdkörper in einem marktwirtschaftlichen System erscheint.

Tatsächlich gehen beide Versionen einer „Fremdkörpertheorie der GW“ an den historisch-institutionell gegebenen Voraussetzungen moderner Volkswirtschaften vorbei und sind daher als empirisch nicht haltbar abzulehnen. Denn einerseits hat sich das Markt- und Preissystem als unentbehrlicher Koordinations- und Lenkungsmechanismus für hochentwickelte Volkswirtschaften erwiesen, während andererseits ein ausschließliches Abstellen auf dieses System zu wirtschaftlicher und sozialer Instabilität und zur Unterversorgung mit gemeinwirtschaftlich wichtigen Leistungen führen würde, so daß dem öffentlichen Sektor im weitesten Sinne eine wichtige und legitime Funktion in modernen Volkswirtschaften zukommt. Aus dieser Sicht einer nach Eigentumsverhältnissen und Steuerungsmechanismen gemischtwirtschaftlichen Gesellschaft läßt sich heute am klarsten die Funktion der GW als Instrument der Wirtschafts- und Gesellschaftspolitik ableiten. Dabei sei auch darauf hingewiesen, daß diese instrumentale Sicht der GW auch eine erhebliche Dynamik impliziert: Denn sie erfordert die stete Überprüfung nach Form und Berechtigung der angestrebten Ziele, die Frage, ob die bestehenden gemeinwirtschaftlichen Unternehmen die entsprechenden Ziele auch tatsächlich erfüllen, wie auch die Frage, ob sie im Vergleich zu anderen möglichen Einsatzformen die geeignetste Form der Zielerfüllung darstellen. Das bedeutet insgesamt, daß eine solche instrumentale und damit dynamische Sicht der GW kein Festschreiben eines einmal bestehenden Zustandes erlaubt, sondern den Bereich der GW stets als flexibel in jeder Richtung zu betrachten hat.

### Umfang und wirtschaftliche Stellung der Gemeinwirtschaft in Österreich

Für eine detaillierte Erfassung des gemeinwirtschaftlichen Bereiches in Österreich liegt nun neben einer umfassenden Erhebung der Arbeitsgemeinschaft der österreichischen Gemeinwirtschaft erstmals eine vom Österreichischen Statistischen Zentralamt erstellte Sonderauswertung der nichtlandwirtschaftlichen Betriebszählung 1976 vor (1980), die von seiten der Arbeitsgemeinschaft der österreichischen Ge-

meinwirtschaft nach Möglichkeit für die Folgejahre weitergeschrieben wird, wobei sich für den überschaubaren Zeitraum eine weitgehende Konstanz der für 1976 ermittelten Strukturgrößen ergibt. Die folgende Darstellung wird sich im wesentlichen auf diese Unterlagen stützen.

Der Bereich der GW in Österreich, wie er vom Österreichischen Statistischen Zentralamt ausgewertet wurde, umfaßt:

- Bundesunternehmen und Bundesbeteiligungen (ab 50 Prozent). Dazu zählen insbesondere ÖBB, OPT, Monopole, Postsparkasse, Dorotheum, DDSG, AUA, Austria Tabakwerke, Österr. Verkehrsbüro, Verbundkonzern, ORF
- Verstaatlichte Industrie: ÖIAG-Konzern und inländische Konzernbeteiligungen mit mindestens 50 Prozent
- Oesterreichische Nationalbank, verstaatlichte Banken (Bundesanteil: 60 Prozent) und Beteiligungen mit mindestens 50 Prozent des Nominalkapitals
- Betriebe und Beteiligungen der Bundesländer, insbesondere Landes-Elektrizitätsgesellschaften, Landeshypothekenanstalten und Versicherungsanstalten
- Kommunale Unternehmen und Beteiligungen, insbesondere Versorgungs- und Verkehrsbetriebe, Gemeindeparkassen
- Genossenschaftssektor, insbesondere Konsumgenossenschaften, gemeinnützige Wohnbauunternehmen, Kreditgenossenschaften (z. B. Raiffeisen, Volksbanken), Waren-genossenschaften
- sonstige Gemeinwirtschaft: Vereinssparkassen, Betriebe des ÖGB, Bawag, Beteiligungen von politischen Parteien, Kammern, Kirchen

Der in der obigen Aufstellung erfaßte Bereich der GW in Österreich umfaßte 1976 470.024 Beschäftigte; bezogen auf die Gesamtzahl der unselbständig Beschäftigten in Österreich bedeutet dies einen Anteil von 17,5 Prozent, bezogen auf den Bereich der gewerblichen Wirtschaft (siehe Tabelle 1) bedeutet dies einen Anteil von knapp 25 Prozent an den unselbständig Beschäftigten. Wie Tabelle 1 erkennen läßt, entfallen fast ein Drittel der gesamten Wertschöpfung der gewerblichen Wirtschaft und fast die Hälfte (46,1 Prozent) der Investitionen auf den gemeinwirtschaftlichen Bereich. Bereits diese wenigen Kennzahlen zeigen deutlich die Charakteristika des gemeinwirtschaftlichen Bereiches in Österreich als eines überaus wichtigen, aber nicht dominierenden Teiles der österreichischen Wirtschaft, mit überdurchschnittlich hoher Kapital- und Investitionsintensität und überdurchschnittlicher Arbeitsproduktivität, der auch ein überdurchschnittlicher Personalaufwand (32,1 Prozent der gesamten gewerblichen Wirtschaft) entspricht. So beträgt der Nettoproduktionswert pro Beschäftigten im Bereich der GW 304.000 Schilling (Betriebe insgesamt 214.000 Schilling), der durchschnittliche Personalaufwand je Beschäftigten beträgt 196.000 Schilling (Betriebe insgesamt 150.000 Schilling). Die Investitionsquote, definiert als Anteil der Investitionen am Bruttoproduktionswert, ist im Bereich der GW mit 12,4 Prozent fast doppelt so hoch wie im Durchschnitt der gesamten gewerblichen Wirtschaft (6,8 Prozent).

**Tabelle 1: Gemeinwirtschaft in Österreich – Beschäftigte, Personalaufwand, Investitionen und Produktionswerte** (Gliederung nach Wirtschaftsabteilungen mit Ausgliederung der Betriebe der Gemeinwirtschaft)

Wirtschaftsabteilung		Unselbständig Beschäftigte	Personalaufwand	Investitionen in 1.000 Schilling	Bruttoproduktionswert	Nettoproduktionswert
Energie- und Wasserversorgung Gemeinwirtschaft	absolut	34.774	8,455.799	13,670.161	43,946.620	21,531.392
	in Prozent der Wirtschaftsabteilung	96,5	97,8	97,0	95,6	97,5
Bergbau-, Steine- und Erden-gewinnung GW	absolut	13.906	3,292.190	1,720.965	11,629.023	6,016.605
	in Prozent	64,6	69,5	65,7	69,2	66,7
Verarb. Gewerbe; Industrie GW	absolut	157.797	31,105.875	8,070.960	151,302.077	46,106.724
	in Prozent	18,3	24,2	27,0	27,8	24,4
Bauwesen GW	absolut	5.361	1,027.811	170.372	2,716.424	1,141.586
	in Prozent	2,3	3,1	3,4	3,1	2,5
Handel, Lagerung GW	absolut	29.069	4,113.135	968.155	62,806.146	7,170.842
	in Prozent	8,7	9,3	8,0	11,7	8,6
Beherbergungs- u. Gaststätten-wesen GW	absolut	2.321	275.950	30.351	627.786	311.301
	in Prozent	2,7	3,4	0,6	1,7	1,8
Verkehr, Nachrichten-übermittlung GW	absolut	154.359	27,799.808	13,123.355	39,218.989	28,213.222
	in Prozent	78,9	82,0	76,3	51,3	69,9
Geld- und Kreditwesen, Privat-versicherung, Wirt. D. GW	absolut	64.529	14,170.109	6,154.978	43,422.545	30,459.202
	in Prozent	64,8	70,7	70,6	68,1	71,8
Pers., soziale und öffentliche Dienste GW	absolut	7.908	2,044.648	614.419	4,139.842	2,067.848
	in Prozent	14,4	32,5	38,2	28,6	23,7
Zusammen GW	absolut	470.024	92,285.525	44,523.716	359,809.452	143,018.722
	in Prozent der gewerblichen Wirtschaft	24,5	32,1	46,1	25,3	31,3

Hinsichtlich der Struktur des gesamtwirtschaftlichen Bereiches in Österreich zeigt sich, bezogen auf die Beschäftigten, eine Schwerpunktbildung in den Bereichen Industrie (34 Prozent der Beschäftigten in der GW), Verkehr und Nachrichtenübermittlung (33 Prozent) und Geld- und Versicherungswesen (14 Prozent). Bezogen auf die Gesamtzahl der in den einzelnen Sektoren der gewerblichen Wirtschaft Österreichs Beschäftigten zeigt sich, wie zu erwarten, eine spezielle Dominanz der GW in den Bereichen „Energie- und Wasserversorgung“ und „Verkehr“. Aber auch in den Bereichen „Geld- und Versicherungswesen“ entfallen rund 65 Prozent der Gesamtbeschäftigten auf den Bereich der GW, während dagegen im zentralen Bereich „Verarbeitendes Gewerbe, Industrie“ der Anteil der GW 18 Prozent beträgt.

Bezüglich der Gliederung nach den Eigentumsverhältnissen steht bei Reihung nach dem Bruttoproduktionswert die verstaatlichte Industrie an erster Stelle (35 Prozent des gesamtwirtschaftlichen Bereiches), gefolgt von der Gruppe „direkte Aktivitäten des Bundes“ (12 Prozent), die insbesondere die Bundesebene umfaßt. Bezogen auf die Zahl der Beschäftigten steht freilich der letztgenannte Bereich mit einem Anteil von 30 Prozent aller in der GW Beschäftigten an der Spitze, wogegen auf die verstaatlichte Industrie als dem in dieser Hinsicht zweitwichtigsten Bereich 24 Prozent entfallen. Auch dies ist wieder ein deutlicher Hinweis auf die erhebliche Heterogenität der österreichischen GW, die sich auch in deutlichen Produktivitätsunterschieden zwischen den einzelnen Bereichen niederschlägt. Insgesamt zeigt sich ein deutliches Überwiegen der Stellung des Bundes, auf den direkt oder indirekt rund 70 Prozent der Beschäftigten und rund 65 Prozent des Bruttoproduktionswertes der österreichischen GW entfallen.

Betrachtet man die regionale Streuung der GW in Österreich, so zeigt sich ebenfalls ein sehr differenziertes Bild: Bezüglich der Anteile der GW an der Gesamtzahl der unselbständigen Beschäftigten in einem Bundesland weisen Oberösterreich (30 Prozent) und Wien (25 Prozent) Werte auf, die über dem österreichischen Durchschnitt (24,5 Prozent) liegen, während das Burgenland (15,9 Prozent) und Vorarlberg (10,8 Prozent) die geringsten Anteile zeigen. Bezüglich der Anteile an den regionalen Bruttoproduktionswerten stehen Oberösterreich (35 Prozent) und Niederösterreich (32 Prozent) an der Spitze.

### Gemeinwirtschaft in Österreich – Gesamtschätzung und Perspektive

Wie in diesem Beitrag gezeigt, stellt die GW in Österreich einen bedeutenden, keineswegs aber einen dominierenden Bereich des österreichischen Wirtschaftslebens dar. Daher kann auch hinsichtlich der spezifischen wirtschafts- und sozialpolitischen Entwicklung der Bereich der GW und im speziellen der Bereich der verstaatlichten Unternehmen nicht als eine „Insel der alternativen Ökonomie“ gesehen werden, was schon auf Grund der intensiven Konkurrenzbeziehungen zu in- und ausländischen privatwirtschaftlichen Bereichen nicht erwartet werden kann. Wohl aber sind im Rahmen dieser generellen Einbeziehung in privatwirtschaftliche Konkurrenzverhältnisse gewisse gesamtwirtschaftliche „Abweichungen“ und Akzentverschiebungen möglich, die letztlich von nicht unerheblicher gesamtwirtschaftlicher Bedeutung sein können. Die Möglichkeit solcher Akzentverschiebungen zeigt, daß von der Regelung der Eigentumsverhältnisse sehr wohl Einflüsse auf die von den Unternehmen verfolgte Zielsetzung ausgehen können, wobei freilich öffentliches Eigentum für das Verfolgen gesamtwirtschaftlicher Zielsetzungen zwar als notwendige, nicht aber als hinreichende Bedingung zu sehen ist. Die Frage, ob und welche gesamtwirtschaftliche Akzente gesetzt werden, hängt vielmehr wesentlich auch von den konkreten Einfluß- und Entscheidungsverhältnissen ab. Im Bereich der verstaatlichten Industrie sind die nachweisbaren Akzentsetzungen die Erhaltung der Vollbeschäftigung und eine Preispolitik, die es den Gewerkschaften ermöglicht, nicht nur über Nominal-, sondern auch über Reallöhne zu verhandeln. Anderen gesellschaftspolitischen Zielsetzungen, wie etwa Fragen der innerbetrieblichen Mitbestimmung, der Produktstruktur, des Umweltschutzes usw. wird – hier zweifellos in voller Übereinstimmung mit der überwiegenden Mehrzahl der Beschäftigten – insbesondere im Fall von Zielkonflikten deutlich geringere Bedeutung zugemessen. In diesen Bereichen zeigen sich auch keine nennenswerten Unterschiede zwischen staatlichem und privatem Unternehmensbereich in Österreich.

Dies entspricht dem Umstand, daß die Durchsetzung alternativer, gesamtwirtschaftlicher Zielsetzungen bei Unternehmen, die in privatwirtschaftlichen Konkurrenzverhältnissen agieren müssen, eben nur partiell möglich ist, wobei die Bedeutung solcher gesamtwirtschaftlicher „Abweichungen“ jedoch in speziellen Situationen sehr erheblich sein kann. So ist etwa der Umstand, daß es Österreich als einem kleinen, außenhandelsintensiven Land im Gegensatz zu seinen Außenhandelspartnern gelungen ist, den Wirtschaftseinbruch der siebziger Jahre ohne Beschäftigungsrückgänge zu bewältigen, neben einer stärker expansiven Budgetpolitik und einem höheren Dienstleistungsanteil zweifellos auch auf das abweichende Konjunkturverhalten der verstaatlichten Industrie zurückzuführen. Auch hinsichtlich der Erfüllung der zentralen Funktion der Versorgungssicherheit hat der gesamtwirtschaftliche Sektor in Österreich den an ihn gestellten Anforderungen entsprochen.

Insgesamt kann demnach davon ausgegangen werden, daß – bei allen nötigen Differenzierungen im einzelnen – das Gesamtbild der Tätigkeit der GW in Österreich positiv zu beurteilen ist. Dies dürfte auch eine wesentliche Ursache dafür sein, daß Debatten über „Privatisierung“, Abbau des gesamtwirtschaftlichen Bereiches usw., auf die an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden kann, in Österreich eine im Vergleich zum Ausland nur geringe Rolle spielen. Dazu kommt weiters, daß in Österreich in den meisten Fällen auch keine privatwirtschaftlichen innerösterreichischen Alternativen zum Bereich der GW bestehen und auch die wirtschaftspolitischen Erfolge bisheriger Reprivatisierungs-Experimente etwa in Großbritannien nicht sehr zur Nachahmung verleiten. Das kann freilich nicht bedeuten, daß Umfang, Inhalt und Organisationsformen der GW in Österreich als statisch festgeschrieben zu betrachten sind. Wie für jeden dynamischen Bereich einer Volkswirtschaft gilt auch für die GW, daß sie immer bereit sein muß, auf neue Herausforderungen zu reagieren und neue Initiativen zu setzen, um so auch weiterhin ihre wichtigen Funktionen für Österreichs Wirtschaft und Gesellschaft zu erfüllen.

## Sozioökonomische Grunddaten von den Staaten der Erde

Zahlen spielen im GW-Unterricht eine gewisse Rolle. Dabei geht es jedoch nicht darum, sie im Gedächtnis abrufbereit zu speichern. Zahlen soll man als **Quelle** benutzen. Sie sollen Einsichten und Erkenntnisse vermitteln. Das kann auf vielfältige Art geschehen. Beispielsweise dadurch, daß man das Zahlenmaterial durch die Schüler ordnen (klein → groß oder umgekehrt), grafisch darstellen (in Stab-, Kreis- oder 2- bzw. 3achsigen Korrelationsdiagrammen) oder mit einfachen statistischen Verfahren (Rangkorrelieren, Shift-Analyse) auswerten läßt. Anwendungen in der Unterrichtspraxis, an denen man sich orientieren kann, liegen genügend vor, und zwar u. a.: „Materialien zur politischen Weltkunde“, Wien, ÖBV, 1972<sup>1</sup>; G. HELBIG u. a., *Einführung in statistische Verfahren*, in DER ERDKUNDEUNTERRICHT, Heft 25/1980; viele Beispiele auch in der britischen Zeitschrift „Teaching Geography“).

Das im folgenden gebrachte Zahlenmaterial wurde aus dem im WELTENTWICKLUNGSBERICHT 1982 veröffentlichten Kennzahlen der Weltentwicklung zusammengestellt. Es enthält Angaben, die meist in unseren Büchern nicht enthalten sind, nämlich solche, die **Zeitvergleiche** möglich machen und damit **Entwicklungstendenzen** erkennen lassen. Aus diesem Grund wurden auch Prognosewerte eingefügt.

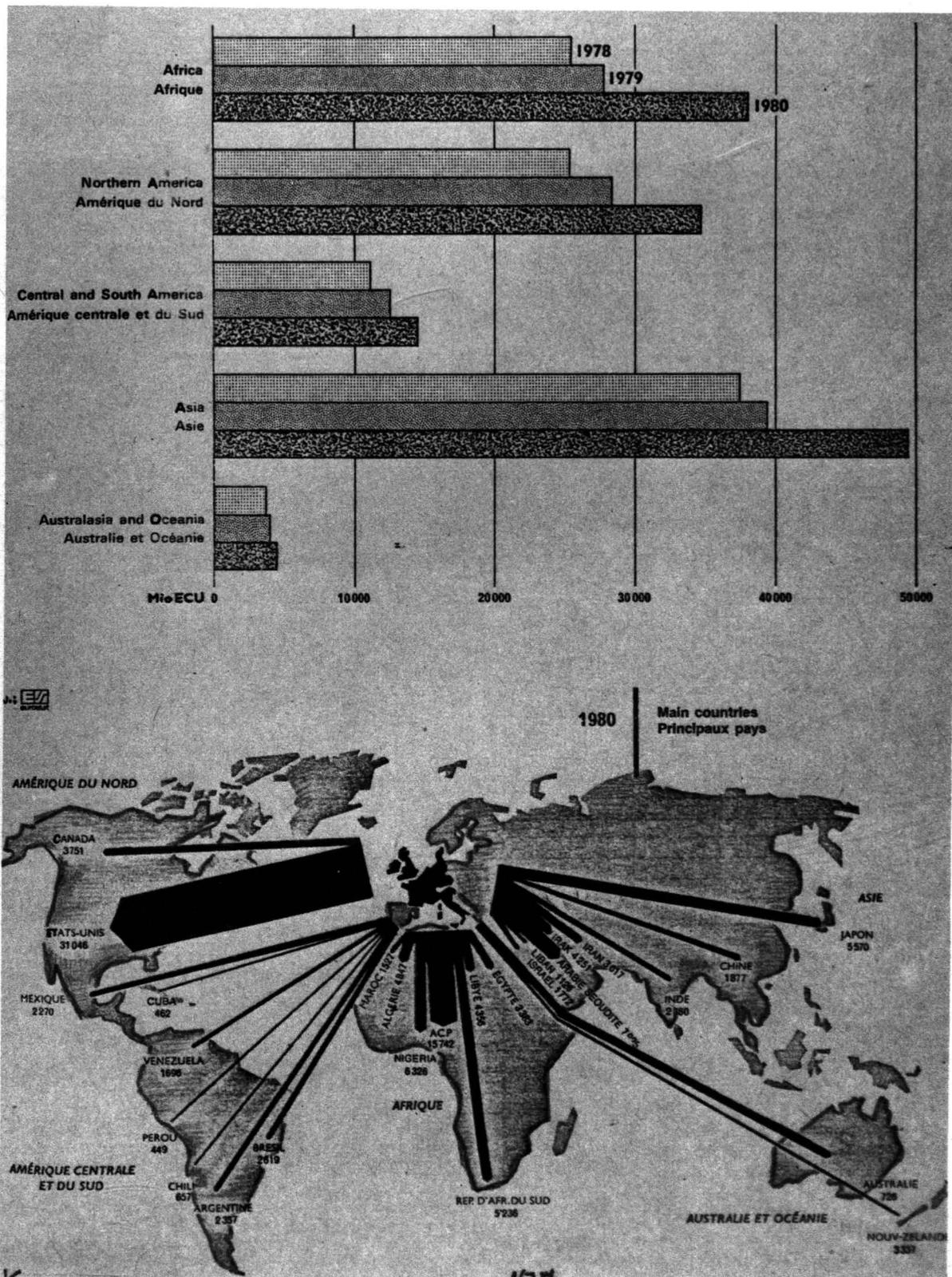
Der WELTENTWICKLUNGSBERICHT erscheint seit 1978 als jährliche Veröffentlichung der Weltbank in Washington. Er stellt eigentlich eine unverzichtbare Lektüre dar für alle, die sich über die Lage und Tendenzen der Weltwirtschaft und besonders der Entwicklungsländer interessieren (vgl. auch WISSENSCHAFTLICHE NACHRICHTEN Nr. 58). W. S.

## Sozioökonomische Grunddaten von den Staaten der Erde

	Bevölkerung (in Mio.)	Durchschnittliches jährliches Bevölkerungs- wachstum (in %)				Projektierte Bevölkerung (in Mio.)		% -Anteil der Erwerbspersonen in Landwirtschaft				BSP pro Kopf Durch- schnittl. jährlicher Zuwachs (in %)		Stadtbevölkerung in % der Gesamt- bevölkerung		
		1960-70		1970-78		1990	2000	1960		1980		Dollar	1960-80		1960	1980
		Mitte 1980	1960-70	1970-78	1980-2000	1990	2000	1960	1980	1960	1980	1980	1960-80	1960	1980	
<b>Länder mit niedrigem Einkommen</b>	<b>2.160,9 s</b>	<b>2,1 w</b>	<b>2,1 w</b>	<b>1,8 w</b>	<b>2.607 s</b>	<b>3.090 s</b>	<b>77 w</b>	<b>71 w</b>	<b>10 w</b>	<b>15 w</b>	<b>260 w</b>	<b>1,2 w</b>	<b>13 w</b>	<b>17 w</b>		
China und Indien	1.645,9 s	2,1 w	1,9 w	1,5 w	1.943 s	1.239 s	..	70 w	..	16 w	270 w	..	13 w	17 w		
Übrige Länder	511,0 s	2,4 w	2,6 w	2,6 w	664 s	851 s	81 w	73 w	8 w	11 w	230 w	1,0 w	11 w	19 w		
1 Kambodscha	6,9	2,6	-0,2	1,9	9	10	82	..	4	..	..	..	11	..		
2 Laos, Dem. VR	3,4	1,9	1,8	2,0	4	5	83	75	4	6	..	..	8	14		
3 Bhutan	1,3	1,8	2,0	1,8	2	2	95	93	2	2	80	-0,1	3	4		
4 Tschad	4,5	1,8	2,0	2,3	6	7	95	85	2	7	120	-1,8	7	18		
5 Bangladesch	88,5	2,4	2,6	2,3	113	141	87	74	3	11	130	(-)	5	11		
6 Äthiopien	31,1	2,4	2,0	2,8	41	54	88	80	5	7	140	1,4	6	14		
7 Nepal	14,6	1,8	2,5	2,1	18	22	95	93	2	2	140	0,2	3	5		
8 Somalia	3,9	2,4	2,3	2,6	5	7	88	82	4	8	..	..	17	30		
9 Birma	34,8	2,3	2,4	2,2	44	54	..	67	..	10	170	1,2	19	27		
10 Afghanistan	15,9	2,2	2,5	2,0	19	24	85	79	6	8	..	..	8	15		
11 Vietnam	54,2	3,1	2,8	2,4	71	88	..	71	..	10	..	..	15	19		
12 Mali	7,0	2,4	2,7	3,0	9	13	94	73	3	12	190	1,4	11	20		
13 Burundi	4,1	1,6	2,0	2,5	5	7	90	84	3	5	200	2,5	2	2		
14 Ruanda	5,2	2,6	3,4	3,5	7	10	95	91	1	2	200	1,5	2	4		
15 Obervolta	6,1	2,0	1,8	2,6	8	10	92	82	5	13	210	0,1	5	10		
16 Zaire	28,3	2,0	2,7	2,9	38	51	83	75	9	13	220	0,2	16	34		
17 Malawi	6,1	2,8	2,9	3,4	8	12	92	86	3	5	230	2,9	4	10		
18 Mosambik	12,1	2,1	4,0	2,9	16	22	81	66	8	18	230	-0,1	4	9		
19 Indien	673,2	2,3	2,1	1,9	833	994	74	69	11	13	240	1,4	18	22		
20 Haiti	5,0	1,5	1,7	2,0	6	7	80	74	6	7	270	0,5	16	28		
21 Sri Lanka	14,7	2,4	1,6	1,8	18	21	56	54	14	14	270	2,4	18	27		
22 Sierra Leone	3,5	2,2	2,6	2,9	5	6	78	65	12	19	280	(-)	13	22		
23 Tansania	18,7	2,7	3,4	3,3	26	36	89	83	4	6	280	1,9	5	12		
24 China	976,7	1,9	1,8	1,2	1.110	1.245	..	71	..	17	290	..	..	13		
25 Guinea	5,4	2,8	2,9	2,8	7	9	88	82	6	11	290	0,3	10	19		
26 Zentralafr. Republik	2,3	1,9	2,1	2,7	3	4	94	88	2	4	300	0,9	23	41		
27 Pakistan	82,2	2,8	3,1	2,5	107	134	61	57	18	20	300	2,8	22	28		
28 Uganda	12,6	2,9	2,6	3,3	17	24	89	83	4	6	300	-0,7	5	9		
29 Benin	3,4	2,5	2,6	3,1	5	6	54	46	9	16	310	0,4	10	14		
30 Niger	5,3	3,3	2,8	3,2	7	10	95	91	1	3	330	-1,6	6	13		
31 Madagaskar	8,7	2,1	2,5	3,1	12	16	93	90	2	3	350	-0,5	11	18		
32 Sudan	18,7	2,1	3,0	3,0	25	34	86	72	6	10	410	-0,2	10	25		
33 Togo	2,5	2,7	2,5	3,1	3	5	80	67	8	15	410	3,0	10	20		
<b>Länder mit mittlerem Einkommen</b>	<b>1.138,8 s</b>	<b>2,5 w</b>	<b>2,4 w</b>	<b>2,3 w</b>	<b>1.441 s</b>	<b>1.789 s</b>	<b>61 w</b>	<b>44 w</b>	<b>15 w</b>	<b>22 w</b>	<b>1.400 w</b>	<b>3,8 w</b>	<b>33 w</b>	<b>45 w</b>		
Ölexporteurs	496,8 s	2,5 w	2,6 w	2,5 w	642 s	815 s	65 w	47 w	13 w	21 w	1.160 w	3,3 w	27 w	39 w		
Ölimporteure	642,0 s	2,4 w	2,3 w	2,1 w	799 s	974 s	59 w	42 w	16 w	22 w	1.580 w	4,1 w	37 w	50 w		
34 Ghana	11,7	2,4	3,0	3,4	16	23	64	53	14	20	420	-1,0	23	36		
35 Kenia	15,9	3,2	3,4	4,1	24	36	86	78	5	10	420	2,7	7	14		
36 Lesotho	1,3	2,0	2,3	2,8	2	2	93	87	2	4	420	6,1	2	12		
27 Jemen, Dem. VR	1,9	2,1	2,4	2,5	2	3	70	45	15	15	420	12,1	28	37		
38 Indonesien	146,6	2,0	2,3	2,0	180	216	75	58	8	12	430	4,0	15	20		
39 Jemen, Arab. Rep.	7,0	2,3	2,9	2,2	9	11	83	75	7	11	430	4,5	3	10		
40 Mauretanien	1,5	2,5	2,5	3,1	2	3	91	85	3	5	440	1,6	3	23		
41 Senegal	5,7	3,3	2,8	2,9	8	10	84	76	5	10	450	-0,3	23	25		
42 Angola	7,1	1,5	2,4	2,7	9	12	69	59	12	16	470	-2,3	10	21		
43 Liberia	1,9	3,1	3,4	3,7	3	4	80	70	10	14	530	1,5	20	33		
44 Honduras	3,7	3,1	3,4	3,0	5	7	70	63	11	15	560	1,1	23	36		
45 Sambia	5,8	2,8	3,1	3,4	8	11	79	67	7	11	560	0,2	23	43		
46 Bolivien	5,6	2,3	2,5	2,4	7	9	61	50	18	24	570	2,1	24	33		
47 Ägypten	39,8	2,2	2,1	2,1	50	60	58	50	12	30	580	3,4	38	45		
48 Simbabwe	7,4	3,9	3,3	4,3	11	17	69	60	11	15	630	0,7	13	23		
49 El Salvador	4,5	2,9	2,9	2,7	6	8	62	50	17	22	660	1,6	38	41		
50 Kamerun	8,4	1,8	2,2	2,6	11	14	87	83	5	7	670	2,6	14	35		
51 Thailand	47,0	3,0	2,5	1,9	58	68	84	76	4	9	670	4,7	13	14		
52 Philippinen	49,0	3,0	2,7	2,3	63	77	61	46	15	17	690	2,8	30	36		
53 Nicaragua	2,6	2,6	3,4	2,9	4	5	62	39	16	14	740	0,9	41	53		
54 Papua-Neuguinea	3,0	2,1	2,3	2,0	4	5	89	82	4	8	780	2,8	3	18		
55 Kongo, VR	1,6	2,4	2,8	3,4	2	3	52	34	17	26	900	0,8	30	45		
56 Marokko	20,2	2,5	3,0	2,8	27	36	62	52	14	21	900	2,5	29	41		
57 Mongolische VR	1,7	2,9	2,9	2,4	2	3	70	55	13	22	..	..	36	51		
58 Albanien	2,7	2,8	2,5	1,9	3	4	71	61	18	25	..	..	31	37		
59 Peru	17,4	2,8	2,6	2,3	22	27	52	40	20	19	930	1,1	46	67		
60 Nigeria	84,7	2,5	2,5	3,4	119	169	71	54	10	19	1.010	4,1	13	20		
61 Jamaika	2,2	1,4	1,5	2,0	3	3	39	21	25	25	1.040	0,6	34	41		
62 Guatemala	7,3	3,0	3,0	2,6	10	12	67	55	14	21	1.080	2,8	33	39		
63 Elfenbeinküste	8,3	3,7	5,0	2,9	11	15	89	79	2	4	1.150	2,5	19	40		
64 Dominikanische Rep.	5,4	2,7	3,0	2,5	7	9	67	49	12	18	1.160	3,4	30	51		
65 Kolumbien	26,7	3,0	2,3	2,0	33	39	51	26	19	21	1.180	3,0	48	70		
66 Ecuador	8,0	3,0	3,0	2,7	11	14	58	52	19	17	1.270	4,5	34	45		

	Bevölkerung (in Mio.)	Durchschnittliches jährliches Bevölkerungs- wachstum (in %)				Projektierte Bevölkerung (in Mio.)		% - Anteil der Erwerbspersonen in Landwirtschaft				BSP pro Kopf Durchschnittl. jährlicher Zuwachs (in %)		Stadtbevölkerung in % der Gesamt- bevölkerung	
		1960-70	1970-78	1980-2000	1990	2000	1960	1980	1960	1980	Dollar	1960-80	1960	1980	
		Mitte 1980													
67 Paraguay	3,2	2,5	3,2	2,4	4	5	56	49	19	19	1.300	3,2	36	39	
68 Tunesien	6,4	1,9	3,1	1,9	8	10	56	34	18	33	1.310	4,8	36	52	
69 Korea, Demokr. Rep.	18,3	2,9	2,6	2,2	23	28	62	49	23	33	..	..	40	60	
70 Syrien, Arab. Rep.	9,0	3,2	3,6	3,0	12	16	54	33	19	31	1.340	3,7	37	50	
71 Jordanien	3,2	3,0	3,4	2,9	4	6	44	20	26	20	1.420	5,7	43	56	
72 Libanon	2,7	2,8	0,7	2,0	3	4	38	11	23	27	..	..	44	76	
73 Türkei	44,9	2,5	2,4	2,0	56	67	78	54	11	13	1.470	3,6	30	47	
74 Kuba	9,7	2,0	1,3	1,2	11	12	39	23	22	31	..	..	55	65	
75 Korea, Rep.	38,2	2,5	1,7	1,6	45	52	66	34	9	29	1.520	7,0	28	55	
76 Malaysia	13,9	2,8	2,4	2,0	17	21	63	50	12	16	1.620	4,3	25	29	
77 Costa Rica	2,2	3,4	2,5	2,0	3	3	51	29	19	23	1.730	3,2	37	43	
78 Panama	1,8	2,9	2,3	2,1	2	3	51	27	14	18	1.730	3,3	41	54	
79 Algerien	18,9	2,4	3,2	2,9	26	34	67	25	12	25	1.870	3,2	30	44	
80 Brasilien	118,7	2,9	2,2	2,0	147	177	52	30	15	24	2.050	5,1	46	68	
81 Mexiko	69,8	3,3	3,1	2,5	92	115	55	36	20	26	2.090	2,6	51	67	
82 Chile	11,1	2,1	1,7	1,4	13	15	30	19	20	19	2.150	1,6	68	80	
83 Südafrika, Rep.	29,3	2,6	2,7	2,9	39	52	32	30	30	29	2.300	2,3	47	50	
84 Rumänien	22,2	1,0	0,9	0,7	24	25	65	29	15	36	2.340	8,6	32	50	
85 Portugal	9,8	-0,2	1,3	0,8	11	11	44	24	29	36	2.370	5,0	23	31	
86 Argentinien	27,7	1,4	1,6	1,1	31	34	20	13	36	28	2.390	2,2	74	82	
87 Jugoslawien	22,3	1,0	0,9	0,7	24	26	63	29	18	35	2.620	5,4	28	42	
88 Uruguay	2,9	1,1	0,3	1,0	3	4	21	11	29	32	2.810	1,4	80	84	
89 Iran	38,8	2,9	3,1	2,3	51	61	54	39	23	34	..	..	34	50	
90 Irak	13,1	3,1	3,3	2,8	18	23	53	42	18	26	3.020	5,3	43	72	
91 Venezuela	14,9	3,4	3,3	2,3	19	24	35	18	22	27	3.630	2,6	67	83	
92 Hongkong	5,1	2,6	2,5	1,2	6	6	8	3	52	57	4.240	6,8	89	90	
93 Trinidad und Tobago	1,2	2,0	1,3	1,5	1	2	22	16	34	36	4.370	3,0	22	21	
94 Griechenland	9,6	0,5	0,9	0,5	10	11	56	37	20	28	4.380	5,8	43	62	
95 Singapur	2,4	2,4	1,5	1,3	3	3	8	2	23	39	4.430	7,5	100	100	
96 Israel	3,9	3,4	2,6	1,5	5	5	14	7	35	36	4.500	3,8	77	89	
<b>Ölexportländer mit hohem Einkommen</b>	<b>14,4 s</b>	<b>4,1 w</b>	<b>5,0 w</b>	<b>2,6 w</b>	<b>19 s</b>	<b>23 s</b>	<b>63 w</b>	<b>46 w</b>	<b>13 w</b>	<b>19 w</b>	<b>12.630w</b>	<b>6,3 w</b>	<b>30 w</b>	<b>66 w</b>	
97 Libyen	3,0	3,8	4,1	2,8	4	5	53	19	17	28	8.640	5,2	23	52	
98 Saudi-Arabien	9,0	3,4	4,4	2,6	12	15	71	61	10	14	11.260	8,1	30	67	
99 Kuwait	1,4	9,8	6,0	2,7	2	2	1	2	34	34	19.830	-0,1	72	88	
100 Vereinigte Arab. Emirate	1,0	10,8	13,2	1,7	1	1	..	..	..	..	26.850	4,3	40	72	
<b>Marktwirtschaftliche Industrieländer</b>	<b>714,4 s</b>	<b>1,0 w</b>	<b>0,8 w</b>	<b>0,5 w</b>	<b>755 s</b>	<b>787 s</b>	<b>18 w</b>	<b>6 w</b>	<b>38 w</b>	<b>38 w</b>	<b>10.320w</b>	<b>3,6 w</b>	<b>68 w</b>	<b>78 w</b>	
101 Irland	3,3	0,4	1,1	1,0	4	4	36	19	25	37	4.880	3,1	46	58	
102 Spanien	37,4	1,1	1,0	0,7	41	43	42	15	31	40	5.400	4,5	57	74	
103 Italien	56,9	0,6	0,6	0,3	59	61	31	11	40	45	6.480	3,6	59	69	
104 Neuseeland	3,3	1,7	1,5	0,9	4	4	15	9	37	35	7.090	1,8	76	85	
105 Großbritannien	55,9	0,5	0,1	0,2	57	58	4	2	48	42	7.920	2,2	86	91	
106 Finnland	4,9	0,4	0,5	0,4	5	5	36	11	31	35	9.720	4,0	38	62	
107 Australien	14,5	2,0	1,4	0,8	15	17	11	6	40	33	9.820	2,7	81	89	
108 Japan	116,8	1,0	1,1	0,6	124	130	33	12	30	39	9.890	7,1	62	78	
109 Kanada	23,9	1,8	1,1	0,8	26	28	13	5	35	29	10.130	3,3	69	80	
110 Österreich	7,5	0,6	0,0	0,2	8	8	24	9	46	37	10.230	4,1	50	54	
111 Vereinigte Staaten	117,7	1,3	1,0	0,7	245	259	7	2	36	32	11.360	2,3	70	77	
112 Niederlande	14,1	1,3	0,8	0,5	15	16	11	6	42	45	11.470	3,2	80	76	
113 Frankreich	53,5	1,0	0,5	0,4	56	58	22	8	39	39	11.730	3,9	62	78	
114 Belgien	9,8	0,5	0,2	0,2	10	10	8	3	48	41	12.180	3,8	66	72	
115 Norwegen	4,1	0,8	0,5	0,3	4	4	20	7	37	37	12.650	3,5	32	53	
116 Dänemark	5,1	0,7	0,4	0,2	5	5	18	7	37	35	12.950	3,3	74	84	
117 Schweden	8,3	0,7	0,3	( )	8	8	14	5	45	34	13.520	2,3	73	87	
118 Deutschland, Bundesrep.	60,9	0,9	( )	0,1	61	62	14	4	48	46	12.590	3,3	77	85	
119 Schweiz	6,5	1,6	0,3	0,2	7	7	11	5	50	46	16.440	1,9	51	58	
<b>Planwirtschaftliche Industrieländer</b>	<b>353,3 s</b>	<b>1,0 w</b>	<b>0,8 w</b>	<b>0,7 w</b>	<b>383 s</b>	<b>409 s</b>	<b>41 w</b>	<b>16 w</b>	<b>31 w</b>	<b>45 w</b>	<b>4.640 w</b>	<b>4,2 w</b>	<b>49 w</b>	<b>62 w</b>	
120 Polen	35,8	1,0	0,9	0,7	39	42	48	31	29	39	3.900	5,3	48	57	
121 Bulgarien	9,0	0,8	0,6	0,4	9	10	57	37	25	39	4.150	5,6	39	64	
122 Ungarn	10,8	0,4	0,4	0,2	11	11	38	15	35	53	4.180	4,5	40	54	
123 UdSSR	265,5	1,2	0,9	0,8	291	312	42	14	29	45	4.550	4,0	49	62	
124 Tschechoslowakei	15,3	0,5	0,7	0,5	16	17	26	11	46	48	5.820	4,0	47	63	
125 Deutschl., Dem. Rep.	16,9	-0,1	-0,1	0,2	17	17	18	10	48	50	7.180	4,7	72	77	
Erde	4.381,8				5.025	6.098									

# Europäische Gemeinschaft: Exporte nach Übersee



**PHYSIKALISCHE BLÄTTER**, 12 Hefte, DM 94,- plus Porto, Physik Verlag, D-6940 **Weinheim** / Bergstr., Postf. 1260.

**STERNE UND WELTRAUM**, 12 Hefte, DM 77,- plus Porto, Verlag Sterne und Weltraum, Dr. H. Vehrenberg, Postfach 140 365, D-4000 Düsseldorf 14.

**CERN-COURIER** (wahlweise in engl. oder franz. Sprache), 12 Hefte, kostenlos auf Verlangen interessierter Stellen, Publ. Inform. Office CERN, CH-1211 **Genf 23**

**Aulis Verlag Deubner & Co. KG, 5 Köln 1**, Antwerpener Straße 6-12: **PRAXIS DER NATURWISSENSCHAFTEN**, 3 Teile: Physik, Chemie, Biologie, je 12 Hefte jährlich, Preis pro Teil DM 51,60 jährlich, für Studenten und Referendare DM 46,80, jeweils zuzüglich Versandkosten, geeignet für Lehrkräfte, Dozenten und Studenten an Hauptschulen, höheren Schulen und Pädagog. Hochschulen.

**NATURWISSENSCHAFTEN IM UNTERRICHT**, 2 Teile: Physik/Chemie und Biologie, je 12 Hefte jährlich, Preis pro Teil DM 45,- jährlich, für Studenten DM 40,20, jeweils zuzüglich Versandkosten, geeignet für Lehrkräfte und Studenten an Haupt-, Real- und höheren Schulen (Klassen 5-10) und Dozenten an Pädagogischen Hochschulen.

**GEOGRAPHIE IM UNTERRICHT**, 12 Hefte jährlich, DM 54,-, Studenten DM 49,20, jeweils zuzüglich Versandkosten, geeignet für Lehrkräfte und Studenten an Haupt- und höheren Schulen (Klassen 5-10) und Dozenten an Pädagogischen Akademien.

**CHEMIE IN UNSERER ZEIT**, 6 Hefte, DM 34,- plus Porto, Verlag Chemie GmbH, D-6940 **Weinheim** / Bergstraße, Postfach 1260.

**PHYSIK IN UNSERER ZEIT**, 6 Hefte, DM 34,- plus Porto, Verlag Chemie GmbH, D-6940 **Weinheim** / Bergstraße, Postfach 1260.

**GEOGRAPHISCHE RUNDSCHAU**, 12 Hefte, Einzelheft DM 7,50, Abonnementpreis DM 5,50 pro Heft; Georg **Westermann** Verlag; Auslieferung in Österreich durch Morawa, Wien.

**SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT**, internationale Ausgabe der „Scientific American“ in deutscher Sprache. Erscheint monatlich zum Preis von DM 7,80 einschließlich Porto.

## Buchbesprechungen Neuerscheinungen

**W. Fremuth – G. Raab: Wirtschaftskunde des Geld- und Kreditwesens.** Sparkassenverlag, Wien, 1982. 165 Seiten.

Die vorliegende Schrift ist zwar primär als Einführung für Berufsanfänger im Kreditwesen gemacht, bietet daneben jedoch auch allen am österreichischen Geld- und Kreditwesen Interessierten einen Überblick über theoretische Zusammenhänge und praktische Auswirkungen der Geld- und Kreditpolitik (Geschichte des Geldes, Ziele der inneren Währungspolitik, die österr. Währungsordnung, die Mittel der Geld- und Kreditpolitik, Aufgaben der Geld- und Kapitalmärkte, Statistiken zum österr. Währungssystem, äußere Währungspolitik, Vermögensbildung in Österreich). Sie kann daher auch allen Lehrkräften, die sich mit wirtschaftskundlichen Fragen im Unterricht zu beschäftigen haben, als fachliche Basisinformationsquelle bzw. als Nachschlagewerk (letzteres würde noch wesentlich an Wert gewinnen, wenn man bei einer Neuauflage einen Sachbegriffsindex hinzufügte) empfohlen werden. Zahlreiche Grafiken verdeutlichen die in einer auch dem Nichtfachmann verständlichen Sprache geschriebenen Ausführungen. Die im Oberstufenversuch der AHS das Wahlpflichtfach Wirtschaftskunde unterrichtenden Kollegen können in dem Buch viele fachliche Anregungen finden. W. S.

**J. Paxton (Ed.), The Statesman's Year-Book.** Walter de Gruyter, Berlin.

The Statesman's Year Book ist eines der ältesten periodisch erscheinenden Nachschlagewerke (1. Auflage 1864). Es enthält nicht nur umfangreiche Angaben über die Wirtschaft aller Staaten der Erde, wobei zum Vergleich immer mehrjährige Angaben aufscheinen, sondern auch Informationen über die Geschichte, die Bevölkerung, die Streitkräfte, die Verfassung und die politische Situation, das Rechtswesen, die Religion, die Erziehung und das Gesundheitswesen. Wichtige Einstiegsliteratur beschließt die Abschnitte über die ein-

zelnen Staaten. Der Umfang der Beiträge (im Kleindruck) wechselt: die USA wurden in der Ausgabe 1981-82 auf 202, Israel auf 9 Seiten dargestellt. Neben den Abschnitten über die einzelnen Staaten behandeln Kapitel die internationalen Organisationen, statistische Zusammenstellungen von ausgewählten Weltproduktionen usw. Auf den beiden Vorsatzblättern sind immer thematische Karten mit interessanten wirtschaftlichen oder politischen Inhalten. Im Herbst 1982 lag bereits die Ausgabe 1982-83 vor. W. S.

**G. Kirchberg – D. Richter (Hrsg.), Geographie in der Kollegstufe.** Westermann, Braunschweig, 1982. 262 Seiten.

Die Reform der gymnasialen Oberstufe in der Bundesrepublik Deutschland hat dem Schulfach Geographie neue Ziele und Inhalte gegeben. Das vorliegende Buch zeigt die Stellung des Faches im Rahmen der allgemeinen Grundbildung und in bezug auf sein gesellschaftliches Aufgabenfeld. Dabei bleibt es nicht nur theoriebezogen, sondern gibt an Hand der Reihe „Westermann-Colleg Raum und Gesellschaft“ auch praktische Beispiele für den Unterricht. Da manche der dort behandelten Bereiche auch bei uns im GW-Unterricht aufscheinen, kann das Buch den Kollegen an den höheren Schulen empfohlen werden. W. S.

**H. Mante, H. Fink, E. Lichtenberger: Österreich.** Verlag C. J. Bucher, München und Luzern, 1982. 224 Seiten Text und 177 Bildseiten.

Ein großartiger Bildband, der sich nicht nur durch seine hervorragenden Fotografien, sondern auch durch die begleitenden Textteile weit aus der Masse der üblichen Bildbände abhebt. H. Fink setzt sich in geistvoller Weise mit der Vergangenheit und Kultur unseres Staates auseinander. E. Lichtenberger, aus ihrem weiten wissenschaftlichen Arbeitsfeld schöpfend, schildert engagiert und in lebendigem Stil (ihre Kapitelüberschriften lauten: Transitland Europas am Eisernen Vorhang, der gedrehte Staat, Österreichs Wirtschaftsstil, die Bundesländer grünen, West-Ost-Gegensätze, Zimmer frei, Wald und Eisen und die Probleme der österreichischen Industrie, die Donau fließt verkehrt, zweierlei Österreich: Kleingemeinden und Großstädte, das kaiserliche und das rote Wien) Grundzüge und Tendenzen von Raum-, Gesellschafts- und Wirtschaftsentwicklung. Insgesamt ein Österreichbuch, das nicht nur einen ästhetischen, sondern auch einen hohen geistigen Genuß bietet. W. S.

**IMPRESSUM:** „Wissenschaftliche Nachrichten“, Fortbildungsorgan des Bundesministeriums für Unterricht und Kunst für AHS- und BHS-Lehrer. Erscheint dreimal jährlich, im Jänner, April und September. Medieninhaber (Verleger), Herausgeber und Eigentümer: Bundesministerium für Unterricht und Kunst, 1010 Wien, Minoritenplatz 5, Tel. 0 22 2 / 66 21. Postanschrift der Redaktion: Dr. Walter Kranzer, Institut für Festkörperphysik der Universität Wien, 1090 Wien, Boltzmannstraße 5, Telefon 0 22 2 / 34 26 30. Hersteller: Bohmann Druck und Verlag Gesellschaft m. b. H. & Co. KG., 1110 Wien, Leberstraße 122, Tel. 74 15 95.

Offenlegung nach § 25 des Mediengesetzes:

Medieninhaber: Bund, vertreten durch das BMUK; Geschäftsführer: Sektionschef Leo Leitner, BMUK, 1010 Wien, Minoritenplatz 5. Unternehmensgegenstand: Herausgabe einer dreimal jährlich erscheinenden periodischen Zeitschrift. Grundlegende Richtung: Fortbildung und wissenschaftliche Information der AHS- und BHS-Lehrer für Philosophie und die realistischen Unterrichtsgegenstände.